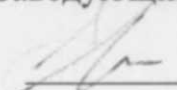


Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра систем автоматики, автоматизированного управления и  
проектирования

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


 С.В.Ченцов


« 25 » 06 2016г.

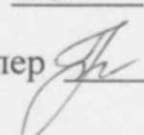
**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

27.03.04 – Управление в технических системах

АСУ СЕКЦИОННЫМИ ПЕЧАМИ

Руководитель  2016 проф., д-р техн.наук В.Д.Лаптёнок

Выпускник  /25.06.2016 Р.Ф.Багаутдинов

Нормоконтролер  /25.06.2016 Т.А.Грудинова

Красноярск 2016

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «АСУ секционными печами» содержит 35 страниц текстового документа, 14 иллюстраций, 16 формул, 11 использованных источников.

АСУ, СЕКЦИОННЫЕ ПЕЧИ, КОНТРОЛЬ, РЕГУЛИРОВАНИЕ.

Объектом разработки является процесс контроля и регулирования параметрами секционной печи.

Цель работы – разработка автоматизированной системы управления секционной печью.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

Изучение предметной области;

Разработка структурных схем;

Описание технологической схемы;

Расчет параметров;

Разработка программного обеспечения;

В процессе работы в среде С# было разработано программное обеспечение для расчета основных параметров секционной печи.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1 Теоретическая часть.....	5
1.1 Статические и динамические характеристики объекта.....	5
1.2 Автоматический контроль.....	8
1.3 Управление печью.....	18
1.4 Постановка задачи.....	25
1.5 Обоснование выбора среды программирования.....	25
2 Практическая часть.....	27
3 Разработка программного обеспечения .....	33
Заключение.....	38
Список использованных источников.....	39

## ВВЕДЕНИЕ

Современные системы АСУ ТП являются показателем актуальности автоматизации рабочих процессов. Автоматизированные системы управления технологическим процессом обеспечивают связь производственного оборудования с программным обеспечением, благодаря чему эффективность работы заметно повышается.

Задача управления процессом нагрева в секционных печах заключается в выборе и поддержании режима работы, обеспечивающего получение металла заданного качества с минимально возможным удельным расходом топлива в условиях работы агрегата с переменной производительностью.

Целью создания АСУ секционных печей являются:

- 1) предоставление оперативному персоналу достаточной, достоверной и своевременной информации о протекании технологических процессов, о состоянии оборудования и технических средств АСУ ТП;
- 2) автоматизированное управление технологическим оборудованием в нормальных, переходных, аварийных и специальных режимах работы;
- 3) оптимальное ведение процесса с целью получения тепловой и электрической энергии заданного качества и количества;
- 4) снижение эксплуатационных затрат и увеличение межремонтного периода за счет уменьшения числа обслуживаемой аппаратуры (по сравнению с традиционными средствами), минимального времени восстановления, а также облегчения изменения и наращивания функций при дальнейшей реконструкции;

## **1 Теоретическая часть.**

### **1.1 Статические и динамические характеристики объекта**

Для проведения скоростного нагрева, уменьшающего степень окисления и увеличивающего производительность агрегата, круглые заготовки для прокатки и трубы перед термической обработкой нагревают в секционных печах.

Секционная печь состоит из ряда камер-секций, отапливаемых с помощью двух горелок, расположенных на противоположных сторонах. В тамбурах, разделяющих секции, находятся водоохлаждаемые ролики печного рольганга, осуществляющие транспортировку заготовок через печь с одновременным их вращением. Последнее достигается за счет расположения роликов под углом  $8^\circ$  к продольной оси печи. Привод роликов групповой или индивидуальный.

В качестве топлива используются смешанный, природный газ и мазут. Газовые горелки обычно двухпроводные, воздух для сжигания топлива предварительно подогревают в металлических рекуператорах, устанавливаемых на каждой секции или общих - на несколько секций, образующих зону. Топливо и воздух также обычно подаются на объединенные в единую зону отопления и регулирования несколько секций печи (от двух до восьми секций). Металл в печи нагревается со всех сторон за счет излучения кладки и газов, а также за счет тепла конвекции газов, омывающих движущуюся заготовку. Высокая скорость нагрева металла до заданной температуры 1000-1200 °С (0,5—5 мин) обеспечивается за счет значительного перепада температур между секцией (1380—1450 °С) и проходящим через нее металлом. Последние по ходу движения заготовки секции образуют зону выдержки для выравнивания температур по сечению.

