ЗАТВЕРДЖЕНО

Наказ ДВНЗ "ПДТУ"

від 16.04.2014 року № 75-05 **Форма ПДТУ – 3б**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД**

**«ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**ФАКУЛЬТЕТ** ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**КАФЕДРА** АВТОМАТИЗАЦІЇ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**НАПРЯМ ПІДГОТОВКИ** 6.050202 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ МАГІСТРА**

**НА ТЕМУ: «АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗОНИ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МБРЗ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КРИСТАЛВЗАЦІЇ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЗЛИВКУ»**

**СТУДЕНТ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /С.І.КАНАНОВИЧ/**

(підпис) (ПІБ)

**КЕРІВНИК РОБОТИ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /В.П.КРАВЧЕНКО/**

(підпис) (ПІБ)

**КОНСУЛЬТАНТИ:**

**З ОХОРОНИ ПРАЦІ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /А.В. КАЛЬЯНОВ/**

(підпис) (ПІБ)

**З ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /М.С.ТІМОФЄЄВ/**

(підпис) (ПІБ)

**З НОРМОКОНТРОЛЮ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /О.О. КОЙФМАН/**

(підпис) (ПІБ)

**РЕЦЕНЗЕНТ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/**

(підпис) (ПІБ)

**РОБОТА РОЗГЛЯНУТА НА ЗАСІДАННІ КАФЕДРИ І ДОПУЩЕНА ДО ЗАХИСТУ В ДЕК**

**протокол від «\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2019\_р. № \_\_\_\_\_\_**

**ЗАВІДУВАЧ КАФЕДРИ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_/О.І. СІМКІН/\_**

(підпис) (ПІБ)

**МАРІУПОЛЬ 2019 р.**

# ANNOTATION

Based on the existing machine of continuous casting of workpieces of PJSC MK “them. Ilyich ”is an automation system that uses a mathematical model of ingot cooling in the secondary cooling zone. In the process of design, a structural diagram, an automation scheme, an electrical schematic diagram of the cooling circuit were developed, as well as the automation means by which the cooling and control of the cooling parameters of the caster are selected. A mathematical model and a program with calculations of this model have been developed, which shows the temperature field in the middle of the ingot along the entire length of the workpiece.

Measures on health and safety have been implemented.

# РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: сторінок, малюнків, таблиць, додатки, джерел, креслень.

В даному дипломному проекті розроблена система автоматизації охолодження зони вторинного охолодження (ЗВО) машини безперервного лиття заготівок (МБЛЗ) з використанням розробленої математичної моделі кристалізації і охолодження безперервного злитка.

Об'єкт: машина безперервного лиття заготівок

На підставі існуючої машини безперервного лиття заготівок ПрАТ МК “ім. Ілліча” спроектована система автоматизації, яка використовує математичну модель охолодження злитку в зоні вторинного охолодження. У процесі проектування розроблено структурну схему, схему автоматизації, електричну принципову схему контуру охолодження, а також обрані засоби автоматизації, за допомогою яких проводиться контроль і регулювання охолоджуваючих параметрів МБЛЗ. Розроблена математична модель та програма з розрахунками цієї моделі, у якій відображається температурне поле у середині зливку по всій довжині заготівки.

Виконано заходи з охорони праці та цивільної безпеки.

МАШИНА БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТІВОК (МБЛЗ), ЗОНА ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ (ЗВО), АСУ ТП, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ОХОЛОДЖЕННЯ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЯ, ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ, КОНТРОЛЬ, РЕГУЛЮВАННЯ, ВИТРАТИ, АВТОМАТИЗАЦІЯ.

ЗМІСТ

[ANNOTATION 2](#_Toc25493940)

[РЕФЕРАТ 3](#_Toc25493941)

[ВСТУП 4](#_Toc25493942)

[1 АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ЗАГОТІВКІ В МБРЗ 5](#_Toc25493943)

[1.1 Структури систем автоматизації 6](#_Toc25493944)

[2 КОНСТРУКЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ зони вторинна охолодження (ЗВО) МБРЗ 10](#_Toc25493945)

[3 ТЕХНОЛОГІЯ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ 15](#_Toc25493946)

[4 ТЕОРІЯ ОХОЛОДЖЕННЯ І КРІСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ В ЗВО 18](#_Toc25493947)

[5 ЗАДАЧІ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ В ЗВО 21](#_Toc25493948)

[6 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ В ЗВО 22](#_Toc25493949)

[7 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ 24](#_Toc25493950)

[8 СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ 29](#_Toc25493951)

[9 СТРУКТУРА КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ 31](#_Toc25493952)

[10 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСА ОХОЛОДЖЕННЯ І КРІСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ В ЗВО 33](#_Toc25493953)

[10.1 Ідентифікація моделі 36](#_Toc25493954)

[10.2 Результати розрахунків на ЕОМ 39](#_Toc25493955)

[11 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ 41](#_Toc25493956)

[11.1 Охорона праці 41](#_Toc25493957)

[11.2 Цивільний захист 46](#_Toc25493958)

[ВИСНОВКИ 46](#_Toc25493959)

[ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ МАТЕРІАЛІВ 47](#_Toc25493960)

[ДОДАТОК А 48](#_Toc25493961)

# ВСТУП

Автоматизація - один із напрямів науково-технічного прогресу, що використовує саморегулюючі технічні засоби і математичні методи з метою звільнення людини від участі в процесах отримання, перетворення, передачі і використання енергії, матеріалів, виробів або інформації, або істотного зменшення ступеня цієї участі або трудомісткості виконуваних операцій.

Автоматизація дозволяє підвищити продуктивність праці, поліпшити якість продукції, оптимізувати процеси управління, відсторонити людину від виробництв, небезпечних для здоров'я. Автоматизація, за винятком найпростіших випадків, вимагає комплексного, системного підходу до вирішення завдання. До складу систем автоматизації входять датчики (сенсори), перетворювачі, пристрої введення інформації, пристрої керування (контролери), виконавчі пристрої, пристрої виведення, комп'ютери.

На даний час на 9 металургійних підприємствах України функціонує 18 МБЛЗ різного типу із загальною кількістю струмків - 62. В цілому в Україні є всі основні типи класичних МБЛЗ, що дозволяють розливати сляб, блюм, коло і сортову заготІвку. Тим часом велика частина сталі (не менше двох третин) розливається на слябових МБЛЗ. При цьому левова частка МБЛЗ експлуатується на металургійних заводах Донбасу.

В даному дипломному проекті розроблена система автоматизації процесу охолодження зливку у зоні вторинного охолодження (ЗВО) з використанням математичної моделі процесу при стаціонарному режимі розливання сталі. Розроблена програма, яка розраховує і відображає температурне поле по січенню заготівки з використанням різних коефіцієнтів тепловіддачі. На основі даної моделі розроблено систему автоматизації охолодження сляба в зоні вторинного охолодження МБЛЗ.

# 1 АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ЗАГОТІВКІ В МБРЗ

Одним з основних переваг сучасних машин для безперервного розливання сталі є високий ступінь автоматизації процесу розливання в цілому, а також окремих функціональних і технологічних операцій

У загальному вигляді прийнято розрізняти автоматичні і автоматизовані (комп'ютеризовані) системи управління. У системах автоматичного управління, які складаються з об'єктів управління і керуючого пристрою, людина безпосередньої участі в процесі управління не приймає. На відміну від САУ, в автоматизованих (комп'ютеризованих) системах управління (КСУ) передбачається обов'язкова участь людей у ​​процесах управління. Принципова відмінність КСУ від традиційної системи управління полягає в тому, що в КСУ частина управлінських робіт, а саме збір, аналіз, і перетворення інформації, виконується за допомогою обчислювальної техніки.

Основний економічний ефект від впровадження АСУ (КСУ) для технологічних процесів безперервного розливання сталі досягається за рахунок підвищення рівня організації процесу розливання, більш повного завантаження устаткування, забезпечення ритмічності роботи МБЛЗ, скорочення непродуктивних втрат, в тому числі і за рахунок запобігання аварійних ситуацій, що в підсумку підвищує продуктивність праці і знижує витрати виробництва, а також підвищує якість заготівки. Це досягається завдяки повноті, своєчасності та оптимальності прийнятих рішень, а також економії управлінської праці без шкоди для якості управління. [1]

Для поліпшення техніко-економічних показників роботи МБЛЗ використовується автоматизована система управління технологічним процесом розливання сталі (АСУ ТП).

Основними цілями АСУ ТП є:

- підвищення якості відливаються заготівок за рахунок оптимізації і стабілізації основних параметрів безперервного розливання сталі з мінімальними витратами;

- збільшення продуктивності МБЛЗ внаслідок прогнозування можливих виходів з ладу елементів технологічного обладнання та своєчасної їх заміни;

- збільшення виходу придатного металу за рахунок оптимізації розкрою заготівки на мірні частини;

- поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу. [2]

## Структури систем автоматизації процесу охолодження зливку в ЗВО

Структура систем автоматичного управління процесом охолодження в секціях ЗВО залежить від прийнятихметодів управління процесом охолодження ЗВО. В основному використовують 3 методи:

1. Програмне керування.

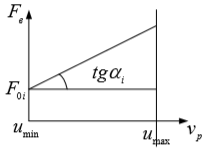
2. Автоматичне управління по відхиленню температури поверхні заготівки від заданої в кінці секції.

3. Автоматичне управління з використанням моделі процесу кристалізації і охолодження безперервного злитка.

Розглянемо структури систем автоматичного управління згідно вище наведеним методам.

1. Структура системи програмного керування процесом охолодження.

У системах програмного керування використовуються експериментально отримані програми зміни кількості води на охолодження в залежності від групи марки стали, перетин заготівки і швидкості розливу (рис. 1)



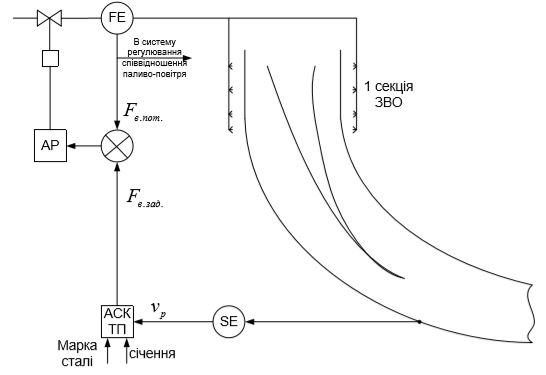


Рис. 1 - Структура системи програмного керування процесом охолодження

1. Структура системи автоматичного управління охолодженням в ЗВО по відхиленню температури поверхні.

При цій структурі на виході кожної зони встановлюють пірометри спектрального співвідношення, світовий (не реагує на пар). Залежно від температури, яку показує пірометр на виході конкретної секції, спеціальний коригувальний регулятор порівнює поточну температуру поверхні із заданою і по цьому відхиленню формує коригуючий сигнал регулятору стабілізації витрати води на цю секцію (рис.2).

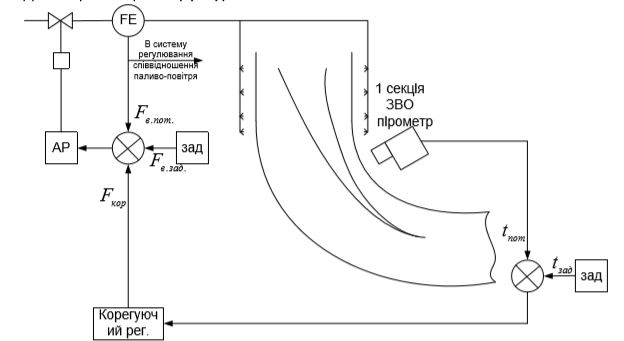


Рис. 2 - Структура системи автоматичного управління охолодженням в ЗВО по відхиленню температури поверхні

1. Структура системи охолодження з використанням математичної моделі процесу охолодження і кристалізації.

Математична модель розробляється з використанням рівнянь теплопровідності та кристалізації зливка. При цьому основна проблема полягає в тому, щоб точно визначити параметри заготівки і теплофізичні параметри. Точність моделі визначається точністю контролю параметрів: температури, швидкості розливу, перетину, хімічног складу, а також від точності визначення теплофізичних параметрів (рис. 3). [3]

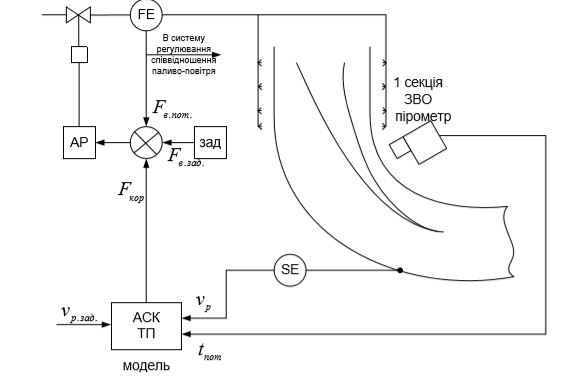


Рис. 3 - Структура системи охолодження з використанням математичної моделі процесу охолодження і кристалізації.

