# 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 заготовок (МБЛЗ) з використанням розробленої математичної моделі кристалізації і охолодження безперервного злитка.

Об'єкт: машина безперервного лиття заготовок

На підставі існуючої машини безперервного лиття заготовок 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 заготовки.

Виконано заходи з охорони праці та цивільної безпеки.

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

ЗМІСТ

[ANNOTATION 2](#_Toc25312563)

[РЕФЕРАТ 3](#_Toc25312564)

[ВСТУП 5](#_Toc25312565)

[1 АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ЗАГОТІВКИ В МБРЗ 6](#_Toc25312566)

[1.1 Структуры систем автоматизации 7](#_Toc25312567)

[2 КОНСТРУКЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОНИ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ (ЗВО) МБРЗ 10](#_Toc25312568)

[3 ТЕХНОЛОГІЯ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ 16](#_Toc25312569)

[4 ТЕОРІЯ ОХОЛОДЖЕННЯ І КРИСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ В ЗВО 20](#_Toc25312570)

[5 ЗАДАЧІ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗВО 22](#_Toc25312571)

[6 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ В ЗВО 24](#_Toc25312572)

[7 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ 25](#_Toc25312573)

[8 СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ 30](#_Toc25312574)

[9 СТРУКТУРНА СХЕМА КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ 32](#_Toc25312575)

[10 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ І КРИСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ В ЗВО 35](#_Toc25312576)

[10.1 Идентификация модели 38](#_Toc25312577)

[10.2 Результаты расчетов на ЭВМ 41](#_Toc25312578)

[11 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ 46](#_Toc25312579)

[11.1 Охорона праці 46](#_Toc25312580)

[11.2 Цивільний захист 51](#_Toc25312581)

[ВИСНОВКИ 51](#_Toc25312582)

[ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ МАТЕРІАЛІВ 52](#_Toc25312583)

[ДОДАТОК А 53](#_Toc25312584)

# 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 заготовку. Тим часом велика частина стали (не менше двох третин) роливається тим не менше на слябових МБЛЗ. При цьому левова частка МБЛЗ експлуатірующіх на металургійних заводах Донбасу.

В даному дипломному проекті розроблена математична модель охолодження заготовки в ЗВО МБЛЗ при стаціонарному режимі розливання сталі. Розроблено програму відображає температурне поле в серцевині заготовки 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 ЗАГОТІВКИ В МБРЗ

Одним из основных преимуществ современных машин для непрерывной разливки стали является высокая степень автоматизации процесса разливки в целом, а также отдельных функциональных и технологических операций

В общем виде принято различать автоматические и автоматизированные (компьютеризированные) системы управления. В системах автоматического управления (СЛУ) состоящих из объектов управления и управляющего устройства, человек непосредственного участия в процессе управления не принимает. В отличие от САУ, в автоматизированных (компьютеризированных) системах управления (КСУ) предполагается обязательное участие людей в процессах управления. Принципиальное отличие КСУ от традиционной системы управления состоит в том, что в КСУ часть управленческих работ, а именно сбор, анализ, и преобразование информации, выполняется с помощью вычислительной техники.

Основной экономический эффект от внедрения АСУ (КСУ) для технологических процессов непрерывной разливки стали достигается за счет повышения уровня организации процесса разливки, более полной загрузки оборудования, обеспечения ритмичности работы МНЛЗ, сокращения непроизводительных потерь, в том числе и за счет предотвращения аварийных ситуаций, что в итоге повышает производительность труда и снижает издержки производства, а также повышает качество заготовки. Это достигается благодаря полноте, своевременности и оптимальности принимаемых решений, а также экономии управленческого труда без ущерба для качества управления.[1]

Для улучшения технико-экономических показателей работы МНЛЗ используется автоматизированная система управления технологическим процессом разливки стали (АСУ ТП).

Основными целями АСУ ТП являются:

- повышение качества отливаемых заготовок за счёт оптимизации и стабилизации основных параметров непрерывной разливки стали с минимальными затратами;

- увеличение производительности МНЛЗ вследствие прогнозирования возможных выходов из строя элементов технологического оборудования и своевременной их замены;

- увеличение выхода годного металла за счёт оптимизации раскроя заготовки на мерные части;

- улучшение условий труда обслуживающего персонала.[2]

## 1.1 Структуры систем автоматизации

Структура систем автоматического управления процессом охлаждения в секциях ЗВО Для автоматического управления процессом охлаждения ЗВО используют 3 метода:

1. программное управление.

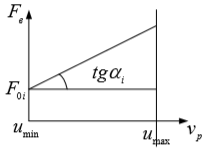
2. Автоматическое управление по отклонению температуры поверхности заготовки от заданной в конце секции.

3. Автоматическое управление с использованием модели процесса кристаллизации и охлаждения непрерывного слитка.

Рассмотрим структуры систем автоматического управления согласно описанным методам.

1. Структура системы программного управления процессом охлаждения.

В системах программного управления используются экспериментально полученные программы изменения количества воды на охлаждение в зависимости от группы марки стали, сечение заготовки и скорости разлива (рис. 1)



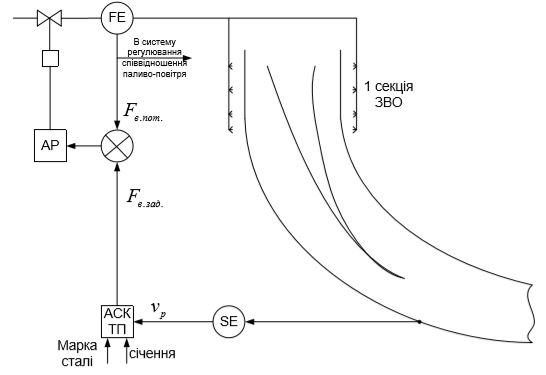


Рис. 1 - Структура системы программного управления процессом охлаждения

1. Структура системы автоматического управления охлаждением в ЗВО по отклонению температуры поверхности.

При этой структуре на выходе каждой зоны устанавливают пирометры спектрального соотношение, мировой (не реагирует на пар). В зависимости от температуры, которую показывает пирометр на выходе конкретной секции, специальный корректирующий регулятор сравнивает текущую температуру поверхности с заданной и по этому отклонению формирует корректирующий сигнал регулятору стабилизации расхода воды на эту секцию (рис.2).

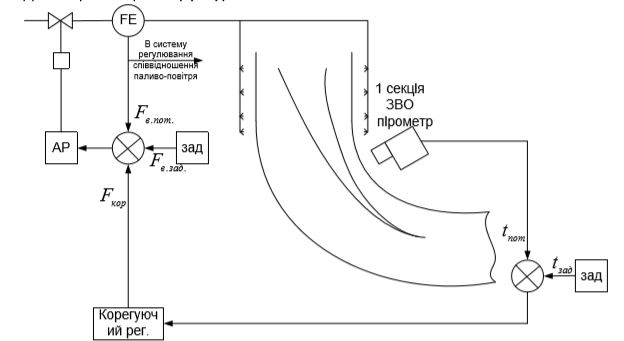


Рис. 2 - Структура системы автоматического управления охлаждением в ЗВО по отклонению температуры поверхности

1. Структура системы охлаждения с использованием мат. модели процесса охлаждения и кристаллизации.