Температура в них несколько ниже и определяется заданной технологией обработки [1].

Секционные печи работают в условиях непрерывного производственного потока: прокатные станы и агрегаты термообработки задают темп производства в технологической линии. Изменяющаяся производительность печей также обуславливается изменением массы нагреваемых изделий и марки металла. Последний фактор определяет изменение и условий теплообмена, но в большей степени необходимость изменения температурного режима печи.

Режим работы секционной печи скоростного нагрева характеризуется следующими выходными величинами: температурой нагрева металла, давлением в зонах печи, температурой подогрева воздуха в рекуператорах, составом атмосферы. При работе в системе автоматического управления действует ряд возмущений: изменение производительности печи, изменение тяги, изменение давления газа и воздуха, подаваемых в горелки, их неравномерное распределение по отдельным горелкам и секциям зоны, изменение температуры подогрева воздуха, изменение условий загрузки.

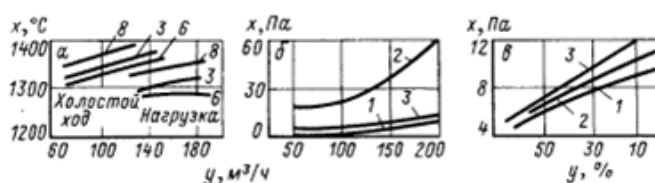
Основными управляющими воздействиями являются температура в зонах печи, расходы газа и воздуха на зоны, скорость движения металла в рабочем пространстве печи.

Характеристики секционных печей определяются их конструкцией и сортаментом металла. Статические характеристики по температуре в зонах изменяются в зависимости от производительности сортамента металла: тепловая нагрузка на печах может меняться в полтора-четыре раза, причем в первых по ходу металла зонах это изменение больше, а в последующих — меньше.

При распределении топлива по секциям одной зоны температурные характеристики при изменении расхода топлива на зону различны (рисунок 1, а). На холостом ходу печи зависимость линейна, а при нагрузке влияние изменения расхода топлива меньше, и оно нелинейно.

Открытие общего дымового шиберов в печи, разбитой на шесть зон, практически линейно и одинаково влияет на давление в зонах печи (рисунок 1, б).

Изменение расхода газа в одной зоне практически влияет на величину давления только в данной зоне (рисунок 1, в., кривая 2).



(у - входная величина, х - выходная величина): а - х - температура в секциях № 3, 6, 8 одной зоны; у - расход газа на зону; б - х - давление в зонах печи (1 - зона I; 2 - зона II, 3 - зона III); у - открытие общего дымового шиберов; в - х - давление в зонах печи (1 - зона I; 2 - зона II, 3 - зона III); у - расход газа на зону II

Рисунок 1 - Статические характеристики секционной печи

Динамические характеристики тех же параметров могут быть аппроксимированы звеном чистого запаздывания и апериодическим звеном первого порядка. Исследования, проведенные на промышленных печах, указывают на значительную зависимость коэффициента передачи объекта по каналу температура зоны — расход топлива от производительности печи.

По своим характеристикам секционная печь является статическим объектом регулирования. Для температуры, расхода топлива на зону давления в печи отношение  $t/T > 0,2$ , это дает возможность применить непрерывные регуляторы. Для некоторых печей или в отдельных зонах печи для температуры в зоне отношение  $t/T < 0,2$  - в таких случаях целесообразно для регулирования температуры применять позиционные регуляторы [1].

## **1.2 Автоматический контроль**

Система автоматического контроля включает узлы для измерения следующих величин (рисунок 2): температуры секций 1; температуры зон 2; расходов газа и воздуха на зону 3; давления в зоне 4; температуры воздуха и контроля работы рекуператора 5; температуры заготовки в процессе нагрева и на выходе из печи 6; расхода топлива на печь 7; температуры продуктов сгорания перед эксгаустером 8.