# 2 КОНСТРУКЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОНИ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МБРЗ

Нижче кристалізатора по технологічній осі МБЛЗ розташовується зона вторинного охолодження (ЗВО) заготівки.

У цій зоні повинні бути створені оптимальні умови для забезпечення повного затвердіння безперервнолитої заготівки.

У ЗВО заготівка знаходиться в напружено-деформований стан. Це обумовлено стисканням і усадковими впливами на її оболонку при затвердінні металу, а саме- розпиранням ферростатичним тиском рідкого металу зсередини; термічними напруженнями при попаданні охолоджувача на поверхню заготівки, тертям при витягуванні заготівки. Все це істотно впливає на якість заготівки, яка розливається [2].

Зона вторинного охолодженняповинна повинна відповідати наступним функціональним вимогам:

* забезпечувати ретельну підтримку злитка на виході з кристалізатора, де товщина оболонки мінімальна, а її механічна міцність дуже низька;
* виключати можливість сильної деформації твердої скоринки зливка під дією ферростатіческого тиску;
* зменшувати вплив напруг, що розтягують оболонку заготівки під дією тягнучих зусиль;
* забезпечувати оптимальний тепловідвід і його регулювання в залежності від швидкості витягування і сортаменту відливаємих марок сталі;
* зберігати стабільність технологічній осі і міцності підтримують пристроїв в умовах високих температур і навантажень в процесі тривалої експлуатації машини;
* забезпечувати швидку заміну вузлів ЗВО при аварійних ситуаціях, а також мінімальні втрати часу на переналагодження, пов'язану зі зміною січення

заготівки, яка буде розливатися .

Конструкція ЗВО [2] складається з системи опорних елементів (роликів), що підтримують і направляють заготівку (Рис. 4), і пристроїв, що забезпечують охолодження зливка за рахунок впорскування охолоджуючої води, розташованих між роликами. Точність розташування опорних роликів є дуже важливим елементом в системі забезпечення якості безперервнолитої заготівки, оскільки будь-які відхилення положення роликів від номінальної позиції призводять до додаткової деформації заготівки в процесі її руху по ЗВО.

Для забезпечення рівномірного охолодження заготівки по довжині ЗВО зазвичай розбивається на кілька секцій. Як правило, їх число коливається від 3 до 5 для сортових і блюмової МНЛЗ і від 8 до 15 для слябових. Розбивка ЗВО на сегменти спрощує монтажні роботи на МБЛЗ, а також дозволяє виконувати настройку сегментів за її межами.

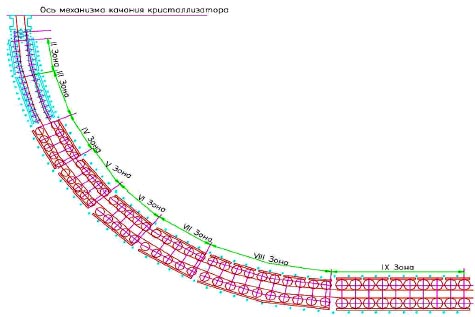


Рис. 4 - Конструкція ЗВО МБЛЗ

Слябової МБЛЗ обладнуються опорними елементами по технологічній осі до повного затвердіння заготівки. Опорні елементи підтримують тільки широкі межі слябовой заготівки.

Вся система підтримки сляба умовно ділиться на дві ділянки. Відразу під кристалізатором розташовується верхня ділянка з опорними елементами без приводу. За ним знаходиться нижня ділянка з приводними опорними елементами для витягування заготівки. На верхній ділянці в якості опорних елементів застосовуються вертикальні бруси, решітки, плити (такі елементи характерні для вертикальних машин), крокуючі балки, роликові проводки. На нижній ділянці для всіх типів машин використовуються тільки роликові проводки різної конструкції. [2]

Для забезпечення рівномірного охолодження заготівки по довжині ЗВО зазвичай розбивається на кілька секцій. Як правило, їх число коливається від 3 до 5 для сортових і блюмової МНЛЗ і від 8 до 15 для слябових. Розбивка ЗВО на сегменти спрощує монтажні роботи на МБЛЗ, а також дозволяє виконувати настройку сегментів за її межами. У конструкційному плані сегменти представляють собою дві зварні рами з роликами, які жорстко стягнуті між собою спеціальними стяжками.

У зоні вторинного охолодження відбувається остаточне затвердіння безперервнолитої заготівки в результаті тепловідведення випромінюванням, конвекцією, при контакті заготівки з роликами і при подачі на її поверхню охолоджувача. В якості охолоджувача зазвичай використовується вода або водоповітряних суміш. Для подачі охолоджувача на поверхню заготівки використовуються спеціальні пристрої системи вторинного охолодження - форсунки.

Загальна довжина зони вторинного охолодження розбивається на окремі зони (секції) розстановки форсунок.

У перших зонах (зазвичай - не більше трьох) відразу під кристалізатором на сучасних МБЛЗ застосовується водяне охолодження заготівки. Вода у вигляді розпорошеного факела подається в зазори між підтримують елементами - зазвичай роликами, на поверхню заготівки. Для цього використовуються механічні (гідравлічні) форсунки, в які вода подається під тиском 0,2 ... 0,5 МПа. Проходячи через вихідні отвори - сопла певної конфігурації, вода через перепад тисків самостійно раздраблівается на краплі розміром 0,2 ... 1,0 мм і утворює факел. Форма факела залежить від конструкції форсунки, форми і кількості сопел.

Для охолодження широких граней слябовой заготівки [2] використовуються плоскофакельние форсунки з одним або декількома соплами (рис. 5).

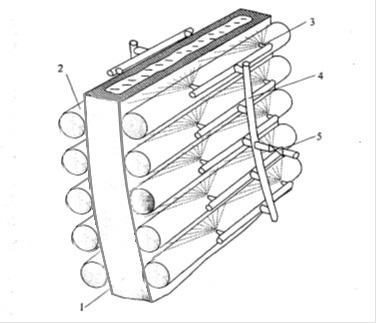


Рис. 5 - Схема вторинного охолодження слябовой безперервної заготівки.

1 - заготівка; 2 - опорний ролик; 3 - форсунка; 4 - підвідний колектор; 5 - засувка.

У найбільш складних умовах працюють ролики слябових МБЛЗ, оскільки вони мають велику відстань між підшипниковими опорами і максимальну теплове навантаження внаслідок великої ширини сляба. Ролики сучасних слябових МБЛЗ складаються з трьох обичайок, що спираються на чотири підшипника кочення, встановлені в подушках

Усередині осі виконаний канал охолодження, в протилежні кінці якого встановлені спеціальні вертлюги для підведення і відведення охолоджуючої води. У подушках підшипників також виконані канали охолодження для захисту зовнішнього кільця підшипника.

В цілому опорні ролики МНЛЗ працюють в досить складних умовах, оскільки знаходяться в зоні підвищених температур і відчувають високі навантаження, пов'язані з підтримкою заготівки. Температурний режим охолодження опорних роликів представляється досить важливим фактором, що забезпечує їх експлуатаційну стійкість. При цьому робоча поверхня роликів постійно контактує з гарячою поверхнею заготівки, і ролики відповідно піддаються сильному температурному впливу.

Якщо інтенсивність водяного охолодження виявляється недостатньою, то термічні навантаження на поверхню роликів призводять до появи на їх робочої поверхні тріщин (так званий «розпал»), які негативно впливають на якість поверхні заготівки, а також призводять до поломки роликів. Додатковим фактором, що впливає на якість поверхні заготівки в разі недостатнього охолодження роликів, є розвиток явища «налипання» окалини на їх робочу поверхню. Налиплі шматки окалини травмують поверхню сляба, залишаючи в ньому відповідні вм'ятини.

Особливе місце при виборі оптимальних розмірів діаметрів підтримувальних роликів і відстані між ними займають міркування витріщення оболонки твердої скоринки під дією ферростатіческого тиску. Зусилля, що виникають в цьому випадку настільки великі, що вони можуть радикально деформувати тверду скоринку. При цьому слід мати на увазі, що деформація твердої скоринки відбувається в кожній парі роликів. Це, в кінцевому рахунку, може призводити до утворення внутрішніх тріщин в твердій скоринці, що істотно знизить якість заготівки.

Відповідно, у верхній частині ЗВО встановлюються опорні ролики мінімального діаметра (100-120 мм), що дозволяє в максимальному ступені обмежувати випинання твердої скоринки. У міру просування заготівки в ЗВО діаметр роликів збільшується. В останніх секціях ЗВО слябових МБЛЗ він досягає величини 300-350 мм. Як матеріал для роликів використовують леговані сталі марок 24Х1МФ і 25Х1МФ.

У процесі руху злитка по ЗВО відбувається зміна (зменшення) його геометричних розмірів внаслідок усадки стали. Тому положення роликів в ЗВО обов'язково враховує конусність безперервнолитої заготівки і до неї прив'язується положення кожного ролика. На практиці точність положення роликів уздовж технологічній осі коливається в межах від 0,05 до 0,1 мм. В процесі експлуатації МБЛЗ положення опорних роликів час від часу контролюється і коригується в разі потреби.

Тим часом, функції підтримують пристроїв не обмежуються тільки збереженням геометричної форми заготівки. Крім того, заготівку необхідно безперервно витягати з кристалізатора, переміщати її вздовж технологічної лінії МБЛЗ одночасно з її випрямленням (а для криволінійних МБЛЗ ще і загином).

Для рівномірного витягування заготівки необхідно створити певне зусилля між роликами і формується злитком. Зусилля притиску, що передається роликами на злиток, має дорівнювати або трохи перевищувати (10-15%) ферростатіческое тиск рідкої фази злитка на ролики. Воно забезпечується за допомогою гідравлічних або пружинних пристроїв, розташованих на верхній рамі. Для запобігання великий деформації злитка від тиску роликів між верхньою і нижньою рамами встановлюються спеціальні опори. При цьому для того, щоб зменшити розтягують зусилля, що діють під час витягування на його оболонку, доцільно розподілити приводні ролики по всій довжині технологічної лінії. У більшості випадків роблять приводними частина нижніх роликів, розподіляючи приводи рівномірно по довжині машини.

На ділянці розпрямлення крім виконання функції підтримки заготівки та її витягування, на ролики додається функція редагування (розгинання) заготівки. Відомі різні схеми ділянок випрямлення: зі стаціонарною установкою роликів, з плаваючою касетою підтримувальних роликів, з пружними підтримують роликами, з балансирной установкою верхніх роликів, з балансирной установкою чотирьох роликових блоків і т.д. Зазвичай розгин заготівки здійснюється в декількох точках (наприклад, 2-3 точки для сортових МБЛЗ, 5-8 і більше точок для слябових МБЛЗ), що запобігає появі внутрішніх поперечних тріщин. Тим часом, на практиці існують певні рекомендації, засновані на експериментальних даних, які дозволяють розрахувати крок роликів, виходячи з умови, що максимальний прогин дорівнює допустимому за умовами міцності і якості заготівки.

В даний час на сучасних слябових і блюмової МНЛЗ з метою придушення осьової пористості і ліквації широко використовується метод «м'якого» обтиску. Цей метод передбачає обтиснення заготівки в рідко-твердому стані безпосередньо в ЗВО. При цьому фронти кристалізації протилежних граней зближуються і видавлюють рідку фазу в утворилися в процесі кристалізації усадкові порожнини, а також вгору заготівки.

# 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ

Рівномірне охолодження безперервнолитої заготівки є найбільш важливим завданням, розв'язуваної в зоні вторинного охолодження. При цьому заготівка, що виходить з кристалізатора, має тверду скоринку товщиною 15-35 мм, атакож рідко-тверду зону і внутрішню зону з рідкою фазою, що має температуру стали на рівні температури ликвидус.



Рис.6 - Відведення тепла від заготівки в зоні вторинного охолодження

Частка сумарного тепловідведення в зоні вторинного охолодження становить 75-78%, причому 38-40% тепла передається подається форсунками воді, приблизно 30% підтримують роликам з внутрішнім охолодженням і приблизно 8% внаслідок випромінювання і конвекції в навколишнє середовище.

Інтенсивність охолодження у вторинній зоні повинна вибиратися таким чином, щоб температура поверхні заготівки в процесі її переміщення по ній залишалася приблизно постійною або повільно зменшувалася. Досить часто перевага віддається варіанту, при якому температура поверхні повільно знижується по всій довжині ЗВО. Найбільш несприятливими умовами охолодження є коливання температури заготівки в області температури аустенітного перетворення, оскільки вони провокують виникнення гарячих поверхневих тріщин. [4]

Для забезпечення ефективного процесу охолодження, величина коефіцієнта теплопередачі α повинна бути досить високою, проте вона також повинна бути регульованою. В даному дипломному проекті розроблена математична модель, розрахована з трьома різними показниками тепловіддачі.