Мат. Модель разрабатывается с использованием уравнений теплопроводности и кристаллизации слитка. Проблема заключается в том, чтобы точно определить параметры заготовки и теплофизические параметры. Точность модели определяется точностью контроля параметров: температуры, скорости разлива, сечения, хим. Состава, а также от точности определения теплофизических параметров (рис. 3).[3]

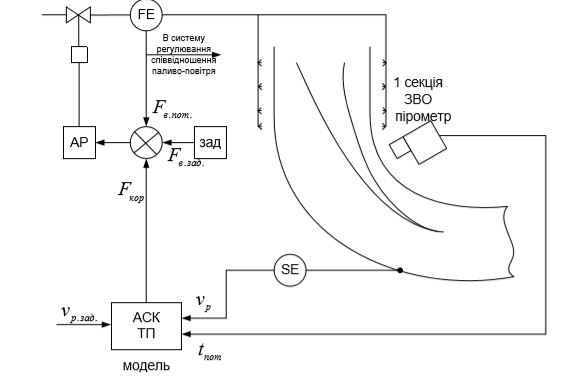


Рис. 3 - Структура системы охлаждения с использованием мат. модели процесса охлаждения и кристаллизации.

# 2 КОНСТРУКЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОНИ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ (ЗВО) МБРЗ

Ниже кристаллизатора по технологической оси МНЛЗ располагается зона вторичного охлаждения (ЗВО) заготовки.

В этой зоне должны быть созданы оптимальные условия для обеспечения полного затвердевания непрерывнолитой заготовки.

В ЗВО заготовка находится в напряжённо-деформированном состоянии. Это обусловлено сжимающими усадочными воздействиями на её оболочку при затвердевании металла; распирающим ферростатическим давлением жидкого металла изнутри; чередованием термических воздействий при попадании охладителя на поверхность заготовки и без него при экранировании поддерживающими устройствами; растягивающими воздействиями из-за трения при вытягивании заготовки. Всё это оказывает существенное влияние на качество отливаемой заготовки.[2]

Зона вторичного охлаждения должна отвечать следующим функциональным требованиям:

* обеспечивать тщательную поддержку слитка на выходе из кристаллизатора, где толщина оболочки минимальна, а ее механическая прочность весьма низка;
* исключать возможность сильного выпучивания (деформации) твердой корочки слитка под действием ферростатического давления;
* уменьшать воздействие растягивающих напряжений в оболочке заготовки, возникающих под действием тянущих усилий;
* обеспечивать оптимальный теплоотвод и его регулирование в зависимости от скорости вытягивания и сортамента отливаемой стали;
* сохранять стабильность технологической оси и прочностные характеристики поддерживающих устройств в условиях высоких температур и нагрузок в процессе длительной эксплуатации машины;
* обеспечивать быструю замену узлов ЗВО при аварийных ситуациях, а также минимальные потери времени на переналадку, связанную с изменением сечения отливаемой заготовки.

Конструкция ЗВО состоит из системы опорных элементов (роликов), поддерживающих и направляющих заготовку (рис. 4), и устройств, обеспечивающих охлаждение слитка за счет впрыскивания охлаждающей воды, расположенных между роликами. Точность расположения опорных роликов является весьма важным элементом в системе обеспечения качества непрерывнолитой заготовки, поскольку любые отклонения положения роликов от номинальной позиции приводят к дополнительной деформации заготовки в процессе ее движения по ЗВО.

Для обеспечения равномерного охлаждения заготовки по длине ЗВО обычно разбивается на несколько секций. Как правило, их число колеблется от 3 до 5 для сортовых и блюмовых МНЛЗ и от 8 до 15 для слябовых. Разбивка ЗВО на сегменты упрощает монтажные работы на МНЛЗ, а также позволяет выполнять настройку сегментов за ее пределами.

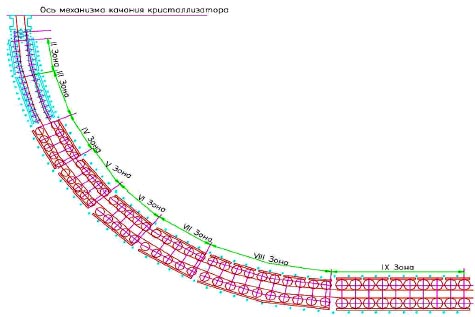


Рис. 4 – Конструкция ЗВО МНЛЗ

Слябовые МНЛЗ оборудуются опорными элементами по технологической оси до полного затвердевания заготовки. Опорные элементы поддерживают только широкие грани слябовой заготовки.

Вся система поддержки сляба условно делится на два участка. Сразу под кристаллизатором располагается верхний участок с опорными элементами без привода. За ним находится нижний участок с приводными опорными элементами для вытягивания заготовки. На верхнем участке в качестве опорных элементов применяются вертикальные брусья, решётки, плиты (такие элементы характерны для вертикальных машин), шагающие балки, роликовые проводки. На нижнем участке для всех типов машин используются только роликовые проводки различной конструкции.[2]

Для обеспечения равномерного охлаждения заготовки по длине ЗВО обычно разбивается на несколько секций. Как правило, их число колеблется от 3 до 5 для сортовых и блюмовых МНЛЗ и от 8 до 15 для слябовых. Разбивка ЗВО на сегменты упрощает монтажные работы на МНЛЗ, а также позволяет выполнять настройку сегментов за ее пределами. В конструкционном плане сегменты представляют собой две сварные рамы с роликами, которые жестко стянуты между собой специальными стяжками.

В зоне вторичного охлаждения происходит окончательное затвердевание непрерывнолитой заготовки в результате теплоотвода излучением, конвекцией, при контакте заготовки с роликами и при подаче на её поверхность охладителя. В качестве охладителя обычно используется вода или водовоздушная смесь. Для подачи охладителя на поверхность заготовки используются специальные устройства системы вторичного охлаждения - форсунки.

Общая длина зоны вторичного охлаждения разбивается на отдельные зоны (секции) расстановки форсунок.

В первых зонах (обычно - не более трёх) сразу под кристаллизатором на современных МНЛЗ применяется водяное охлаждение заготовки. Вода в виде распылённого факела подаётся в зазоры между поддерживающими элементами - обычно роликами, на поверхность заготовки. Для этого используются механические (гидравлические) форсунки, в которые вода подаётся под давлением 0,2...0,5 МПа. Проходя через выходные отверстия - сопла определённой конфигурации, вода из-за перепада давлений самостоятельно раздрабливается на капли размером 0,2... 1,0 мм и образует факел. Форма факела зависит от конструкции форсунки, формы и количества сопел.

Для охлаждения широких граней слябовой заготовки используются плоскофакельные форсунки с одним или несколькими соплами (рис. 5).

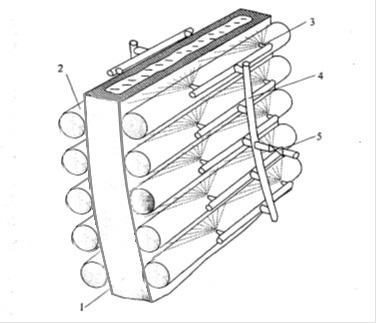


Рис. 5 – Схема вторичного охлаждения слябовой непрерывной заготовки.

1 - заготовка; 2 - опорный ролик; 3 - форсунка; 4 - подводящий коллектор; 5 – задвижка.[2]

В наиболее сложных условиях работают ролики слябовых МНЛЗ, поскольку они имеют большое расстояние между подшипниковыми опорами и максимальную тепловую нагрузку вследствие большой ширины сляба. Ролики современных слябовых МНЛЗ состоят из трех обечаек, опирающихся на четыре подшипника качения, установленные в подушках

Внутри оси выполнен канал охлаждения, в противоположные концы которого установлены специальные вертлюги для подвода и отвода охлаждающей воды. В подушках подшипников также выполнены каналы охлаждения для защиты наружного кольца подшипника.