Для забезпечення ефективного процесу охолодження, величина коефіцієнта теплопередачі α повинна бути досить високою, проте вона також повинна бути регульованою.

водоповітряне охолодженняздійснюється частинками води, які розпорошуються повітрям. Розпилення води відбувається в основному в результаті зіткнення двох потоків (водяного і повітряного) всередині форсунки. Розпилювач є хіба дві незалежні форсунки для води і для повітря, струменя від яких перетинаються. Обидва потоки виходять з розпилювача в напрямку безперервнолитої заготівки і зустрічаються один з одним, утворюючи факел дрібнодисперсних крапель води. Повітря при цьому способі охолодження відіграє двояку роль: він забезпечує розпилення води і повідомляє краплях необхідну високу кінетичну енергію. Характер розпилення води визначається витратою і тиском повітря і піддається регулюванню в широкому діапазоні параметрів.

Форсунки розташовуються як безпосередньо між опорними роликами, так і за ними (рис. 7). При розташуванні форсунок між роликами збільшується ефективний кут розпилення охолоджувача, що забезпечує більш рівномірний відвід тепла з поверхні заготівки. Розташування форсунок за опорними роликами дозволяє направити частину охолоджувача на їх поверхню, тим самим покращуючи умови їх роботи. На практиці, така схема розташування форсунок застосовується в останніх секціях ЗВО.

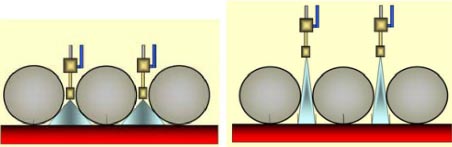


Рис. 7- Схеми розташування форсунок при водоповітряних охолодженні

Всі основні способи водоповітряного охолодження можна з певною мірою умовності об'єднати в дві великі групи.

1. Підготовка водовоздушной суміші в спеціальних, окремо розташованих змішувачах з подальшим транспортуванням суміші до зливка. Перевагою такої системи є порівняльна простота подачі готової суміші на злиток за допомогою нескладних за конструкцією форсунок. Але в цілому вся система досить громіздка, і головним її недоліком є ​​розшарування суміші при її транспортуванні і неоднорідність від форсунки до форсунки.
2. Підготовка водовоздушной суміші безпосередньо перед подачею її на злиток шляхом роздільної подачі з колектора води і повітря. При перетині струменів під певними кутами відбувається їх зіткнення, дроблення струменя води і утворення спрямованого водоповітряного факела. Система досить компактна, але регулювання інтенсивності охолодження утруднено, так як при зміні витрат і тисків води або повітря змінюється як дисперсність водяних крапель, так і форма спрямованості водоповітряного факела. Крім того, пристрій вимагає високої точності виготовлення, а при експлуатації воно дуже чутливе до чистоти води.

Висока ефективність методу водоповітряного охолодження пояснюється тим, що завдяки великій кінетичної енергії з металом одночасно контактує безліч крапель розпорошеної води. При одному і тому ж витраті води площа теплообміну між охолоджувачем і заготівкою збільшується, оскільки вода дрібно розпорошена і число дрібних крапель дуже велике. При цьому краплі досить рівномірно розподіляються по поверхні заготівки, так як факел має стійку геометричну форму. Вода, яка не випарувалася при контакті з поверхнею заготівки, падає вниз у вигляді дрібного дощу, створюючи зону охолодження найближчих ділянок.

Основні технологічні переваги системи водоповітряного охолодження полягають в наступному:

* високі швидкості руху потоків безпосередньо в отворі форсунки, що істотно зменшує ймовірність його заростання;
* можливість формування крапель води оптимальних розмірів, що підвищує ефективність охолодження в цілому;
* широкий діапазон зміни параметрів подачі охолоджуючої рідини і повітря, що дає можливість використовувати один типорозмір форсунок для різних марок сталей і швидкостей лиття;
* однорідність розпилювання води уздовж поверхні широких граней слябів за рахунок використання декількох форсунок по ширині (з перекриттям), що знижує ймовірність локального переохолодження (перегріву) поверхні злитка.

Безперебійна робота систем форсуночного охолодження багато в чому залежить від якості використовуваної води. Брудна і занадто жорстка вода призводить до засмічення форсунок. Засмічення форсунок призводить до нерівномірного розбризкування охолоджуючої рідини і, відповідно, до нерівномірного охолодження безперервнолитої заготівки (рис. 7). Це, як відомо, призводить до викривлення твердої скоринки заготівки, розтріскування або до проривів. [4]

# 4 ТЕОРІЯ ОХОЛОДЖЕННЯ І КРІСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ В ЗВО

Налагодження та освоєння нових МНЛЗ вимагає корекції режимів охолодження безперервного сляба в зоні вторинного охолодження, розрахованих при проектуванні установок.

Як відомо, теплообмін на поверхні заготівок визначається функцією розподілу коефіцієнтів тепловіддачі по довжині МБЛЗ, яка пов'язана з інтенсивністю охолодження заготівки по периметру, обраної з умов отримання якісного металу на виході з МНЛЗ.

Таким чином, завдання підготовки даних для розрахунку уточнених режимів охолодження являє собою визначення функції розподілу коефіцієнтів тепловіддачі на поверхні заготівки на основі отриманих в результаті експериментів (найчастіше пасивних, тобто спостережень за параметрами розливання) даних по температурах поверхні на гранях заготівки, швидкості розливання і витрат охолоджувача в зонах охолодження. Отримання функції розподілу є завданням математичного програмування, і його методи дають найкраще наближення. Надалі подібна модель може служити для прогнозу не тільки температурного поля в заготівки, а й пов'язаних з ним параметрів якості і структури.

Математичною моделлю процесу кристалізації безперервного злитка можна вважати диференціальне рівняння нестаціонарної теплопровідності в умовах фазових перетворень (кристалізації металу) з відповідними початковими і граничними умовами.

(1)

Де ρ - щільність металу;

C - ефективна теплоємність;

λ - теплопровідність;

q - прихована теплота плавлення;

ψ(T) - функція, що враховує частку твердої фази в двофазної зоні кристалізується металу;

Рівняння доповнюється такими початковими умовами:

(2)

де tc - температура перегрітої рідкої сталі, що надходить в кристалізатор.

В якості граничних умов при вирішенні рівняння обрані граничні умови третього роду:

(3)

Де tпов - температура поверхні металу;

tср - температура середовища;

α (τ) - коефіцієнт тепловіддачі з поверхні металу в залежності від положення в зоні охолодження.

Зробимо наступні припущення, що випливають з фізичних особливостей завдання:

- температурний режим вважаємо сталому;

- швидкість руху злитка постійна;

- теплообміну уздовж зливка не відбувається через малого зміни температури вздовж зливка; основний теплообмін йде в площині поперечного перерізу зливка;

- теплопровідність твердої і рідкої сталі вважаємо однаковою.

Грунтуючись на припущеннях, ми можемо тривимірну задачу розглядати як двовимірну задачу теплообміну з нестаціонарними граничними умовами в поперечному перерізі зливка.

Для спрощення рівняння (1) було виведено ефективне значення теплоємності Cеф (t)

(4)

Де tс - гранична температура твердого металу (солидус);

TЛ - температура рідкого металу (ликвидус);

Рівняння теплопровідності набуває вигляду:

(5)

Відповідно до гіпотези про рівномірний виділення твердої фази в інтервалі температур ликвидус - солидус, функція ψ(T) має вигляд:

(6)

Підставляючи вираз (6) в вираз (4) отримаємо вираз залежності теплоємності від температури:

(7)

# 5 ЗАДАЧІ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ В ЗВО

Управління процесом охолодження заготівки в зоні вторинного охолодження є дуже важливим завданням в отриманні якісної заготівки певного перерізу. Завдання ЗВО полягає в тому, щоб запобігти надмірне охолодження заготівки та забезпечити рівномірний затвердіння злитка із закінченням затвердіння по всій його товщині до кінця ЗВО. Для вирішення цього завдання необхідно контролювати і регулювати такі параметри:

Контрольовані параметри:

* тиск води на кожну зону ЗВО;
* тиск повітря на кожну зону ЗВО;
* Контроль температури сляба в кінці ЗВО.

Регульовані параметри:

* Швидкість витягування заготівки;
* Витрата води на кожну зону ЗВО;
* Витрата повітря на кожну зону ЗВО.

Безпосередньо розрахунок регулюють параметрів відбувається з урахуванням обраного коефіцієнта тепловіддачі математичної моделі охолодження заготівки. Величина цього коефіцієнта регулюється витратою водовоздушной охолоджуючої суміші в кожній зоні вторинного охолодження заготівки. Співвідношення витрат водовоздушной суміші (1:14) залежить від типу встановлених форсунок, а також від тиску параметрів в трубопроводі.

Найбільш важливим параметром також є охолодження підшипників роликів, по яких рухається заготівка. Ролики сконструйовані так, що всередині може протікає охолоджуюча вода і тим самим охолоджувати підшипники. Результат неякісного охолодження підшипників може привести до зупинки розливу і до аварійної ситуації в цеху.

# 6 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ В ЗВО

У відповідності до вище сформульованих задач конотролю та керування в якості системи автоматизації охолодження металу в ЗВО вибрана система охолодження з використанням математичної моделі процесу охолодження і кристалізації (рис.3). На основі апріорної і поточної інформації, а також математичної моделі управління теплообміном в ЗВО вибираються коефіцієнти тепловіддачі для кожної секції зони охолодження, які потім перераховуються до витрат охолоджуючої води. Цільовою функцією задачі є мінімум деякого функціонала відхилення поточної температури поверхні заготівки від заданої як в стаціонарному, так і в перехідних режимах розливання.

Система автоматизації на кожній зоні ЗВО повинна регулювати витрати води підтримувати співвідношкння водоповіітряної охолоджуючої суміші в співвідношенні. Коефіцієнт тепловіддачі в кожній зоні залежить від тиску і кількості суміші, яка подається. На кожну зону цей параметр задається окремо, в деяких зонах цей параметр задається по форсунках, для більш плавного охолодження заготівки. Математична модель враховує швидкість руху заготівки, а також водяться коригування за допомогою контролю температури в кінці ЗВО за допомогою пірометричного датчика. Математична модель прогнозує температуру і задає коригування по витраті водовоздушной суміші.

Поточне значення витрат води контролюється електромагнітним витратоміром (13а), який видає аналоговий струмовий сигнал 4-20мА. Також в цей ланцюг послідовно включений цифровий індикатор МТМ-310 (13б) і аналоговий вхід (8x14 bit) мікроконтролера.

Аналогічний контур для вимірювань витрат повітря: електромагнітний витратомір (1а), цифровий індикатор (1б) і аналоговий вхід котнроллера з'єднані послідовно. Для контролю і регулювання швидкості, а також для коригування витрат води по швидкості (рис. 8) призначений інкерементальний енкодер (65а). Електрична частина енкодера соеденяет з модулем лічильника (FM-350-1) мікроконтролера. Для котнроля температури поверхні заготівки, а також коррекіровкі витрат водовоздушной суміші на виході з ЗВО встановлений двухспектральинй пирометр ДПР-1 (64а). Вихідний сигнал датчика струмовий аналоговий 4-20 мА. Він послідовно з'єднаний з цифровим індикатором МТМ 310 (64б), а також аналогвим входом мікроконтролера. Регулювання витратами суміші здійснюється за допомогою мікроконтролера SIMATIC S7-400H, який соеденент з зовнішніми пристроями за допомогою Ethernet кабелю. Харчування СPU і модулів здійснюється безпосередньо блоком живлення Simens, який встановлений в стійці контролера. Вихідні значеняія котнроллера здійснюється за допомогою аналогового модуля (AO 8x14 bit) сигнал з якого надходить на БРУ-7 (1в). За допомогою БРУ можна здійснювати управління пневмоклапаном Samson 3241 (1г), як з помиями контролера (автоматично) так і за допомогою самого БРУ (вручну). Регулювання співвідношення здійснюється по зміні витрати води, завдяки ПІ закону регулювання.

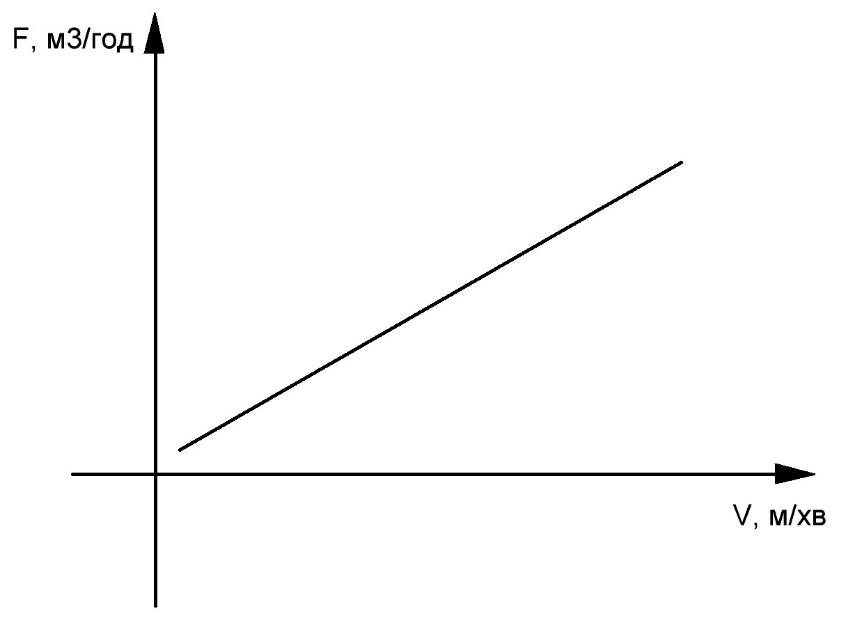


Рис. 8 - Залежність витрат води від швідкості

# 7 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ

Promag 50 - електромагнітний витратомір для двонаправленого вимірювання витрати рідини. [4]

Таблиця 1 - Технічні характеристики Promag 50

|  |  |
| --- | --- |
| параметр | значення |
| 1 | 2 |
| Діаметр | DN 15 ... 600 |
| діапазон вимірів | 0 ... 9600 м3 / ч |
| Робоча температура | -40 ... + 180 ° C |
| Похибка вимірювання | ± 0.5% ± 0.2% (опція) |
| комунікація | HARTPROFIBUS PA |
| вихідні сигнали | 4 ... 20 мА Імпульсний / Частотний Сигнал стану |
| вхідні сигнали | сигнал стану |

Перетворювач тиску вимірювальний - Cerabar M PMC51

Цифровий перетворювач тиску з безмасляни керамічної мембраною длявиконання вимірювань в газах і рідинах [5]

Таблиця 2 - Технічні характеристики Cerabar

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значення |
| 1 | 2 |
| Харчування / Комунікація | 4 ... 20 мА HART: 11,5 ... 45 В пост. токаEx ia: 11,5 ... 30 В пост. токаPROFIBUS PAFOUNDATION Fieldbus |
| похибка | 0,15% Platinum: 0,075% |
| Температура навколишнього середовища | -40 ° C ... 85 ° C (-40 ° F ... 185 ° F) |
| 1 | 2 |
| Робоча температура | -20 ° C..125 ° C (-4 ° F..275 ° F) |
| Діапазон вимірювання тиску | 100 мбар ... 40 бар (1,5 ... 600 psi) |

Прилад контролю цифровий МТМ-310

Прилади призначені для цифрової індикації значень технологічних параметрів заданих сигналами постійного струму 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, напруги постійного струму 0-1 В; для цифрової індикації інтегрованого, миттєвого значення витрати і інтегрованого значення витрати за останній цілу годину, що передує поточному. [6]

Таблиця 3 - Технічні характеристики МТМ-310

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значення |
| Напруга живлення (може поставлятися в комплекті з МТМ101, МТМ140, МТМ141) | DC 24 В + 10% -15% АС 100 ... 250 В |
| Споживана потужність, не більше | 3 Вт |
| Діапазон робочих температур | +5 ... + 50 ° С |
| Клас точності | 0,1 |
| Максимальна потужність комутації МТМ310-С | 60 Вт пост. тока125 ВА ~ струму |

Двухспектральний пирометр ДПР-1

Даний двухспектральний пирометр ДПР-1 використовується для точного вимірювання реальної температури об'єкта безконтактним методом в процесі алюмінієвого прокату.

Основними сферами застосування пристрою є металургійні та машинобудівні підприємства, а також заводи з виготовлення цементної і цегляної продукції. На прокатних верстатах пирометр використовується для точного вимірювання температури листів, дроту, труб, а також арматури та коліс. Крім цього, прилад можна прийме в роботі з газо- і електронагревнимі печами, через кварцове скло зі спеціальними плавильними печами індукційного типу.

Характерними перевагою пірометрів даного класу для алюмінієвого прокату є висока точність показників не залежно від умов зовнішнього середовища і динамічних факторів. Пристрій не реагує на різні типи забруднення вимірюваної поверхні, власне об'єктива пірометра, а також успішно працює з вібраційними і рухомими об'єктами.

Технічні характеристики:

* діапазон температур: від +300 до + 3500 ° С
* точність: ± 5 ° С по всьому діапазону
* інтерфейс: RS232 або RS485
* струмовий вихід: 4 - 20 mA
* діапазон відстаней: від 0,4 м до 50 м
* час вимірювання 0,25 с. [7]

Клапан Samson 3241

Регулюючий клапан для технологічних і промислових установок, що виготовляється за DIN-, ANSI- і JIS-стандартам.

Умовний діаметр Ду 15 ... 300 • 1/2 "... 12" • Ду 15А ... 300А

Умовний тиск Ру 10 ... 40 • ANSI Class 125 ... 300 • JIS 10К / 20К

Температури від -196 до +450 °C • -320 до +800 °F

Прохідний клапан з пневматичним або електричним приводом /

Корпус з сірого чавуну, чавуну зі сферичним графітом, литий та кованої сталі, високолегованих та хладостойких сталей або з спецматериалов.

Конус клапана мягкоуплотненний, металлоуплотненний або металлошліфованний. [8]

SIMATIC S7-400H- це потужний програмований контролер для побудови систем управління середнього і високого ступеня складності. Модульна конструкція, робота з природним охолодженням, гнучкі можливості розширення, потужні комунікаційні можливості, простота створення розподілених систем управління і зручність обслуговування роблять SIMATIC S7-400 ідеальним засобом для вирішення практично будь-яких завдань автоматизації.

Програмований контролер SIMATIC S7-400H розроблений для побудови систем автоматичного управління, що відрізняються підвищеною надійністю функціонування. Наявність резервованої структури дозволяє продовжувати роботу в разі виникнення одного або декількох відмов в його компонентах. Як правило, такі системи керують виробництвами, простий яких викликає великі економічні втрати.

SIMATIC S7-400H:

* Програмовані контролери з резервованої структурою, що забезпечують високу надійність функціонування системи управління.
* Резервування всіх основних функцій на рівні операційної системи центральних процесорів.
* Високий коефіцієнт готовності, який забезпечувався б застосуванням перемикаються конфігурацій системи введення-виведення.
* Можливість використання стандартних конфігурацій систем введення-виведення.
* Гаряче резервування: автоматичне безударное перемикання на резервний блок в разі відмови ведучого боки.
* Конфігурації на основі двох стандартних або однієї спеціалізованої монтажної стійки.
* Використання резервованих мереж PROFIBUS DP для підвищення надійності функціонування системи розподіленого введення-виведення. [9]

Інкрементальні енкодери Leine-Linde

Інкрементальний (покроковий, імпульсний) енкодер призначений для вказівки напряму руху і / або кутового переміщення механізму. Інкрементальний енкодер періодично формує імпульси, відповідні кутку обертання валу. Цей тип енкодерів, на відміну від абсолютних, не формує вихідні імпульси, коли його вал знаходиться в спокої. Інкрементальний енкодер пов'язаний з рахунковим пристроєм, це необхідно для підрахунку імпульсів і перетворення їх в міру переміщення вала.

Оптичний енкодер складається з наступних компонентів: джерела світла, диска з мітками, фототранзісторной збірки і схеми обробки сигналу. Диск покрокового енкодера поділені на точно позиційований позначки. Кількість відміток визначає кількість імпульсів за один оборот. Наприклад, якщо диск поділений на 1000 міток, тоді за 250 імпульсів вал повинен повернутися на 90 градусів. [10]

Таблиця 4 - Електричні характеристики

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| параметр | значення | | |
| 1 | 2 | | |
| Напруга живлення + EV | 9-30 В | 5В ± 10% | |
| похибка  Макс. Помилка  Розділ. Последоват. | ± 50 ° електро.  90 ° ± 25 ° електро. | | |
| вихід | Високоток. HTL | | Rs-422, TTL |
|  | Захист від короткого замикання | | |
| Макс. навантаження | ± 40 мА | | ± 20 мА |
| діапазон частоти | 0 ... 100кГц | | 0 ... 200кГц |

Таблиця 5 - Механічні характеристики

|  |  |
| --- | --- |
| параметр | значення |
| 1 | 2 |
| Макс. швидкість | 4000 об / хв. |
| Диск | Розширений температурний діапазон |
| температура  робоча  зберігання | -20 ° C ... + 80 ° C  -20 ° C ... + 80 ° C (+ 105 ° C макс. 1 година) |
| клас захисту | IP 65, згідно IEC 529 |

# 8 СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ

На основі визначених завдач контролю і регулювання (див. П.5) розроблена функціональна схема автоматизації, яка включає в себе наступні контури контролю та регулювання:

* Контроль тиску повітря в ЗВО. У трубопроводі подачі повітря встановлений датчик надлишкового тиску Cerabar M (7а, 8а, 9а, 10а, 11а, 12а), який вимірює поточний тиск в трубопроводі. Далі він перетворює фізичну величину в струмовий уніфікований сигнал 4-20мА, який надходить на цифровий прилад контролю МТМ-310 (7а, 8а, 9а, 10а, 11а, 12а). Потім сигнал надходить на аналоговий вхід програмованого логічного контролера (ПЛК) Simatic S7-400H.
* Контроль тиску води в ЗВО. У трубопроводі подачі повітря встановлений датчик надлишкового тиску Cerabar M (7а -12а), який призначений для вимірювань рідини і газів. З нього сигнал перетвориться з фізичної велечіни в струмовий уніфікований 4-20мА, який надходить на цифровий прилад контролю МТМ-310 (7б -12б). Прилад на щиті КВП відображає поточне значення контрольованої величини. Потім сигнал надходить на аналоговий вхід програмованого логічного контролера (ПЛК) Simatic S7-400H і за допомогою програмного пакета поточне значення вимірюваної величини відображається на екрані монітора.
* Контроль температури заготівки на виході з ЗВО. В кінці ЗВО, перед ГРМ (газоріжучої машиною) встановлено двухспектральний пирометр ДПР-1 Сова (64а), який вимірює поточне значення температури на поверхні широкої частини заготівки. На виході пирометра струмовий сигнал 4-20 мА надходить на цифровий прилад контролю МТМ-310 (64б), який відображає поточне значення температури на щиті КВП. Потім цей сигнал надходить на аналоговий вхід ПЛК, який відображає поточне значення на екрані оператора, а також вносить корективи в математичну модель охолодження заготівки.
* Контроль швидкості витягування заготівки. На рухому частину двигуна, який обертає роликом, встановлюється інкрементальний енкодер Liene & Linde (65а) з преосвітнім пристроєм. Потім сигнал надходить на вхід модуля лічильника ПЛК.
* Контроль і регулювання витрати води на ЗВО. У трубопроводі охолоджуючої води на кожну зону ЗВО встановлений електромагнітний витратомір Promag 50 (13а-38а), який вимірює поточне значення регульованої величини. Потім цей датчик перетворює фізичну величину в струмовий сигнал 4-20мА, далі сигнал надходить на цифровий індикатор МТМ-310 (13б-38б), який відображає поточне значення на щиті КВП. З індикатора сигнал надходить на аналоговий вхід ПЛК Simatic S7-400H. Формування вихідних керуючих впливів здійснюється за допомогою модуля аналогово виходу, з якого сигнал надходить на блок ручного управління БРУ-7 (13в-38в). За допомогою БРУ можна в як автоматично, так і вручну управляти положенням регулюючого пневмоклапана Samson (13г-38г).
* Контроль і регулювання витрати повітря на ЗВО. У трубопроводі охолоджуючої води на кожну зону ЗВО встановлений електромагнітний витратомір Promag 50 (1а-6а), який вимірює поточне значення регульованої величини. Потім цей датчик перетворює фізичну величину в струмовий сигнал 4-20мА, далі сигнал надходить на цифровий індикатор МТМ-310 (1б-6б), який відображає поточне значення на щиті КВП. З індикатора сигнал надходить на аналоговий вхід ПЛК Simatic S7-400H. Формування вихідних керуючих впливів здійснюється за допомогою модуля аналогово виходу, з якого сигнал надходить на блок ручного управління БРУ-7 (1в-6в). За допомогою БРУ можна в як автоматично, так і вручну управляти положенням регулюючого пневмоклапана Samson (1г-6г).