В целом опорные ролики МНЛЗ работают в достаточно сложных условиях, поскольку находятся в зоне повышенных температур и испытывают высокие нагрузки, связанные с поддержкой заготовки. Температурный режим охлаждения опорных роликов представляется достаточно важным фактором, обеспечивающим их эксплуатационную стойкость. При этом рабочая поверхность роликов постоянно контактирует с горячей поверхностью заготовки, и ролики соответственно подвергаются сильному температурному воздействию.

Если интенсивность водяного охлаждения оказывается недостаточной, то термические нагрузки на поверхность роликов приводят к появлению на их рабочей поверхности трещин (так называемый «разгар»), которые отрицательно влияют на качество поверхности заготовки, а также приводят к поломке роликов. Дополнительным фактором, влияющим на качество поверхности заготовки в случае недостаточного охлаждения роликов, является развитие явления «налипания» окалины на их рабочую поверхность. Налипшие куски окалины травмируют поверхность сляба, оставляя в нем соответствующие вмятины.

Особое место при выборе оптимальных размеров диаметров поддерживающих роликов и расстояния между ними занимают соображения выпучивания оболочки твердой корочки под действием ферростатического давления. Усилия, возникающие в этом случае настолько велики, что они могут радикально деформировать твердую корочку. При этом следует иметь в виду, что деформация твердой корочки происходит в каждой паре роликов. Это, в конечном счете, может приводить к образованию внутренних трещин в твердой корочке, что существенным образом снизит качество заготовки.

Соответственно, в верхней части ЗВО устанавливаются опорные ролики минимального диаметра (100-120 мм), что позволяет в максимальной степени ограничивать выпучивание твердой корочки. По мере продвижения заготовки в ЗВО диаметр роликов увеличивается. В последних секциях ЗВО слябовых МНЛЗ он достигает величины 300-350 мм. В качестве материала для роликов используют легированные стали марок 24Х1МФ и 25Х1МФ.

В процессе движения слитка по ЗВО происходит изменение (уменьшение) его геометрических размеров вследствие усадки стали. Поэтому положение роликов в ЗВО обязательно учитывает конусность непрерывнолитой заготовки и к ней привязывается положение каждого ролика. На практике точность положения роликов вдоль технологической оси колеблется в пределах от 0,05 до 0,1 мм. В процессе эксплуатации МНЛЗ положение опорных роликов время от времени контролируется и корректируется в случае необходимости.

Между тем, функции поддерживающих устройств не ограничиваются только сохранением геометрической формы заготовки. Кроме того, заготовку необходимо непрерывно вытягивать из кристаллизатора, перемещать ее вдоль технологической линии МНЛЗ одновременно с ее выпрямлением (а для криволинейных МНЛЗ еще и загибом).

Для равномерного вытягивания заготовки необходимо создать определенное усилие между роликами и формирующимся слитком. Усилие прижима, передаваемое роликами на слиток, должно быть равно или несколько превышать (10-15%) ферростатическое давление жидкой фазы слитка на ролики. Оно обеспечивается с помощью гидравлических или пружинных устройств, расположенных на верхней раме. Для предотвращения большой деформации слитка от давления роликов между верхней и нижней рамами устанавливаются специальные упоры. При этом для того, чтобы уменьшить растягивающие усилия, действующие во время вытягивания на его оболочку, целесообразно распределить приводные ролики по всей длине технологической линии. В большинстве случаев делают приводными часть нижних роликов, распределяя приводы равномерно по длине машины.

На участке распрямления кроме выполнения функции поддержания заготовки и ее вытягивания, на ролики добавляется функция правки (разгиба) заготовки. Известны различные схемы участков выпрямления: со стационарной установкой роликов, с плавающей кассетой поддерживающих роликов, с подпружиненными поддерживающими роликами, с балансирной установкой верхних роликов, с балансирной установкой четырех роликовых блоков и т.д. Обычно разгиб заготовки осуществляется в нескольких точках (например, 2-3 точки для сортовых МНЛЗ, 5-8 и более точек для слябовых МНЛЗ), что предотвращает появление внутренних поперечных трещин. Между тем, на практике существуют определенные рекомендации, основанные на экспериментальных данных, которые позволяют рассчитать шаг роликов, исходя из условия, что максимальный прогиб равен допустимому по условиям прочности и качества заготовки.

В настоящее время на современных слябовых и блюмовых МНЛЗ с целью подавления осевой пористости и ликвации широко используется метод «мягкого» обжатия. Этот метод предполагает обжатие заготовки в жидко-твердом состоянии непосредственно в ЗВО. При этом фронты кристаллизации противоположных граней сближаются и выдавливают жидкую фазу в образовавшиеся в процессе кристаллизации усадочные полости, а также вверх заготовки.

# 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ

Равномерное охлаждение непрерывнолитой заготовки является наиболее важной задачей, решаемой в зоне вторичного охлаждения. При этом заготовка, выходящая из кристаллизатора, имеет твердую корочку толщиной 15-35 мм, а также жидко-твердую зону и внутреннюю зону с жидкой фазой, имеющую температуру стали на уровне температуры ликвидус.



Рис.6 – Отвод тепла от заготовки в зоне вторичного охлаждения

Доля суммарного теплоотвода в зоне вторичного охлаждения составляет 75-78%*,* причем 38-40% тепла передается подаваемой форсунками воде, приблизительно 30% поддерживающим роликам с внутренним охлаждением и приблизительно 8% вследствие лучеиспускания и конвекции в окружающую среду.

Интенсивность охлаждения во вторичной зоне должна выбираться таким образом, чтобы температура поверхности заготовки в процессе ее перемещения по ней оставалась примерно постоянной или медленно уменьшалась. Достаточно часто предпочтение отдается варианту, при котором температура поверхности медленно снижается по всей длине ЗВО. Наиболее неблагоприятными условиями охлаждения являются колебания температуры заготовки в области температуры аустенитного превращения, поскольку они провоцируют возникновение горячих поверхностных трещин.[4]

Для обеспечения эффективного процесса охлаждения, величина коэффициента теплопередачи *α* должна быть достаточно высокой, однако она также должна быть регулируемой. В данном дипломном проекте разработана математическая модель, рассчитанная с тремя разными показателями теплоотдачи.

Для обеспечения эффективного процесса охлаждения, величина коэффициента теплопередачи *α* должна быть достаточно высокой, однако она также должна быть регулируемой.

Водовоздушное охлаждение осуществляется частицами воды, которые распыляются воздухом. Распыление воды происходит в основном в результате соударения двух потоков (водяного и воздушного) внутри форсунки. Распылитель представляет собой как бы две независимые форсунки для воды и для воздуха, струи от которых пересекаются. Оба потока выходят из распылителя в направлении непрерывнолитой заготовки и встречаются один с другим, образуя факел мелкодисперсных капель воды. Воздух при этом способе охлаждения играет двоякую роль: он обеспечивает распыление воды и сообщает каплям необходимую высокую кинетическую энергию. Характер распыления воды определяется расходом и давлением воздуха и поддается регулированию в широком диапазоне параметров.