# 9 СТРУКТУРА КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Для виконання всіх задач контролю та регулювання процесу охолодження зливку ів ЗВО пропонується структура системи автоматичного контролю і управління, яка представлена ​​на аркуші АіКТ.1н22а.Д04.4Б.

Система має трирівневу структуру АСУ ТП, яка дозволяє регулювати, візуалізувати і прогнозувати процес охолодження заготівки за допомогою математичної моделі кристалізації.

На нижньому рівні, який ще називають польовим, розташовані різноманітні датчики і сенсори, а також виконавчі механізми. Перші фіксують дані, щоб потім передати їх в центр управління, другі ж, навпаки, здійснюють команди інформаційної системи.

Всі засоби вимірювання встановлені безпосередньо на МБЛЗ. Сигнали з датчиків по фізичних лініях зв'язку надходять на середній рівень.

Середній рівень - це рівень контролерів. Він складається з програмованих логічних контролерів, які приймають дані, зібрані з датчиків, розташованих на нижньому рівні, а також видають вказівки виконавчим механізмам. Обробка інформації на цьому рівні відбувається за єдиним алгоритмом: прийом відомостей, їх аналізу і обробки і видача команд на нижній рівень. У приміщення контролерів розташовані 2 контролера Simatic S7-400H, які обробляють інформацію, що надійшла з нижнього рівня по лініях зв'язку у вигляді уніфікованого струмового сигналу.

Верхній рівень - це той, на якому до роботи підключається чоловік. Користувач працює з системою за допомогою візуалізації інформації і відображення її на моніторі - тут задіяний спеціально створений людино-машинний інтерфейс. Верхній рівень АСУ ТП забезпечує збір і зберігання даних, а також архівацію інформації, отриманої від контролерів, і представлення її у вигляді візуальних засобів. Таким чином оператор системи може ознайомитися з параметрами процесу, що протікає на об'єкті.

На верхньому рівні знаходиться приміщення диспетчерської, в якому сидить оператор МБЛЗ. Зв'язок із середнім рівнем пов'язує локальна мережа Ethernet, а також всі дані про параметри технологічного процесу зберігається на сервері, який розташований в верхньому рівні даної АСУ ТП.

Нижній рівень даної АСУ ТП (датчики, перетворювачі, контролери, виконавчі механізми) повинен забезпечувати:

- збір інформації про вимірювані технологічних параметрах в колекторі доменного газу;

- сигналізація про вихід їх за задані межі;

- блокування помилкових дій персоналу і керуючих пристроїв;

- протиаварійне захист (ПАЗ) процесу за фактом аварійних подій.

* автоматичне регулювання окремих технологічних параметрів;
* автоматичне логічне управління запірної;
* передачу інформації на середній рівень.

Середній рівень АСУ ТП повинен забезпечувати такі функції:

-пріём інформації від нижнього рівня;

-контроль достовірності вхідної інформації;

* формування оперативних інформації в формі зручній для спостереження за ходом технологічного процесу;
* формування та ведення архіву даних, обробка та надання оператору архівної інформації про історію процесу;
* формування та подання документів звітної і технологічної інформації про роботу в формах змінного журналу і технічного звіту за добу з прив'язкою результатів роботи до бригади;
* автоматичне виявлення передаварійних відхилень параметрів процесу і формування попереджувальних повідомлень, формування і висновок на друк протоколу попереджувальних і аварійних повідомлень, а в разі виникнення аварійної ситуації - відпрацювання аварійної ситуації з розпізнаванням її причини;
* введення інформації від оператора в діалоговому режимі з метою впливу на параметри процесу з контролем достовірності інформації, що вводиться;
* видача рекомендацій оператору по веденню технологічного процесу в режимі порадника;
* передачу інформації на нижній і верхній рівні.

Верхній рівень АСУ ТП ДП (комп'ютерна система верхнього рівня) повинен забезпечувати:

* прийом інформації з середнього рівня;
* проведення оперативного технологічного розрахунку за фактичними даними про роботу печі, матеріального і теплового балансів плавки з метою використання величин їх нев'язок для аналізу процесу;
* визначення мінімально можливої ​​витрати коксу при даних сировинних і експлуатаційних умовах плавки і порівняння його з фактичним витратою коксу;
* проведення інженерних розрахунків;
* оцінку нерівномірності розподілу газового потоку по перетину доменної печі, ефективності використання відновлювальної енергії газу при заданому його розподілі;
* вибір оптимального газорозподілу, що забезпечує максимальне використання відновлювальної енергії газового потоку;
* розрахунок техніко-економічних показників роботи комплексу ДП;
* передача необхідної інформації на середній рівень.

# 10 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСА ОХОЛОДЖЕННЯ І КРІСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ В ЗВО

Основне завдання проекту - розробка системи автоматизації ЗВО МБЛЗ з використанням математичної моделі охолодження і кристалізації заготівки.

Як відомо, теплообмін на поверхні заготівок визначається функцією розподілу коефіцієнтів тепловіддачі по довжині МБЛЗ, яка пов'язана з інтенсивністю охолодження заготівки по периметру, обраної з умов отримання якісного металу на виході з МНЛЗ.

Таким чином, завдання підготовки даних для розрахунку уточнених режимів охолодження являє собою визначення функції розподілу коефіцієнтів тепловіддачі на поверхні заготівки на основі отриманих в результаті експериментів (найчастіше пасивних, тобто спостережень за параметрами розливання) даних по температурах поверхні на гранях заготівки, швидкості розливання і витрат охолоджувача в зонах охолодження. Отримання функції розподілу є завданням математичного програмування, і його методи дають найкраще наближення. Надалі подібна модель може служити для прогнозу не тільки температурного поля в заготівки, а й пов'язаних з ним параметрів якості і структури.

Строгих аналітичних рішень поставленого завдання в більшості випадків не існує, а й чисельне рішення з використанням ЕОМ викликає труднощі і вимагає значних витрат машинного часу.

Для чисельного рішення рівняння (1), яке виводиться в пункті 4 цього проекту, застосуємо сіткову апроксимацію температурного поля вздовж поперечного перерізу зливка. Для спрощення обчислювальних операцій виберемо однаковий крок сітки по ширині і висоті перетину злитка. Виберемо явну схему, класичну для такого роду завдань. Перевагою явної схеми є її простота і менша кількість обчислювальних операцій в порівнянні з неявною схемою. До недоліків можна віднести те, що для збіжності обчислювального процесу його параметри повинні відповідати критерію збіжності.

В силу симетричності граничних і початкових умов в якості області рішення виберемо чверть перетину злитка.

Задамося розміром злитка S x H. Виберемо крок дискретизації Δ по довжині виходячи з необхідної точності і критеріїв збіжності методу. Тоді кількість розбиття чверті перетину по ширині і по висоті відповідно рівні (під знаком] [розуміється округлення до більшого цілого):

(8)

Розглянемо деяку елементарну комірку з температурою ti, j яка лежить в області рішення. На підставі теплового балансу тепловий потік через стінки даного осередку від сусідніх осередків йде на нагрів осередки за елементарний проміжок часу.

Запишемо рівняння (1) в кінцевих різницях

(9)

Де - значення температури на наступному часовому кроці;

ti, j - значення температури на даному часовому кроці;

Δτ - крок дискретизації за часом;

Індекси i та j - відповідно по ширині і висоті перетину злитка.

Висловивши ΔV, ΔS, Δx, Δy через однаковий крок Δ. Підставами вираз (9)

(10)

Скоротивши (10) отримаємо:

(11)

Висловимо з (11):

(12)

Де індекси змінюються в наступних межах:

i = 2..nx-1;

j = 2..ny-1;

Для граничних осередків з урахуванням граничних умов вираження для мають вигляд:

Для верхньої широкої грані злитка

(13)

Де індекси змінюються в наступних межах:

i = 2..nx-1;

j = ny;

α - коефіцієнт теплопередачі від злитка до поверхні;

tсреди - умовна температура ЗВО.

Для нижньої широкої грані чверті злитка

(14)

Де індекси змінюються в наступних межах:

i = 2..nx-1;

j = 1;

для бічній зовнішній межі чверті злитка

(15)

Де індекси змінюються в наступних межах:

i = nx;

j = 2..ny-1;

α - коефіцієнт теплопередачі від злитка до поверхні;

tсреди - умовна температура ЗВО.

Для бічної внутрішньої грані чверті злитка

(16)

Де індекси змінюються в наступних розташований на центральному проспекті:

i = 1;

j = 2..ny-1;

Для спрощення обчислювального процесу розрахунок температури в кутових осередків будемо робити як середньоарифметичне суміжних осередків. Таким чином формули для кутових комірок мають такий вигляд:

(17)

Обчислювальний процес проводиться в такому порядку:

1. Початкова матриця t розміром nx × ny заповнюється значеннями початкової температури перегрітої рідкої сталі tс.
2. Змінні τ і z прирівнюються до нуля.
3. Обчислюється значення коефіцієнта тепловіддачі α (z) для поточного положення перетину в зоні ЗВО.
4. За формулами 13-16 обчислюються значення температур в граничних осередках матриці розміром nx × ny.
5. За формулою 12 обчислюються значення осередків матриці tслед в середині перетину.
6. За формулами 17 обчислюються значення температур в кутових осередках матриці.
7. Висновок матриці tслед в графічному вигляді.
8. Значення температур в характеристичних точках запам'ятовуються для подальшої побудови графіків.
9. Нарощуються змінні τ = τ + Δτ і z = z + Δτ × v
10. Копіюємо матрицю tслед в матрицю t.
11. Якщо змінна z менше довжини ЗВО L то переходимо до пункту 3.
12. Висновок графіків залежності температури в характеристичних точках від часу.

## 10.1 Ідентифікація моделі

Для ідентифікації моделі необхідно задати її параметри, які відповідають реальним властивостям матеріалів. Теплофізичні параметри виберемо з довідників по металургії стали. Технологічні параметри взяті для конкретної МБЛЗ. Розділимо параметри по декількох категоріях.

Параметри, що задають тепловий баланс в осередках смуги:

Tc = 1510 ° C - початкова температура перегрітої рідкої сталі.

Ст = 420 Дж / (кг · К) - питома теплоємність твердої сталі;

Сж = 460 Дж / (кг · К) - питома теплоємність рідкої сталі;

Qпл = 83700 Дж / кг - питома прихована теплота затвердіння;

tс = 1420 ° C - нижня температура плавлення (солидус);

TЛ = 1450 ° C - верхня температура плавлення (ликвидус);

сп = (ст + сж) / 2 + Qпл / (TЛ-tc) = 3230 Дж / (кг · К) - масова теплоємність перехідної фази.

Очевидно, що вона значно відрізняється від теплоємності рідкої і твердої сталі. Її величина значно впливає на картину затвердіння стали;

ρ= 7000 кг / м3 - усереднена щільність стали, приймаємо рівною для рідкої і твердої фази.

λ = 42 Вт / (м 2 К) - усереднена теплопровідність рідкої і твердої сталі.

Геометричні параметри смуги:

L = 22,5 м - довжина смуги;

S = 1,5 м - ширина смуги;

H = 0,35 м - висота смуги.

Параметри, що задають конфігурацію сітки моделі

Δ = 0,02 м - крок дискретизації по перетину злитка;

nz = 60 - кількість розбиттів по довжині злитка;

Δz = L / nz = 22,5 / 60 = 0,375 - крок дискретизації по довжині злитка;

ny =] H / (2 · Δ) [=] 0,35 / (2 · 0,02) [= 9 - кількість розбиттів по висоті;

nx =] S / (2 · Δ) [=] 1,5 / (2 · 0,02) [= 38 - кількість розбиттів по ширині;

Δτ = 3 c - крок дискретизації за часом;

Умова збіжності явною різницевої схеми має вигляд:

(18)

Підставами в вираз (18) критичні значення параметрів:

42 · 3 / (420 · 7700 · 0,022) = 0,097 <0,025 - вибрані параметри моделі задовольняють умовам збіжності.

Найбільш істотним параметром моделі є розподіл коефіцієнта тепловіддачі по довжині ЗВО. Подібні дані є експериментальними і специфічні для конкретної МБЛЗ, марок сталей, умов розливання. В якості даних виберемо результати дослідницької роботи [11], що проводиться для визначення розподілу α (рис. 9, 10).

На третьому графіку (Рис. 11) зображено теоретичний розподіл, знайдений авторами роботи в результаті аналізу найбільш раціонального охолодження по Д. П. Євтєєву [12]: монотонне зниження температури по довжині злитка; рівномірний розподіл температур по периметру; забезпечення температури поверхні злитка в кінці зони вторинного охолодження не нижче 800-900 ° C.