Форсунки располагаются как непосредственно между опорными роликами, так и за ними (рис. 7). При расположении форсунок между роликами увеличивается эффективный угол распыления охладителя, что обеспечивает более равномерный отвод тепла с поверхности заготовки. Расположение форсунок за опорными роликами позволяет направить часть охладителя на их поверхность, тем самым улучшая условия их работы. На практике, такая схема расположения форсунок применяется в последних секциях ЗВО.

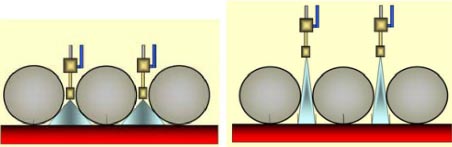


Рис. 7 – Схемы расположения форсунок при водовоздушном охлаждении

Все основные способы водовоздушного охлаждения можно с определенной степенью условности объединить в две большие группы.

1. Образование водовоздушной смеси в специальных, отдельно расположенных смесителях с последующим транспортированием смеси к слитку. Достоинством такой системы является сравнительная простота подачи готовой смеси на слиток с помощью несложных по конструкции форсунок. Но в целом вся система достаточно громоздка, и главным ее недостатком является расслаивание смеси при ее транспортировке и неоднородность от форсунки к форсунке.
2. Образование водовоздушной смеси непосредственно перед подачей ее на слиток путем раздельной подачи из коллектора воды и воздуха. При пересечении струй под определенными углами происходит их соударение, дробление струи воды и образование направленного водовоздушного факела. Система достаточно компактна, но регулирование интенсивности охлаждения затруднено, так как при изменении расходов и давлений воды или воздуха меняется как дисперсность водяных капель, так и форма направленности водовоздушного факела. Кроме того, устройство требует высокой точности изготовления, а при эксплуатации оно очень чувствительно к чистоте воды.

Высокая эффективность метода водовоздушного охлаждения объясняется тем, что благодаря большой кинетической энергии с металлом одновременно контактирует множество капель распыленной воды. При одном и том же расходе воды площадь теплообмена между охладителем и заготовкой увеличивается, поскольку вода мелко распылена и число мелких капель очень велико. При этом капли достаточно равномерно распределяются по поверхности заготовки, так как факел имеет устойчивую геометрическую форму. Вода, которая не испарилась при контакте с поверхностью заготовки, падает вниз в виде мелкого дождя, создавая зону охлаждения ближайших участков.

Основные технологические преимущества системы водовоздушного охлаждения заключаются в следующем:

* высокие скорости движения потоков непосредственно в отверстии форсунки, что существенно уменьшает вероятность его зарастания;
* возможность формирования капель воды оптимальных размеров, что повышает эффективность охлаждения в целом;
* широкий диапазон изменения параметров подачи охлаждающей жидкости и воздуха, что дает возможность использовать один типоразмер форсунок для различных марок сталей и скоростей литья;
* однородность распыления воды вдоль поверхности широких граней слябов за счет использования нескольких форсунок по ширине (с перекрытием), что снижает вероятность локального переохлаждения (перегрева) поверхности слитка.

Бесперебойная работа систем форсуночного охлаждения во многом зависит от качества используемой воды. Грязная и слишком жесткая вода приводит к засорению форсунок. Засорение форсунок приводит к неравномерному разбрызгиванию охлаждающей жидкости и, соответственно, к неравномерному охлаждению непрерывнолитой заготовки (рис. 7). Это, как известно, приводит к короблению твердой корочки заготовки, растрескиванию или к прорывам. [4]

# 4 ТЕОРІЯ ОХОЛОДЖЕННЯ І КРИСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ В ЗВО

Настройка и освоение новых МНЛЗ требует коррекции режимов охлаждения непрерывного сляба в зоне вторичного охлаждения, рассчитанных при проектировании установок.

Как известно, теплообмен на поверхности заготовок определяется функцией распределения коэффициентов теплоотдачи по длине МНЛЗ, которая связана с интенсивностью охлаждения заготовки по периметру, выбранной из условий получения качественного металла на выходе из МНЛЗ.

Таким образом, задача подготовки данных для расчета уточненных режимов охлаждения представляет собой определения функции распределения коэффициентов теплоотдачи на поверхности заготовки на основе полученных в результате экспериментов (чаще всего пассивных, т.е. наблюдений за параметрами разливки) данных по температурам поверхности на гранях заготовки, скорости разливки и расходов охладителя в зонах охлаждения. Получение функции распределения является задачей математического программирования, и его методы дают наилучшее приближение. В дальнейшем подобная модель может служить для прогноза не только температурного поля в заготовке, но и связанных с ним параметров качества и структуры.

Математической моделью процесса кристаллизации непрерывного слитка можно считать дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности в условиях фазовых превращений (кристаллизации металла) с соответствующими начальными и граничными условиями.

(1)

Где ρ – плотность металла;

C – эффективная теплоемкость;

𝜆 – теплопроводность;

q – скрытая теплота плавления;

𝜓(t) – функция, учитывающая долю твердой фазы в двухфазной зоне кристаллизирующегося металла;

Уравнение дополняется следующими начальными условиями:

(2)

где tc – температура перегретой жидкой стали, поступающей в кристаллизатор.

В качестве граничных условий при решении уравнения выбраны граничные условия третьего рода:

(3)

Где tпов – температура поверхности металла;

tср – температура среды;

α(𝜏) – коэффициент теплоотдачи с поверхности металла в зависимости от положения в зоне охлаждения.

Сделаем следующие предположения, вытекающие из физических особенностей задачи:

- температурный режим считаем установившемся;

- скорость движения слитка постоянная;

- теплообмена вдоль слитка не происходит из-за малого изменения температуры вдоль слитка; основной теплообмен идет в плоскости поперечного сечения слитка;

- теплопроводность твердой и жидкой стали считаем одинаковой.

Основываясь на предположениях, мы можем трехмерную задачу рассматривать как двумерную задачу теплообмена с нестационарными граничными условиями в поперечном сечении слитка.

Для упрощения уравнения (1) было выведено эффективное значение теплоемкости Cэф(t)

(4)

Где tс – граничная температура твердого металла (солидус);

tл – температура жидкого металла (ликвидус);

Уравнение теплопроводности приобретает вид:

(5)

Согласно гипотезе о равномерном выделении твердой фазы в интервале температур ликвидус – солидус, функция 𝜓(t) имеет вид:

(6)

Подставляя выражение (6) в выражение (4) получим выражение зависимости теплоемкости от температуры:

(7)

# 5 ЗАДАЧІ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗВО

Управление процессом охлаждения заготовки в зоне вторичного охлаждения является очень важной задачей в получении качественной заготовки определенного сечения. Задача ЗВО состоит в том, чтобы предотвратить черезмерное охлаждение заготовки и обеспечить равномерное затвердевание слитка с окончанием затвердевания по всей его толщине к концу ЗВО. Для решения этой задачи необходимо контролировать и регулировать такие параметры:

Контролируемые параметры:

* давление воды на каждую зону ЗВО;
* давление воздуха на каждую зону ЗВО;
* Контроль температуры сляба в конце ЗВО.

Регулируемые параметры:

* Скорость вытягивания заготовки;
* Расход воды на каждую зону ЗВО;
* Расход воздуха на каждую зону ЗВО.

Непосредственно расчет регулирующих параметров происходит с учетом выбранного коэффициента теплоотдачи математической модели охлаждения заготовки. Величина этого коэффициента регулируется расходом водовоздушной охлаждающей смеси в каждой зоне вторичного охлаждения заготовки. Соотношение расхода водовоздушной смеси (1:14) зависит от типа установленных форсунок, а также от давления параметров в трубопроводе.