Рис. 9 - Розподіл коефіцієнта тепловіддачі α №1 по всій довжині ЗВО

Рис. 10 - Розподіл коефіцієнта тепловіддачі α №2 по всій довжині ЗВО

Рис. 11 - Розподіл коефіцієнта тепловіддачі α №3 по всій довжині ЗВО

## 10.2 Результати розрахунків на ЕОМ

Згідно з наведеними вище формулами, а також описаної послідовності рішення було розроблено програму для розрахунку даної математичної моделі в С ++ Builder 6. Скріншот програми приведений в графічній частині дипломного проекту. У додатку А до дипломного проекту наведено весь код даної програми.

У лівій частині програми можна вибрати такі умови розливки сталі, які розділені на три категорії:

* параметри сталі (питома теплоємність рідкої і твердої сталі, температура ліквідусу і солідусу, усереднена щільність стали, усереднена теплопровідність рідкої і твердої сталі, питома прихована теплота затвердіння, масова теплоємність перехідної фази);
* параметри розливання (початкова температура стали, довжина, ширина і висота заготівки, швидкість розливання і температура навколишнього середовища);
* параметри розрахункової моделі (розраховуються автоматично в залежності від геометричних розмірів сляба).

У нижній лівій частині програми відображається градієнт розподілу температури у серцевині заготівки для трьох коефіцієнтів тепловіддачі по всій довжині заготівки.

З правого боку в нижній половині відображаються графіки розподілу температур для чотирьох точок заготівки (серцевина, ребро, середина широкої частини і середина вузької частини заготівки).

У правій верхній половині програми відображається сітка розподілу температури по перетину для чверті злитка.

Також в програмі передбачено збереження в файл розрахунків математичної моделі по всім трьом коефіцієнтам розподілу тепловіддачі.

За допомогою даних виведених в файл було побудовано три графіка розподілу температур по всій довжині заготівки з використанням трьох різних розподілів коефіцієнта тепловіддачі зі швидкістю 0,8 м / хв.

Аналізувати графік розподілу температури № 1, а також графічний результат програми можна зробити висновок, що даний коефіцієнт розподілу тепловіддачі (рис.9) не задовольняє якісному умові охолодження заготівки. Так як температура в серцевині заготівки на виході понад 1200 ° С і все ще спостерігається рідка сталь всередині, що може призвести до негативних наслідків в результаті розливання.

На наступному графіку розподілу № 2 можна помітити падіння температури у серецевині заготівки на виході в порівнянні з попереднім розподілом. В даному випадку температура становить трохи більше 1100 ° С, що не зовсім бажано, якщо необхідний результат повне охолодження заготівки.

В останньому третьому розподілі температур, у якого розподіл коефіцієнта тепловіддачі найбільш плавне в порівнянні з іншими двома. А також температура в кінці заготівки наближається до позначки в 1000 ° С, що відповідає головній умові повного затвердіння заготівки в кінці ЗВО, а також отримання більш якісно стали з плавності охолодження.

Як, видно, з результатів моделювання на всіх трьох графіках велике значення α на початковому відрізку моделює кристаллизатор, де тепловий потік від злитка найбільший. При виході з кристалізатора сляб потрапляє в першу секцію ЗВО, витрата охолоджуючої води в якій максимальна. Відповідно інтенсивність охолодження висока. При русі до наступних секціях витрати води зменшується, а потім злиток і зовсім виходить з ЗВО. Подальше охолодження відбувається за рахунок природного застигання, що видно на графіках α №1.

# 11 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

# 11.1 Охорона праці

Відповідно до 13 статті Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, а саме:

* створює відповідні служби і призначає посадових осіб, які забезпечують вирішення конкретних питань охорони праці, затверджує інструкції про їх обов'язки, права та відповідальність за виконання покладених на них функцій, а також контролює їх додержання;

- розробляє за участю сторін колективного договору і реалізує комплексні заходи для досягнення встановлених нормативів та підвищення існуючого рівня охорони праці;

- забезпечує виконання необхідних профілактичних заходів відповідно до обставин, що змінюються;

* впроваджує прогресивні технології, досягнення науки і техніки, засоби механізації та автоматизації виробництва, вимоги ергономіки, позитивний досвід з охорони праці тощо;
* забезпечує належне утримання будівель і споруд, виробничого обладнання та устаткування, моніторинг за їх технічним станом;  
  забезпечує усунення причин, що призводять до нещасних випадків, професійних захворювань, та здійснення профілактичних заходів, визначених комісіями за підсумками розслідування цих причин;
* організовує проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці, оцінку технічного стану виробничого обладнання та устаткування, атестацій робочих місць на відповідність нормативно-правовим актам з охорони праці в порядку і строки, що визначаються законодавством, та за їх підсумками вживає заходів до усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів;  
  - розробляє і затверджує положення, інструкції, інші акти з охорони праці, що діють у межах підприємства , та встановлюють правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках, робочих місцях відповідно до нормативно-правових актів з охорони праці, забезпечує безоплатно працівників нормативно-правовими актами та актами підприємства з охорони праці;
* здійснює контроль за додержанням працівником технологічних процесів, правил поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, використанням засобів колективного та індивідуального захисту, виконанням робіт відповідно до вимог з охорони праці;
* організовує пропаганду безпечних методів праці та співробітництво з працівниками у галузі охорони праці;
* вживає термінових заходів для допомоги потерпілим, залучає за необхідності професійні аварійно-рятувальні формування у разі виникнення на підприємстві аварій та нещасних випадків.

Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог.

**Аналіз умов праці, небезпечних та шкідливих чинників**

Таблиця 4 – показники умов праці

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Найменування робочого місця | Показники умов праці, одиниці вимірювання | Фактичні значення, кількісна оцінка фактору(Уф) | Нормовані значення (Ун) |
| Програмісти | Температура, °С | 22 | 21-23 |
| Відносна вологість, % | 45 | 40-60 |
| Швидкість повітря, м/сек | 0,11 | 0,1 |
| Шум, дБ А | 53 | 50 |
| Коефіцієнт природної освітленості, відносні одиниці | 1,8 | 2,0 |
| Загальне штучне освітлення, лк | 335 | 350 |
| Рівень іонізації повітря в 1 см3  n+  n- | 2150  3800 | 2300  4000 |

При оцінці умов праці визначається узагальнючий коефіцієнт умов праці (Куп)

Де а1, а2, аn – індекси відповідальності фактичних умов праці нормативним значенням.

Ці індекси визначаються за формулою:

Обобщающий коэффициент равняется 0,98 из этого следует что условия для работы программистов и операторов ПК соответствуют нормальному коэффициенту, который равняется 1. Но некоторые параметры не удовлетворяют нормальными значениями.

**Акустичний розрахунок на робочому місці**

**Шум** – это совокупность звуков разной интенсивно­сти и частоты, беспорядочно изменяющихся во времени, возникающих в производственных условиях и вызывающих у работников неприятные ощущения и объективные изменения органов и систем. Оценивают шум в диапазоне частот от 45 до 11000 Гц. При акустических измерениях определяют уровни звукового давления в пределах частотных полос, равных октаве (полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно 2), полуоктаве или 1/3 октавы.

**В зависимости от характера спектра выделяют следующие шумы:**

* широкополосные (более одной октавы);
* тональные;
* постоянные (уровень звука за восьмичасовой рабочий день изменяется во времени не более чем на 5 дБ);
* непостоянные (уровень звука за восьмичасовой рабочий день изменяется во времени не менее чем на 5 дБ).

Рівень шуму на робочому місці визначаеться за формулою:

Де L – рівень шуму на робочому місці, дБ А

Lp – рівень звукової потужності джерела, що створює найбільший шум, дБ А

Ф – фактор спрямованості шуму

S – площа повехні, на яку розповсюджується енергія шуму, м2

B – постійна приміщення, B = A

A – еквівалентна площа приміщення, м2

Площа приміщення:

Еквівалентна площа приміщення:

Рассчитанный уровень шума на рабочем месте 48,5 дБ А ниже нормированного значения 50 дБ А. Следовательно нет никакой необходимости для применения дополнительных мер по шумозащите в помещении, в котором работают инженеры-программисты.

**Розрахунок необхідної кількості світильників штучного освітлення**

Розрахунок здійснюється за формулою:

Де N – необхідна кількість світильників

EH – нормативна освітленість

S – площа що освітлюється, м2

КЗ – коефіцієнт запасу

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення

R – коефіцієнт використання світового потоку

n – кількість світильників в ряду

Індекс приміщення:

Отже за таблицею R дорівнює 0,56

Из расчетов следует что кол-во необходимых светильников штучного освещения равно 3 штуки. Также можно применить некоторые меры по улучшению освещенности помещений:

1. При использовании ламп накаливания и недостаточных уровнях освещенности можно заменить их компактными люминесцентными лампами;
2. В поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная блескость;
3. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени;
4. Необходимо обеспечить достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности, а также в пределах окружающего пространства.

**Розрахунок повітря-обміну**

**Воздухообмен** — одно из базовых понятий в области вентиляции. Оно характеризует сменяемость воздуха в помещении, и, как следствие, эффективность работы приточных и вытяжных систем. Собственно, цель любой вентиляции — это создание воздухообмена в помещениях.

Хороший воздухообмен свидетельствует о хорошей работе систем вентиляции, о регулярном обновлении воздуха в помещении, о достаточной свежести внутреннего воздуха. Плохой воздухообмен означает, что воздух застоялся, в помещении душно, приток свежего воздуха практически отсутствует или явно недостаточен.

Необхідна для повітря-обміну витрата повітря:

Де n – кількість людей у приміщенні, чол.

Z1 – витрати повітря для повітря-обміну на 1 людину

Для обеспечения необходимых характеристик воздуха по показателям микроклимата и загрязнения воздуха предусмотрены следующие меры:

- общеобменная механическая вентиляция с кондиционированием воздуха, отопления и др.

- необходимо предусмотреть наличие аварийной вентиляции.

**Регламентація режимів праці та відпочинку**

**Правила разра­ботки режимов труда и отдыха:**

• рациональное чередование работы и отдыха, как одно из средств предупреждения утомления, должно проводиться на всех работах;

• при совершенствовании режимов работы и отдыха требуется учитывать воздействие условий труда на организм человека, его работоспособность;

• регламентированный отдых эффективнее, чем беспорядочные перерывы в работе, устанавливаемые по усмотрению работаю­щих.

• содержание отдыха и его продолжительность должны быть подчинены одной цели — максимальному снижению утомле­ния и обеспечению высокой и устойчивой работоспособности на протяжении рабочего дня (смены).

# 11.2 Цивільний захист

# ВИСНОВКИ

Де вони ?

# ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ МАТЕРІАЛІВ

1. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. Непрерывная разливка стали: Учебник. – Донецк: ДонНТУ, 2011 – 482 с.
2. Столяров A.M., Селиванов В.Н. Непрерывная разливка стали. Часть первая. Конструкция и оборудование МНЛЗ. Учебное пособие. - Магнитогорск: МГТУ, 2007. - 154 с.
3. Г.М. Глинков, В.А. Маковский АСУ ТП в черной металлургии. Издание 2-е. М. -М: Металлургия, 1999.- 311с.
4. Камкіна Л.В., Надточій А.А., Анкудінов Р.В., Бабенко О.В. Курс лекцій. Дніпропетровськ НМетАУ 2013 – 226 с.
5. Электромагнитный расходомер Promag 50. Руководство по эксплуатации. ООО ПО «РИЗУР». – 120 с. Сайт <https://www.rizur.ru/>
6. Краткое руководство по эксплуатации Cerabar M PMC51, PMP51, PMP 55. – 20с. Сайт <https://portal.endress.com/>
7. Руководство по эксплуатации МТМ-310. -2 с. Сайт <http://www.mikroterm.lg.ua/>

Источник: <https://pirometr.com.ua/products/DPR-1.html>

1. Клапан тип 3141. Инструкция по монтажу и эксплуатации. EB 8012 RU. Ревизия июль 2016 - 60 с.
2. Система автоматизации Siemens SIMATIC S7-400H. Руководство. 07/2003 – 328 с.
3. Источник: <https://www.meandr.ru/Leine-Linde-inkremental-heavy-duty-861>
4. Якушев А.М., Вяткин Ю.Ф. Справочник конверторщика Справочник. / Челябинск: «Металлургия», 1990 – 448 с.
5. Евтеев Д.П. Основные закономерности теплообмена между кристаллизатором и плоским слитком // Сталь.- 1969. - № 8. – С. 696-700.
6. Закон України «Про охорону праці» / В редакции Закону №229-IV від 21.11.2002, ВВР, 2003 №2 ст.10, Із змінамі ВВР 2004-2015 роки
7. Кнорринг Г. М. Довідкова книга з проектування електричного освітлення / Г. М. Кнорринг. - Л.: Енергія, 1976. -358 с.
8. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зоне». - М .: Изд-во стандартів, 1998..
9. ДСанПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила и норми роботи з візуальнімі дисплейної терміналамі електронно-обчислювальних машин / Затверджено постановив Головного державного санітарного лікаря України №7 від 10 грудня 1998р .; ДСанПіН 3.3.2.007-98

# ДОДАТОК А

ЛІСТІНГ ПРОГРАМИ

//---------------------------------------------------------------------------

#include <vcl.h>

#include <math.h>

#include <conio.h>

#include <iostream.h>

#include <cstdlib>

#pragma hdrstop

#include "Unit1.h"

//---------------------------------------------------------------------------

#pragma package(smart\_init)

#pragma resource "\*.dfm"

TForm1 \*Form1;

const float t=1e-9;

int i,j,a, i1, i2 ;

float cp, l, s, h, d, nz, dz, dtime, speed, tempstart, Ct, Cj, tempsolid, tempsredi,

templiquid, po, lampda, Q, alpha, c , db1, db2, db3, db4;

FILE \* f;

int ny, nx;

/\*

tempstart - начальная температура перегретой жидкой стали

Ct - удельная теплоемкость твердой стали

Cj - удельная теплоемкость жидкой стали

tempsolid - температура солидуса

templiquid - температура ликвидуса

po - плотность

lampda - усредненная теплопроводность жидкой и твердой стали

Q - удельная скрытая теплота затвердевания

cp - массовая теплоемкость переходной фазы

l - длина

s - ширина

h - высота

d - шаг по сечению

nz - кол-во разбиений по длине слитка

dz - шаг по длине

ny - кол-во разбиений по высоте

nx - кол-во разбиений по ширине

dtime - шаг по времени

speed - скорость

c-эффективная теплоемкость

z - расстояние

time - время

tempsredi - температура окружающей среды

db1, db2, db3, db4 - переменные для построения графиков

\*/

//---------------------------------------------------------------------------

\_\_fastcall TForm1::TForm1(TComponent\* Owner)

: TForm(Owner)

{

Form1->ClientHeight=850;

Form1->ClientWidth=1450;

//Form1->Name= "MNLZ";

Form1->BorderStyle=bsSingle; //масштабирование запрещено

Form1->Position=poScreenCenter; // расположение окна относительно экрана

BorderIcons = TBorderIcons() << biSystemMenu << biMinimize >> biMaximize; // блокировка кнопок свернуть и во весь экран

Ct = StrToFloat(Edit1->Text);

Cj = StrToFloat(Edit2->Text);

Q = StrToFloat(Edit19->Text);

templiquid = StrToFloat(Edit4->Text);

tempsolid = StrToFloat(Edit3->Text);

nz = StrToFloat(Edit14->Text);

h = StrToFloat(Edit11->Text);

s = StrToFloat(Edit10->Text);

d = StrToFloat(Edit13->Text);

l = StrToFloat(Edit9->Text);

po = StrToFloat(Edit5->Text);

lampda = StrToFloat(Edit6->Text);

speed = StrToFloat(Edit12->Text);

dtime = StrToFloat(Edit18->Text);

tempstart = StrToFloat(Edit8->Text);

tempsredi = StrToFloat(Edit20->Text);

cp = (Ct+Cj)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

dz = l/nz;

ny = ceil(h/(2\*d));

nx = ceil (s/(2\*d));

Edit7->Text = FloatToStrF(cp, ffFixed, 5,2);

Edit15->Text = FloatToStrF(dz, ffFixed, 5,2);

Edit16->Text = FloatToStrF(ny, ffFixed, 5,2);

Edit17->Text = FloatToStrF(nx, ffFixed, 5,2);

}

//---------------------------------------------------------------------------

void \_\_fastcall TForm1::Button1Click(TObject \*Sender)

{

// работа с файлом для записи

f=fopen("Raschet.txt", "wt");

fprintf(f, "Длина \t\t Сред широкой \t Ребро \t\t Седцевина \t Сред узкой \n");

float time,z =0; // время и расстояние

Ct = StrToFloat(Edit1->Text);

Cj = StrToFloat(Edit2->Text);

Q = StrToFloat(Edit19->Text);

templiquid = StrToFloat(Edit4->Text);

tempsolid = StrToFloat(Edit3->Text);

nz = StrToFloat(Edit14->Text);

h = StrToFloat(Edit11->Text);

s = StrToFloat(Edit10->Text);

d = StrToFloat(Edit13->Text);

l = StrToFloat(Edit9->Text);

po = StrToFloat(Edit5->Text);

lampda = StrToFloat(Edit6->Text);

speed = StrToFloat(Edit12->Text);

dtime = StrToFloat(Edit18->Text);

tempstart = StrToFloat(Edit8->Text);

speed = speed/60; //скорость (м/с)

//---------------------- Проверка на нули в знаменателе

if (templiquid!=tempsolid)

{

cp = (Ct+Cj)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

Edit7->Text = FloatToStrF(cp, ffFixed, 5,2);

}

else

{

MessageBox(NULL, "Температура ливидуса и солидуса не могут быть одинаковые!", "Внимание!", MB\_OK | MB\_ICONWARNING);

}

if (d && Ct && Cj && Q && templiquid && tempsolid && nz && h && s > 0)

{

dz = l/nz;

ny = ceil (h/(2\*d));

nx = ceil (s/(2\*d));

Edit15->Text = FloatToStrF(dz, ffFixed, 5,2);

Edit16->Text = FloatToStrF(ny, ffFixed, 5,2);

Edit17->Text = FloatToStrF(nx, ffFixed, 5,2);

}

else

{

MessageBox(NULL, "Введите корректные данные, значения не могут быть меньше или равны нулю", "Внимание!", MB\_OK | MB\_ICONWARNING);

}

//----------------------- Массивы

StringGrid1->ColCount=nx+1;

StringGrid1->RowCount=ny+2;

//Заполнение массива

double temp[38][9];

double tempnext[38][9];

nx = 37 ;

ny = 8 ;

for(int i=0; i < 38; i++ )

for(int j=0; j < 9; j++ )

temp[i][j]=tempstart;

//--------------------Расчетная часть

// Распределение теплоотдачи по ЗВО № 1

z = 0;

time = 0;

a=0;

/// цикл расчета матрицы

while (z < l)

{

a = a+1;

if (z < 0.5-0.05) {

alpha =1000;

}

else if (z < 1-0.05 ) {

alpha =900;

}

else if (z < 2.5-0.05) {

alpha =550;

}

else if (z < 6-0.05) {

alpha =150;

}

else if (z < 25-0.05) {

alpha =100;

}

else {

MessageBox(NULL, "Ошибка Альфа", "Внимание!", MB\_OK | MB\_ICONWARNING);

}

//формула 13 для верхней широкой грани

for(int i=1; i < nx; i++ )

{

// -------------------Система эффективная теплоемкость---------------------

if (temp[i][0] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[i][0] && temp[i][0] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[i][0]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[i][0] = temp[i][0]+((lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d)) \* (temp[i-1][0]+temp[i+1][0]+temp[i][1]-(3\*temp[i][0])+(alpha\*d/lampda) \* (tempsredi-temp[i][0]));

StringGrid1->Cells[i+1][1]= FloatToStrF(tempnext[i][0],ffFixed,5,1);

}

//формула 14 для нижней широкой части

for (int i=1; i < nx; i++ )

{

// -------------------Система эффективная теплоемкость---------------------

if (temp[i][ny] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[i][ny] && temp[i][ny] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[i][ny]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[i][ny] = temp[i][ny] + ((lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d))\*(temp[i-1][ny]+temp[i+1][ny]+temp[i][ny-1]-3\*temp[i][ny]);

StringGrid1->Cells[i+1][ny+1]=FloatToStrF (tempnext[i][ny], ffFixed,5,1);

}

// формула 15 для боковой грани четверти слитка

for (int j=1; j < ny; j++ )

{

// -------------------Система эффективная теплоемкость---------------------

if (temp[nx][j] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[nx][j] && temp[nx][j] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[nx][j]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[nx][j] = temp[nx][j]+(lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d) \* (temp[nx][j+1]+temp[nx][j-1]+temp[nx-1][j]-3\*temp[nx][j] + (alpha\*d/lampda) \*(tempsredi-temp[nx][j]));

StringGrid1->Cells[nx+1][j+1]=FloatToStrF (tempnext[nx][j], ffFixed,5,1);

}

// формула 16 для боковой внутренней грани четверти слитка

for(int j=1; j < ny; j++ )

{

if (temp[0][j] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[0][j] && temp[0][j] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[0][j]>tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[0][j] = temp[0][j] + (lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d) \* (temp[0][j+1]+temp[0][j-1]+temp[1][j]-3\*temp[0][j]);

StringGrid1->Cells[1][j+1]= FloatToStrF (tempnext[0][j], ffFixed,5,1);

}

// формула 12

// i = 2...nx-1

// y = 2...ny-1

for(int i=1; i < nx; i++ )

{

for(int j=1; j < ny; j++ )

{

if (temp[i][j] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[i][j] && temp[i][j] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[i][j]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[i][j] = temp[i][j] + (lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d) \* (temp[i-1][j]+temp[i+1][j]+temp[i][j-1]+temp[i][j+1]-4\*temp[i][j]);

StringGrid1->Cells[i+1][j+1]= FloatToStrF (tempnext[i][j], ffFixed,5,1);

}

}

// расчет крайних значений

tempnext[0][0] = (temp[0][1]+temp[1][0])/2;

tempnext[nx][0] = (temp[nx][1]+temp[nx-1][0])/2;

tempnext[0][ny] = (temp[0][ny-1]+temp[1][ny])/2;

tempnext[nx][ny] = (temp[nx][ny-1]+temp[nx-1][ny])/2;

// вывод крайних значений

StringGrid1->Cells[1][1]= FloatToStrF (tempnext[0][0], ffFixed,5,1);

StringGrid1->Cells[nx+1][1]= FloatToStrF (tempnext[nx][0], ffFixed,5,1);

StringGrid1->Cells[1][ny+1]= FloatToStrF (tempnext[0][ny], ffFixed,5,1);

StringGrid1->Cells[nx+1][ny+1]= FloatToStrF (tempnext[nx][ny], ffFixed,5,1);

// преобразование значений для записи в файл

db1 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[1][1]);

db2 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[nx+1][1]);

db3 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[1][ny+1]);

db4 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[nx+1][ny+1]);

fprintf(f, "%f \t %f \t %f \t %f \t %f \n",z, db1, db2, db3, db4); // запись крайних значений в файл

// наростание длины и времени

time=time+dtime;

z=z+dtime\*speed;

//обрисовка градиента

i1=-2;

i2=-2;

for (i=36; i <36\*2; i++)

{

i1=i1+1;

i2=i2+2;

if (tempnext[i-33][8] >= 1470 ) {

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(255, 255, 0);

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(255, 255, 0);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(255, 255, 0);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(255, 255, 0);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1460 && tempnext[i-33][8] < 1470) {

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(255, 213, 0);

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(255, 213, 0);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(255, 213, 0);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(255, 213, 0);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1450 && tempnext[i-33][8] < 1460) {

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(251, 163, 26);

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(251, 163, 26);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(251, 163, 26);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(251, 163, 26);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1440 && tempnext[i-33][8] < 1450) {

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(243, 114, 32);

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(243, 114, 32);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(243, 114, 32);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(243, 114, 32);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1430 && tempnext[i-33][8] < 1440) {

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(223, 30, 38);

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(223, 30, 38);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(223, 30, 38);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(223, 30, 38);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1420 && tempnext[i-33][8] < 1430) {

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(148, 26, 28);

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(148, 26, 28);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(148, 26, 28);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(148, 26, 28);

}

else if (tempnext[i-33][8] < 1420 ) {

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(94, 10, 11);

Image1->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(94, 10, 11);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(94, 10, 11);

Image1->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(94, 10, 11);

}

}

a++;

// приравнивание массива temp = tempnext

for (int i = 0; i < 38; i++)

for (int j = 0; j < 9; j++)

temp[i][j]=tempnext[i][j];

}

// -----------------------------------Распределение теплоотдачи по ЗВО № 2

for(int i=0; i < 38; i++ )

for(int j=0; j < 9; j++ )

temp[i][j]=tempstart;

z = 0;

time = 0;

a=0;

/// цикл расчета матрицы

while (z < l)

{

a = a+1;

if (z < 0.7-0.05) {

alpha =1000;

}

else if (z < 1.5-0.05 ) {

alpha =900;

}

else if (z < 2.5-0.05) {

alpha =800;

}

else if (z < 6-0.05) {

alpha =410;

}

else if (z < 9-0.05) {

alpha =150;

}

else if (z < 26-0.05) {

alpha =100;