Наиболее важным параметром также является охлаждение подшипников роликов, по которым движется заготовка. Ролики сконструированы так, что внутри может протекает охлаждающая вода и тем самым охлаждать подшипники. Результат некачественного охлаждения подшипников может привести к остановке разлива и к аварийной ситуации в цехе.

# 6 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ В ЗВО

Для обеспечения стабильности процесса разливки актуальной задачей является коррекция интенсивности охлаждения заготовки непосредственно в зоне вторичного охлаждения. В качестве системы автоматизации охлаждения металла в ЗВО выбрана система охлаждения с использованием мат. модели процесса охлаждения и кристаллизации (рис.3). На основе априорной и текущей информации, а также математической модели управления теплообменом в ЗВО выбираются коэффициенты теплоотдачи для каждой секции зоны охлаждения, которые потом пересчитываются в расходы охлаждающей воды. Целевой функцией задачи является минимум некоторого функционала отклонения текущей температуры поверхности заготовки от заданной как в стационарном, так и в переходных режимах разливки. На каждой зоне ЗВО регулируется расход водовоздушной охлаждающей смеси в соотношении (1:14). Коэффициент теплоотдачи в каждой зоне зависит от давления и количества подаваемой смеси. На каждую зону этот параметр задается отдельно, в некоторых зонах этот параметр задается по форсункам, для более плавного охлаждения заготовки. Математическая модель учитывает скорость движения заготовки, а также водятся корректировки с помощью контроля температуры в конце ЗВО с помощью пирометрического датчика. Математическая модель прогнозирует температуру и задает корректировку по расходу водовоздушной смеси.

Текущее значение расхода воды поступает посредствам электромагнитного расходомера (13а), который выдает аналоговый токовый сигнал 4-20мА. Также в эту цепь последовательно включен цифровой индикатор МТМ-310 (13б) и аналоговый вход (8x14 bit) микроконтроллера. Аналогичный контур для измерений расхода воздуха: электромагнитный расходомер(1а), цифровой индикатор(1б) и аналоговый вход котнроллера соеденены последовательно. Для контроля и регулирования скорости, а также для корректировки расходов воды по скорости (рис. 8) предназначен инкерементальный энкодер (65а). Электрическая часть энкодера соеденяется с модулем счетчика (FM-350-1) микроконтроллера. Для котнроля температуры поверхности заготовки, а также коррекировки расходов водовоздушной смеси на выходе из ЗВО установлен двухспектральынй пирометр Дпр-1(64а). Выходной сигнал датчика токовый аналоговый 4-20 мА. Он последовательно соеденен с цифровым индикатором МТМ 310 (64б), а также аналогвым входом микроконтроллера. Регулирование расходами смеси осуществляется с помощью микроконтроллера SIMATIC S7-400H, который соеденент с внешними устройствами с помощью Ethernet кабеля. Питание СPU и модулей осуществляется непосредственно блоком питания Simens, который установлен в стойке контроллера. Выходные значеняия котнроллера осуществляется с помощью аналогового модуля (AO 8x14 bit) сигнал с которого поступает на БРУ-7 (1в). С помощью БРУ можно осуществлять управление пневмоклапаном Samson 3241 (1г), как с помоью контроллера (автоматически) так и с помощью самого БРУ (вручную). Регулирование соотношения осуществляется по изменению расхода воды, благодаря ПИ закону регулирования. Индикаторы МТМ 310 и БРУ-7 питаются с помощью блока питания МТМ-140, а расходомеры и пирометр от сети 220 В.

Рис. 8 – Залежність витрат води від швидкості

# 7 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ

Promag 50- электромагнитный расходомер для двунаправленного измерения расхода жидкости.[4]

Таблица 1 – Технические характеристики Promag 50

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| 1 | 2 |
| Диаметр | DN 15...600 |
| Диапазон измерения | 0...9600 м3/ч |
| Рабочая температура | -40...+180°C |
| Погрешность измерения | ±0.5% ±0.2% (опция) |
| Коммуникация | HART PROFIBUS PA |
| Выходные сигналы | 4...20 мА Импульсный/Частотный Сигнал состояния |
| Входные сигналы | Сигнал состояния |

Преобразователь давления измерительный - Cerabar M PMC51

Цифровой преобразователь давления с безмаслянной керамической мембраной длявыполнения измерений в газах и жидкостях [5]

Таблица 2 – Технические характеристики Cerabar

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| 1 | 2 |
| Питание / Коммуникация | 4...20 мА HART: 11,5...45 В пост. тока Ex ia: 11,5...30 В пост. тока PROFIBUS PA FOUNDATION Fieldbus |
| Погрешность | 0,15% Platinum: 0,075% |
| Температура окружающей среды | -40°C...85°C (-40°F...185°F) |
| 1 | 2 |
| Рабочая температура | -20°C..125°C (-4°F..275°F) |
| Диапазон измерения давления | 100 мбар...40 бар (1,5...600 psi) |

Прибор контроля цифровой МТМ-310

Приборы предназначены для цифровой индикации значений технологических параметров заданных сигналами постоянного тока 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, напряжения постоянного тока 0-1 В; для цифровой индикации интегрированного, мгновенного значения расхода и интегрированного значения расхода за последний целый час, предшествующий текущему.[6]

Таблица 3 – Технические характеристики МТМ-310

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Напряжение питания (может поставляться в комплекте с МТМ101, МТМ140, МТМ141) | DC 24 В +10% -15% АС 100...250 В |
| Потребляемая мощность, не более | 3 Вт |
| Диапазон рабочих температур | +5...+50 °С |
| Класс точности | 0,1 |
| Максимальная коммутируемая мощность МТМ310-С | 60 Вт пост. тока 125 ВА ~ тока |

Двухспектральный пирометр ДПР-1

Данный двухспектральный пирометр ДПР-1 используется для точного измерения реальной температуры объекта бесконтактным методом в процессе алюминиевого проката.

       Основными сферами применения устройства являются металлургические и машиностроительные предприятия, а также заводы по изготовлению цементной и кирпичной продукции. На прокатных станках пирометр используется для точного измерения температуры листов, проволоки, труб, а также арматуры и колес. Кроме этого, прибор можно приметь в работе с газо- и электронагревными печами, через кварцевое стекло со специальными плавильными печами индукционного типа.

      Характерными преимуществом пирометров данного класса для алюминиевого проката является высокая точность показателей не зависимо от условий внешней среды и динамических факторов. Устройство не реагирует на разные типы загрязнения измеряемой поверхности, собственно объектива пирометра, а также успешно работает с вибрационными и подвижными объектами.

 Технические характеристики:

* диапазон температур: от +300 до + 3500 °С
* точность: ± 5 °С по всему диапазону
* интерфейс: RS232 или RS485
* токовый выход: 4 – 20 mA
* диапазон расстояний: от 0,4 м до 50 м
* время измерения 0,25 с. [7]

Клапан Samson 3241

Регулирующий клапан для технологических и промышленных установок, изготавливаемый по DIN-, ANSI- и JIS-стандартам.

Условный диаметр Ду 15...300 • 1⁄2“...12” • Ду 15А...300А

Условное давление Ру 10...40 • ANSI Class 125...300 • JIS 10К / 20К

Температуры от -196 до +450 °C • -320 до +800 °F

Проходной клапан с пневматическим или электрическим приводом/

Корпус из серого чугуна, чугуна со сферическим графитом, литой и кованой стали, высоколегированных и хладостойких сталей или из спецматериалов.

Конус клапана мягкоуплотненный, металлоуплотненный или металлошлифованный.[8]

SIMATIC S7-400H – это мощный программируемый контроллер для построения систем управления средней и высокой степени сложности. Модульная конструкция, работа с естественным охлаждением, гибкие возможности расширения, мощные коммуникационные возможности, простота создания распределенных систем управления и удобство обслуживания делают SIMATIC S7-400 идеальным средством для решения практически любых задач автоматизации.

Программируемый контроллер SIMATIC S7-400H разработан для построения систем автоматического управления, отличающихся повышенной надежностью функционирования. Наличие резервированной структуры позволяет продолжать работу в случае возникновения одного или нескольких отказов в его компонентах. Как правило, такие системы управляют производствами, простой которых вызывает большие экономические потери.

SIMATIC S7-400H:

* Программируемые контроллеры с резервированной структурой, обеспечивающие высокую надежность функционирования системы управления.
* Резервирование всех основных функций на уровне операционной системы центральных процессоров.
* Высокий коэффициент готовности, обеспечиваемый применением переключаемых конфигураций системы ввода-вывода.
* Возможность использования стандартных конфигураций систем ввода-вывода.
* Горячее резервирование: автоматическое безударное переключение на резервный блок в случае отказа ведущего бока.
* Конфигурации на основе двух стандартных или одной специализированной монтажной стойки.
* Использование резервированных сетей PROFIBUS DP для повышения надежности функционирования системы распределенного ввода-вывода.[9]

Инкрементальные энкодеры Leine-Linde

Инкрементальный (пошаговый, импульсный) энкодер предназначен для указания направления движения и/или углового перемещения механизма. Инкрементальный энкодер периодически формирует импульсы, соответствующие углу вращения вала. Этот тип энкодеров, в отличие от абсолютных, не формирует выходные импульсы, когда его вал находится в покое. Инкрементальный энкодер связан со счетным устройством, это необходимо для подсчета импульсов и преобразования их в меру перемещения вала.

Оптический энкодер состоит из следующих компонентов: источника света, диска с метками, фототранзисторной сборки и схемы обработки сигнала. Диск пошагового энкодера подразделен на точно позиционированные отметки. Количество отметок определяет количество импульсов за один оборот. К примеру, если диск поделен на 1000 меток, тогда за 250 импульсов вал должен повернуться на 90 градусов.[10]

Таблица 4 – Электрические характеристики

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Значение | | |
| 1 | 2 | | |
| Напряжение питания +EV | 9-30 В | 5В ±10% | |
| Погрешность  Макс. Ошибка  Раздел. Последоват. | ±50° электр.  90° ± 25° электр. | | |
| Выход | Высокоток. HTL | | Rs-422, TTL |
|  | Защита от короткого замыкания | | |
| Макс. нагрузка | ± 40 мА | | ± 20 мА |
| Диапазон частоты | 0…100кГц | | 0…200кГц |

Таблица 5 – Механические характеристики

|  |  |
| --- | --- |
| Макс. скорость | 4000 об/мин. |
| Диск | Расширенный температурный диапазон |
| Температура  Рабочая  Хранения | -20°C … +80°C  -20°C … +80°C (+105°C макс. 1 час) |
| Класс защиты | IP 65, согласно IEC 529 |

# 8 СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ

На основе выбранных задач контроля и регулирования (см. п.5) разработана функциональная схема автоматизации, которая включает в себя такие контуры контроля и регулирования:

Контроль давления воздуха в ЗВО. В трубопроводе подачи воздуха установлен датчик избыточного давления Cerabar M (7а, 8а, 9а, 10а, 11а, 12а), который измеряет текущее давление в трубопроводе. Далее он преобразует физическую величину в токовый унифицированный сигнал 4-20мА, который поступает на цифровой прибор контроля МТМ-310 (7а, 8а, 9а, 10а, 11а, 12а). Затем сигнал поступает на аналоговый вход программируемого логического контроллера (ПЛК) Simatic S7-400H.

Контроль давления воды в ЗВО. В трубопроводе подачи воздуха установлен датчик избыточного давления Cerabar M (7а -12а), который предназначен для измерений жидкости и газов. С него сигнал преобразуется из физической велечины в токовый унифицированный 4-20мА, который поступает на цифровой прибор контроля МТМ-310 (7б -12б). Прибор на щите КИП отображает текущее значение контролируемой величины. Затем сигнал поступает на аналоговый вход программируемого логического контроллера (ПЛК) Simatic S7-400H и с помощью программного пакета текущее значение измеряемой величины отображается на экране монитора.

Контроль температуры заготовки на выходе из ЗВО. В конце ЗВО, перед ГРМ (газорежущей машиной) установлен двухспектральный пирометр ДПР-1 Сова (64а), который измеряет текущее значение температуры на поверхности широкой части заготовки. На выходе пирометра токовый сигнал 4-20 мА поступает на цифровой прибор контроля МТМ-310 (64б), который отображает текущее значение температуры на щите КИП. Затем этот сигнал поступает на аналоговый вход ПЛК, который отображает текущее значение на экране оператора, а также вносит коррективы в математическую модель охлаждения заготовки.

Контроль скорости вытягивания заготовки. На подвижную часть двигателя, который вращает роликом, устанавливается инкрементальный энкодер Liene&Linde (65а) с преобразовательным устройством. Затем сигнал поступает на вход модуля счетчика ПЛК.

Контроль и регулирование расхода воды на ЗВО. В трубопроводе охлаждающей воды на каждую зону ЗВО установлен электромагнитный расходомер Promag 50 (13а-38а), который измеряет текущее значение регулируемой величины. Затем этот датчик преобразует физическую величину в токовый сигнал 4-20мА, далее сигнал поступает на цифровой индикатор МТМ-310 (13б-38б), который отображает текущее значение на щите КИП. С индикатора сигнал поступает на аналоговый вход ПЛК Simatic S7-400H. Формирование выходных управляющих воздействий осуществляется при помощи модуля аналогово выхода, с которого сигнал поступает на блок ручного управления БРУ-7 (13в-38в). С помощью БРУ можно в как автоматически, так и вручную управлять положением регулирующего пневмоклапана Samson (13г-38г).

Контроль и регулирование расхода воздуха на ЗВО. В трубопроводе охлаждающей воды на каждую зону ЗВО установлен электромагнитный расходомер Promag 50 (1а-6а), который измеряет текущее значение регулируемой величины. Затем этот датчик преобразует физическую величину в токовый сигнал 4-20мА, далее сигнал поступает на цифровой индикатор МТМ-310 (1б-6б), который отображает текущее значение на щите КИП. С индикатора сигнал поступает на аналоговый вход ПЛК Simatic S7-400H. Формирование выходных управляющих воздействий осуществляется при помощи модуля аналогово выхода, с которого сигнал поступает на блок ручного управления БРУ-7 (1в-6в). С помощью БРУ можно в как автоматически, так и вручную управлять положением регулирующего пневмоклапана Samson (1г-6г).

# 9 СТРУКТУРНА СХЕМА КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Структура системи автоматического контроля и управления представлена на листе АіКТ.1н22а.Д04.4Б.

Предлагается трехуровневая структура АСУ ТП, которая позволяет регулировать, визуализировать и прогнозировать процесс охлаждения заготовки с помощью математической модели кристаллизации.

На нижнем уровне, который еще называют полевым, расположены разнообразные датчики и сенсоры, а также исполнительные механизмы. Первые фиксируют данные, чтобы потом передать их в центр управления, вторые же, наоборот, осуществляют команды информационной системы.