}

else {

MessageBox(NULL, "Ошибка Альфа", "Внимание!", MB\_OK | MB\_ICONWARNING);

}

//формула 13 для верхней широкой грани

for(int i=1; i < nx; i++ )

{

// -------------------Система эффективная теплоемкость---------------------

if (temp[i][0] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[i][0] && temp[i][0] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[i][0]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[i][0] = temp[i][0]+((lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d)) \* (temp[i-1][0]+temp[i+1][0]+temp[i][1]-(3\*temp[i][0])+(alpha\*d/lampda) \* (tempsredi-temp[i][0]));

StringGrid1->Cells[i+1][1]= FloatToStrF(tempnext[i][0],ffFixed,5,1);

}

//формула 14 для нижней широкой части

for (int i=1; i < nx; i++ )

{

// -------------------Система эффективная теплоемкость---------------------

if (temp[i][ny] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[i][ny] && temp[i][ny] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[i][ny]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[i][ny] = temp[i][ny] + ((lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d))\*(temp[i-1][ny]+temp[i+1][ny]+temp[i][ny-1]-3\*temp[i][ny]);

StringGrid1->Cells[i+1][ny+1]=FloatToStrF (tempnext[i][ny], ffFixed,5,1);

}

// формула 15 для боковой грани четверти слитка

for (int j=1; j < ny; j++ )

{

// -------------------Система эффективная теплоемкость---------------------

if (temp[nx][j] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[nx][j] && temp[nx][j] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[nx][j]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[nx][j] = temp[nx][j]+(lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d) \* (temp[nx][j+1]+temp[nx][j-1]+temp[nx-1][j]-3\*temp[nx][j] + (alpha\*d/lampda) \*(tempsredi-temp[nx][j]));

StringGrid1->Cells[nx+1][j+1]=FloatToStrF (tempnext[nx][j], ffFixed,5,1);

}

// формула 16 для боковой внутренней грани четверти слитка

for(int j=1; j < ny; j++ )

{

if (temp[0][j] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[0][j] && temp[0][j] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[0][j]>tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[0][j] = temp[0][j] + (lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d) \* (temp[0][j+1]+temp[0][j-1]+temp[1][j]-3\*temp[0][j]);

StringGrid1->Cells[1][j+1]= FloatToStrF (tempnext[0][j], ffFixed,5,1);

}

// формула 12

// i = 2...nx-1

// y = 2...ny-1

for(int i=1; i < nx; i++ )

{

for(int j=1; j < ny; j++ )

{

if (temp[i][j] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[i][j] && temp[i][j] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[i][j]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[i][j] = temp[i][j] + (lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d) \* (temp[i-1][j]+temp[i+1][j]+temp[i][j-1]+temp[i][j+1]-4\*temp[i][j]);

StringGrid1->Cells[i+1][j+1]= FloatToStrF (tempnext[i][j], ffFixed,5,1);

}

}

// расчет крайних значений

tempnext[0][0] = (temp[0][1]+temp[1][0])/2;

tempnext[nx][0] = (temp[nx][1]+temp[nx-1][0])/2;

tempnext[0][ny] = (temp[0][ny-1]+temp[1][ny])/2;

tempnext[nx][ny] = (temp[nx][ny-1]+temp[nx-1][ny])/2;

// вывод крайних значений

StringGrid1->Cells[1][1]= FloatToStrF (tempnext[0][0], ffFixed,5,1);

StringGrid1->Cells[nx+1][1]= FloatToStrF (tempnext[nx][0], ffFixed,5,1);

StringGrid1->Cells[1][ny+1]= FloatToStrF (tempnext[0][ny], ffFixed,5,1);

StringGrid1->Cells[nx+1][ny+1]= FloatToStrF (tempnext[nx][ny], ffFixed,5,1);

// преобразование значений для записи в файл

db1 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[1][1]);

db2 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[nx+1][1]);

db3 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[1][ny+1]);

db4 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[nx+1][ny+1]);

fprintf(f, "%f \t %f \t %f \t %f \t %f \n",z, db1, db2, db3, db4); // запись крайних значений в файл

// наростание длины и времени

time=time+dtime;

z=z+dtime\*speed;

//обрисовка градиента

i1=-2;

i2=-2;

for (i=36; i <36\*2; i++)

{

i1=i1+1;

i2=i2+2;

if (tempnext[i-33][8] >= 1450 ) {

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(255, 255, 0) ;

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(255, 255, 0) ;

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(255, 255, 0) ;

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(255, 255, 0) ;

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1430 && tempnext[i-33][8] < 1450) {

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(255, 213, 0) ;

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(255, 213, 0) ;

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(255, 213, 0) ;

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(255, 213, 0) ;

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1410 && tempnext[i-33][8] < 1430) {

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(251, 163, 26);

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(251, 163, 26);

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(251, 163, 26);

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(251, 163, 26);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1390 && tempnext[i-33][8] < 1410) {

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(243, 114, 32);

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(243, 114, 32);

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(243, 114, 32);

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(243, 114, 32);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1370 && tempnext[i-33][8] < 1390) {

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(223, 30, 38);

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(223, 30, 38);

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(223, 30, 38);

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(223, 30, 38);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1350 && tempnext[i-33][8] < 1370) {

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(148, 26, 28);

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(148, 26, 28);

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(148, 26, 28);

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(148, 26, 28);

}

else if (tempnext[i-33][8] < 1350 ) {

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(94, 10, 11);

Image2->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(94, 10, 11);

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(94, 10, 11);

Image2->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(94, 10, 11);

}

}

a++;

// приравнивание массива temp = tempnext

for (int i = 0; i < 38; i++)

for (int j = 0; j < 9; j++)

temp[i][j]=tempnext[i][j];

}

// Распределение теплоотдачи по ЗВО № 3

for(int i=0; i < 38; i++ )

for(int j=0; j < 9; j++ )

temp[i][j]=tempstart;

z = 0;

time = 0;

a=0;

/// цикл расчета матрицы

while (z < l)

{

a = a+1;

// Распределение теплоотдачи по ЗВО № 3

if (z < 0.7-0.05) {

alpha =1000;

}

else if (z < 1.5-0.05 ) {

alpha =650;

}

else if (z < 2.5-0.05) {

alpha =550;

}

else if (z < 6-0.05) {

alpha =420;

}

else if (z < 9-0.05) {

alpha =320;

}

else if (z < 12-0.05) {

alpha =220;

}

else if (z < 17.5-0.05) {

alpha =100;

}

else if (z < 26-0.05) {

alpha =50;

}

else {

MessageBox(NULL, "Ошибка Альфа", "Внимание!", MB\_OK | MB\_ICONWARNING);

}

//формула 13 для верхней широкой грани

for(int i=1; i < nx; i++ )

{

// -------------------Система эффективная теплоемкость---------------------

if (temp[i][0] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[i][0] && temp[i][0] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[i][0]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[i][0] = temp[i][0]+((lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d)) \* (temp[i-1][0]+temp[i+1][0]+temp[i][1]-(3\*temp[i][0])+(alpha\*d/lampda) \* (tempsredi-temp[i][0]));

StringGrid1->Cells[i+1][1]= FloatToStrF(tempnext[i][0],ffFixed,5,1);

}

//формула 14 для нижней широкой части

for (int i=1; i < nx; i++ )

{

// -------------------Система эффективная теплоемкость---------------------

if (temp[i][ny] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[i][ny] && temp[i][ny] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[i][ny]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[i][ny] = temp[i][ny] + ((lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d))\*(temp[i-1][ny]+temp[i+1][ny]+temp[i][ny-1]-3\*temp[i][ny]);

StringGrid1->Cells[i+1][ny+1]=FloatToStrF (tempnext[i][ny], ffFixed,5,1);

}

// формула 15 для боковой грани четверти слитка

for (int j=1; j < ny; j++ )

{

// -------------------Система эффективная теплоемкость---------------------

if (temp[nx][j] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[nx][j] && temp[nx][j] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[nx][j]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[nx][j] = temp[nx][j]+(lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d) \* (temp[nx][j+1]+temp[nx][j-1]+temp[nx-1][j]-3\*temp[nx][j] + (alpha\*d/lampda) \*(tempsredi-temp[nx][j]));

StringGrid1->Cells[nx+1][j+1]=FloatToStrF (tempnext[nx][j], ffFixed,5,1);

}

// формула 16 для боковой внутренней грани четверти слитка

for(int j=1; j < ny; j++ )

{

if (temp[0][j] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[0][j] && temp[0][j] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[0][j]>tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[0][j] = temp[0][j] + (lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d) \* (temp[0][j+1]+temp[0][j-1]+temp[1][j]-3\*temp[0][j]);

StringGrid1->Cells[1][j+1]= FloatToStrF (tempnext[0][j], ffFixed,5,1);

}

// формула 12

// i = 2...nx-1

// y = 2...ny-1

for(int i=1; i < nx; i++ )

{

for(int j=1; j < ny; j++ )

{

if (temp[i][j] > templiquid) {

c=Cj;

}

else if (tempsolid <=temp[i][j] && temp[i][j] <=templiquid ){

c=(Cj+Ct)/2+Q/(templiquid-tempsolid);

}

else if (temp[i][j]<tempsolid) {

c=Ct;

}

tempnext[i][j] = temp[i][j] + (lampda\*dtime)/(po\*c\*d\*d) \* (temp[i-1][j]+temp[i+1][j]+temp[i][j-1]+temp[i][j+1]-4\*temp[i][j]);

StringGrid1->Cells[i+1][j+1]= FloatToStrF (tempnext[i][j], ffFixed,5,1);

}

}

// расчет крайних значений

tempnext[0][0] = (temp[0][1]+temp[1][0])/2;

tempnext[nx][0] = (temp[nx][1]+temp[nx-1][0])/2;

tempnext[0][ny] = (temp[0][ny-1]+temp[1][ny])/2;

tempnext[nx][ny] = (temp[nx][ny-1]+temp[nx-1][ny])/2;

// вывод крайних значений

StringGrid1->Cells[1][1]= FloatToStrF (tempnext[0][0], ffFixed,5,1);

StringGrid1->Cells[nx+1][1]= FloatToStrF (tempnext[nx][0], ffFixed,5,1);

StringGrid1->Cells[1][ny+1]= FloatToStrF (tempnext[0][ny], ffFixed,5,1);

StringGrid1->Cells[nx+1][ny+1]= FloatToStrF (tempnext[nx][ny], ffFixed,5,1);

// преобразование значений для записи в файл

db1 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[1][1]);

db2 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[nx+1][1]);

db3 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[1][ny+1]);

db4 = StrToFloat( StringGrid1->Cells[nx+1][ny+1]);

fprintf(f, "%f \t %f \t %f \t %f \t %f \n",z, db1, db2, db3, db4); // запись крайних значений в файл

// Графики

Series1->Add(tempnext[0][0], z, clRed );

Series2->Add(tempnext[nx][0], z, clGreen );

Series3->Add(tempnext[0][ny], z, clYellow );

Series4->Add(tempnext[nx][ny], z, clBlue );

// наростание длины и времени

time=time+dtime;

z=z+dtime\*speed;

//обрисовка градиента

i1=-2;

i2=-2;

for (i=36; i <36\*2; i++)

{

//i1=i1+1;

i2=i2+2;

if (tempnext[i-33][8] >= 1470 ) {

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(255, 255, 0);

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(255, 255, 0);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(255, 255, 0);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(255, 255, 0);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1460 && tempnext[i-33][8] < 1470) {

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(255, 213, 0);

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(255, 213, 0);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(255, 213, 0);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(255, 213, 0);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1450 && tempnext[i-33][8] < 1460) {

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(251, 163, 26);

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(251, 163, 26);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(251, 163, 26);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(251, 163, 26);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1440 && tempnext[i-33][8] < 1450) {

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(243, 114, 32);

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(243, 114, 32);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(243, 114, 32);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(243, 114, 32);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1430 && tempnext[i-33][8] < 1440) {

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(223, 30, 38);

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(223, 30, 38);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(223, 30, 38);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(223, 30, 38);

}

else if (tempnext[i-33][8] >= 1420 && tempnext[i-33][8] < 1430) {

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(148, 26, 28);

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(148, 26, 28);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(148, 26, 28);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(148, 26, 28);

}

else if (tempnext[i-33][8] < 1420 ) {

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a]=RGB(94, 10, 11);

Image3->Canvas->Pixels[i-i2][a+1]=RGB(94, 10, 11);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a]=RGB(94, 10, 11);

Image3->Canvas->Pixels[i+1][a+1]=RGB(94, 10, 11);

}

}

a++;

// приравнивание массива temp = tempnext

for (int i = 0; i < 38; i++)

for (int j = 0; j < 9; j++)

temp[i][j]=tempnext[i][j];

}

}