Все средства измерения установлены непосредственно на МНЛЗ. Сигналы с датчиков по физическим линиям связи поступают на средний уровень.

Средний уровень — это уровень контроллеров. Он состоит из программируемых логических контроллеров, которые принимают данные, собранные с датчиков, расположенных на нижнем уровне, а также выдают указания исполнительным механизмам. Обработка информации на этом уровне происходит по единому алгоритму: прием сведений, их анализа и обработки и выдача команд на нижний уровень. В помещение контролеров расположены 2 контроллера Simatic S7-400H, которые обрабатывают информацию, поступившую с нижнего уровня по линиям связи в виде унифицированного токового сигнала.

Верхний уровень — это тот, на котором к работе подключается человек. Пользователь работает с системой с помощью визуализации информации и отображение ее на мониторе — здесь задействован специально созданный человеко-машинный интерфейс. Верхний уровень АСУ ТП обеспечивает сбор и хранение данных, а также архивацию информации, полученной от контроллеров, и представление ее в виде визуальных средств. Таким образом оператор системы может ознакомиться с параметрами процесса, протекающего на объекте.

На верхнем уровне находится помещение диспетчерской, в котором сидит оператор МНЛЗ. Связь со средним уровнем связывает локальная сеть Ethernet, а также все данные о параметрах технологического процесса сохраняется на сервере, который расположен в верхнем уровне данной АСУ ТП.

Нижний уровень данной АСУ ТП (датчики, преобразователи, контроллеры, исполнительные механизмы) должен обеспечивать:

- сбор информации об измеряемых технологических параметрах в коллекторе доменного газа;

- сигнализация о выходе их за заданные пределы;

- блокировка ошибочных действий персонала и управляющих устройств;

- противоаварийная защита (ПАЗ) процесса по факту аварийных событий.

* автоматическое регулирование отдельных технологических параметров;
* автоматическое логическое управление запорной;
* передачу информации на средний уровень.

Средний уровень АСУ ТП должен обеспечивать следующие функции:

-приём информации от нижнего уровня;

-контроль достоверности входной информации;

* формирование оперативных информации в фор­ме удобной для наблюдения за ходом технологического процесса;
* формирование и ведение архива данных, обработка и предоставление оператору архивной информации об истории процесса;
* формирование и представление документов отчетной и технологической информации о работе в фор­мах сменного журнала и технического отчета за сутки с привязкой результатов работы к бригаде;
* автоматическое обнаружение предаварийных отклонений параметров процесса и форми­рование предупредительных сообщений, формирование и вывод на пе­чать протокола предупредительных и аварийных сообщений, а в случае возникновения аварийной ситуации – отработка аварийной ситуации с распознаванием ее причины;
* ввод информации от оператора в диалоговом режиме с целью влияния на параметры про­цесса с контролем достоверности вводимой информации;
* выдача рекомендаций оператору по ведению технологического процесса в режиме совет­чика;
* передачу информации на нижний и верхний уровни.

Верхний уровень АСУ ТП ДП (компьютерная система верхнего уровня) должен обеспечивать:

* приём информации со среднего уровня;
* проведение оперативного технологического расчета по фактическим данным о работе печи, материального и теплового балансов плавки с целью использования величин их невязок для анализа процесса;
* определение минимально возможного расхода кокса при данных сырьевых и эксплуатаци­онных условиях плавки и сравнение его с фактическим расходом кокса;
* проведение инженерных расчетов;
* оценку неравномерности распределения газового потока по сечению доменной печи, эф­фективности использования восстановительной энергии газа при заданном его распределе­нии;
* выбор оптимального газораспределения, обеспечивающего максимальное использование восстановительной энергии газового потока;
* расчет технико-экономических показателей работы комплекса ДП;
* передача необходимой информации на средний уровень.

# 10 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ І КРИСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ В ЗВО

Основная задача проекта – разработка системы автоматизации ЗВО МНЛЗ с и спользованием математической модели охлаждения и кристаллизации заготовки.

Как известно, теплообмен на поверхности заготовок определяется функцией распределения коэффициентов теплоотдачи по длине МНЛЗ, которая связана с интенсивностью охлаждения заготовки по периметру, выбранной из условий получения качественного металла на выходе из МНЛЗ.

Таким образом, задача подготовки данных для расчета уточненных режимов охлаждения представляет собой определения функции распределения коэффициентов теплоотдачи на поверхности заготовки на основе полученных в результате экспериментов (чаще всего пассивных, т.е. наблюдений за параметрами разливки) данных по температурам поверхности на гранях заготовки, скорости разливки и расходов охладителя в зонах охлаждения. Получение функции распределения является задачей математического программирования, и его методы дают наилучшее приближение. В дальнейшем подобная модель может служить для прогноза не только температурного поля в заготовке, но и связанных с ним параметров качества и структуры.

Строгих аналитических решений поставленной задачи в большинстве случаев не существует, но и численное решение с использованием ЭВМ вызывает трудности и требует значительных затрат машинного времени.

Для численного решения уравнения (1), которое выводится в пункте 4 данного проекта, применим сеточную аппроксимацию температурного поля вдоль поперечного сечения слитка. Для упрощения вычислительных операций выберем одинаковый шаг сетки по ширине и высоте сечения слитка. Выберем явную схему, классическую для такого рода задач. Преимуществом явной схемы является её простота и меньшее количество вычислительных операций по сравнению с неявной схемой. К недостаткам можно отнести то, что для сходимости вычислительного процесса его параметры должны соответствовать критерию сходимости.

В силу симметричности граничных и начальных условий в качестве области решения выберем четверть сечения слитка.

Зададимся размером слитка S x H. Выберем шаг дискретизации Δ по длине исходя из требуемой точности и критериев сходимости метода. Тогда количество разбиений четверти сечения по ширине и по высоте соответственно равны (под знаком ][ понимается округление до большего целого):

(8)

Рассмотрим некоторую элементарную ячейку с температурой ti,j лежащую в области решения. На основании теплового баланса тепловой поток через стенки данной ячейки от соседних ячеек идет на нагрев ячейки за элементарный промежуток времени.

Запишем уравнение (1) в конечных разностях

(9)

Где – значение температуры на следующем временном шаге;

ti,j – значение температуры на данном временном шаге;

Δτ – шаг дискретизации по времени;

Индексы i и j – соответственно по ширине и высоте сечения слитка.

Выразив ΔV,ΔS, Δx, Δy через одинаковый шаг Δ. Подставим выражение (9)

(10)

Сократив (10) получим:

(11)

Выразим из (11):

(12)

Где индексы меняются в следующих пределах:

i = 2..nx-1;

j = 2..ny-1;

Для граничных ячеек с учетом граничных условий выражения для имеют вид:

Для верхней широкой грани слитка

(13)

Где индексы меняются в следующих пределах:

i = 2..nx-1;

j = ny;

α – коэффициент теплопередачи от слитка к поверхности;

tсреды – условная температура ЗВО.

Для нижней широкой грани четверти слитка

(14)

Где индексы меняются в следующих пределах:

i = 2..nx-1;

j= 1;

для боковой внешней грани четверти слитка

(15)

Где индексы меняются в следующих пределах:

i = nx;

j = 2..ny-1;

α – коэффициент теплопередачи от слитка к поверхности;

tсреды – условная температура ЗВО.

Для боковой внутренней грани четверти слитка

(16)

Где индексы меняются в следующих предлах:

i = 1;

j = 2..ny-1;

Для упрощения вычислительного процесса расчет температуры в угловых ячеек будем производить как среднеарифметическое смежных ячеек. Таким образом формулы для угловых ячеек имеют следующий вид:

(17)

Вычислительный процесс производится в следующем порядке:

1. Начальная матрица t размером nx×ny заполняется значениями начальной температуры перегретой жидкой стали tс.
2. Переменные τ и z приравниваются к нулю.
3. Вычисляется значение коэффициента теплоотдачи α(z) для текущего положения сечения в зоне ЗВО.
4. По формулам 13-16 вычисляются значения температур в граничных ячейках матрицы размером nx×ny.
5. По формуле 12 вычисляются значения ячеек матрицы tслед в середине сечения.
6. По формулам 17 вычисляются значения температур в угловых ячейках матрицы.
7. Вывод матрицы tслед в графическом виде.
8. Значения температур в характеристических точках запоминаются для дальнейшего построения графиков.
9. Наращиваются переменные τ=τ+Δτ и z=z+Δτ×v
10. Копируем матрицу tслед в матрицу t.
11. Если переменная z меньше длинны ЗВО L то переходим к пункту 3.
12. Вывод графиков зависимости температуры в характеристических точках от времени.

## 10.1 Идентификация модели

Для идентификации модели необходимо задать ее параметры, которые соответствуют реальным свойствам материалов. Теплофизические параметры выберем из справочников по металлургии стали. Технологические параметры взяты для конкретной МНЛЗ. Разделим параметры по нескольким категориям.

Параметры, задающие тепловой баланс в ячейках полосы:

Tc = 1510 °C – начальная температура перегретой жидкой стали.

Ст = 420 Дж/(кг·К) – удельная теплоемкость твердой стали;

Сж = 460 Дж/(кг·К) – удельная теплоемкость жидкой стали;

Qпл = 83700 Дж/кг – удельная скрытая теплота затвердевания;

tс = 1420 °C – нижняя температура плавления (солидус);

tл = 1450 °C – верхняя температура плавления (ликвидус);

сп=(ст+сж)/2+ Qпл/(tл-tc) = 3230 Дж/(кг·К) – массовая теплоемкость переходной фазы.

Очевидно, что она значительно отличается от теплоемкости жидкой и твердой стали. Её величина оказывает значительное влияние на картину затвердевания стали;

𝜌=7000 кг/м3 – усредненная плотность стали, принимаем равной для жидкой и твердой фазы.

λ = 42 Вт/(м2К) – усредненная теплопроводность жидкой и твердой стали.

Геометрические параметры полосы:

L = 22,5 м – длина полосы;

S = 1,5 м – ширина полосы;

H = 0,35 м – высота полосы.

Параметры, задающие конфигурацию сетки модели

Δ = 0,02 м – шаг дискретизации по сечению слитка;

nz = 60 – количество разбиений по длине слитка;

Δz = L/nz = 22,5/60 = 0,375 – шаг дискретизации по длине слитка;

ny = ]H/(2·Δ)[ = ]0,35/(2·0,02)[ = 9 – количество разбиений по высоте;

nx = ]S/(2·Δ)[ = ]1,5/(2·0,02)[ = 38 – количество разбиений по ширине;

Δτ = 3 c – шаг дискретизации по времени;

Условие сходимости явной разностной схемы имеет вид:

(18)

Подставим в выражение (18) критические значения параметров:

42·3/(420·7700·0,022) = 0,097<0,025 – выбранные параметры модели удовлетворяют условиям сходимости.

Наиболее существенным параметром модели является распределение коэффициента теплоотдачи по длине ЗВО. Подобные данные являются экспериментальными и специфичны для конкретной МНЛЗ, марок сталей, условий разливки. В качестве данных выберем результаты исследовательской работы [11], проводимой для определения распределения α (рис. 9, 10).

На третьем графике (рис. 11) изображено теоретическое распределение, найденное авторами работы в результате анализа наиболее рационального охлаждения по Д. П. Евтееву [12]: монотонное снижение температуры по длине слитка; равномерное распределение температур по периметру; обеспечение температуры поверхности слитка в конце зоны вторичного охлаждения не ниже 800-900°C.

Рис. 9 – Распределение коэффициента теплоотдачи α №1 по всей длине ЗВО

Рис. 10 – Распределение коэффициента теплоотдачи α №2 по всей длине ЗВО

Рис. 11 – Распределение коэффициента теплоотдачи α №3 по всей длине ЗВО

## 10.2 Результаты расчетов на ЭВМ

Согласно приведенным выше формулам, а также описанной последовательности решения была разработана программа для расчета данной математической модели в С++ Builder 6. Скриншот программы приведен в графической части дипломного проекта. В дополнении А к дипломному проекту приведен весь код данной программы.

В левой части программы можно выбрать такие условия розливки стали, которые разделены на три категории:

* параметры стали (удельная теплоемкость жидкой и твердой стали, температура ликвидуса и солидуса, усредненная плотность стали, усредненная теплопроводность жидкой и твердой стали, удельная скрытая теплота затвердевания, массовая теплоемкость переходной фазы);
* параметры разливки (начальная температура стали, длина, ширина и высота заготовки, скорость разливки и температура окружающей среды);
* параметры расчетной модели (расчитываются автоматически в зависимости от геометрических размеров сляба).

В нижней левой части программы отображается градиент распределения температуры в середцевине заготовки для трех коэффициентов теплоотдачи по всей длине заготовки.

С правой стороны в нижней половине отображаются графики распределения температур для четырех точек заготовки (сердцевина, ребро, середина широкой части и середина узкой части заготовки).

В правой верхней половине программы отображается сетка распределения температуры по сечению для четверти слитка.

Также в программе предусмотрено сохранение в файл расчетов математической модели по всем трем коэффициентам распределения теплоотдачи.

С помощью данных выведенных в файл было построено три графика распределения температур по всей длине заготовки с использованием трех различных распределений коэффициента теплоотдачи со скоростью 0,8 м/мин.

Анализировав график распределения температуры № 1, а также графический результат программы можно сделать вывод, что данный коэффициент распределения теплоотдачи (рис.9) не удовлетворяет качественному условию охлаждения заготовки. Так как температура в сердцевине заготовки на выходе более 1200 °С и все еще наблюдается жидкая сталь внутри, что может привести к негативным последствия в результате разливки.

На следующем графике распределения № 2 можно заметить падение температуры в середцевине заготовке на выходе по сравнению с предыдущим распределением. В данном случае температура составляет чуть более 1100 °С, что не совсем желательно, если необходимый результат полное охлаждение заготовки.

В последнем третьем распределении температур, у которого распределение коэффициента теплоотдачи наиболее плавное в сравнении с другими двумя. А также температура в конце заготовки приближается к отметке в 1000 °С, что соответсвует главному условию полного затвердевания заготовки в конце ЗВО, а также получения более качественно стали из плавности охлаждения.

Как видно из результатов моделирования на всех трех графиках большое значение α на начальном отрезке моделирует кристаллизатор, где тепловой поток от слитка наибольший. При выходе из кристаллизатора сляб попадает в первую секцию ЗВО, расход охлаждающей воды в которой максимальный. Соответственно интенсивность охлаждения высокая. При движении к последующим секциям расходы воды уменьшается, а потом слиток и вовсе выходит из ЗВО. Дальнейшее охлаждение происходит за счет естественного застывания, что видно на графиках.

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

# 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];

}

}