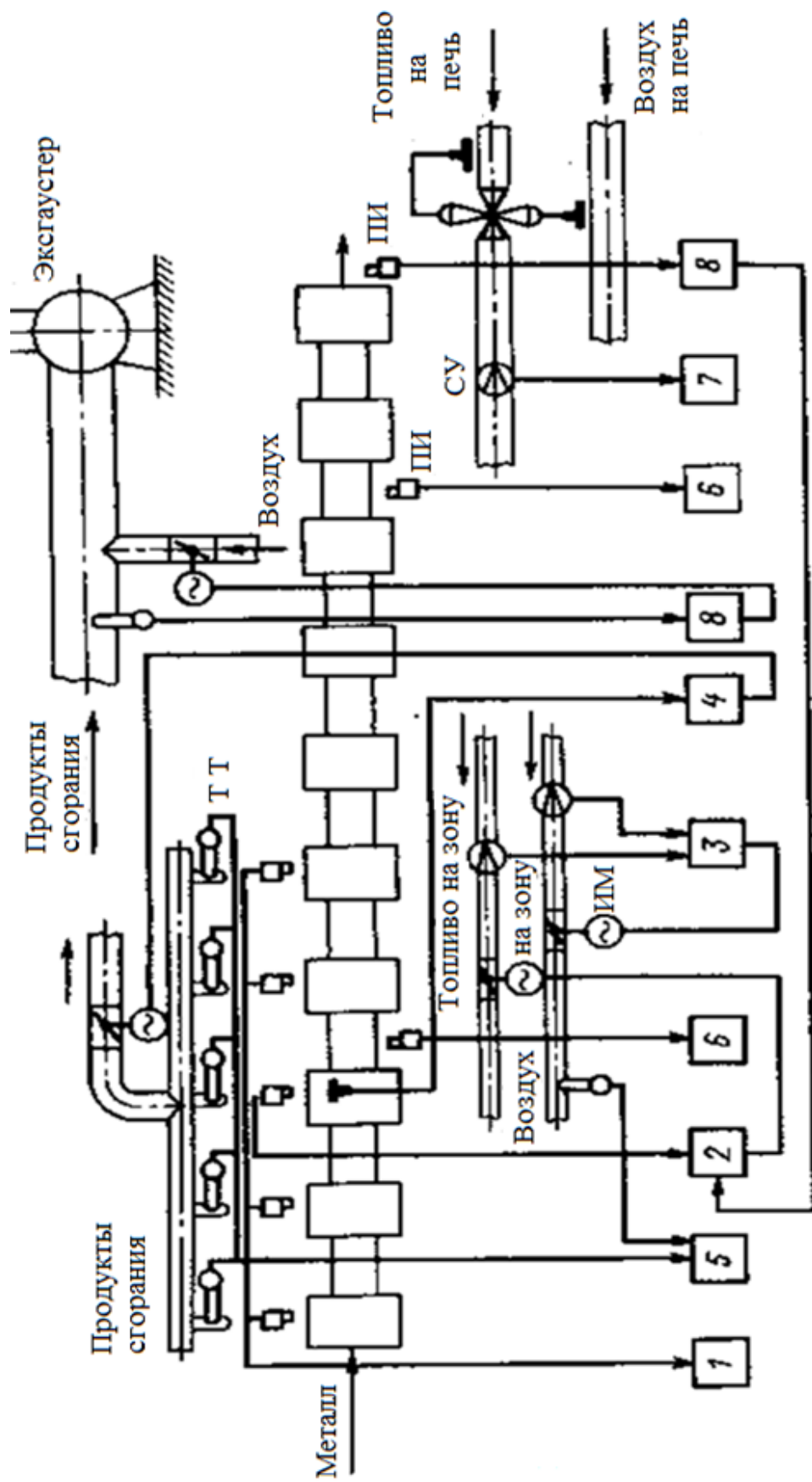


Рисунок 2 - Принципиальная схема автоматического контроля и регулирования секционной печи

Температуру каждой секции измеряют с помощью пирометра, визируемого на дно карборундового стакана, установленного в своде или боковой стенке секции. Карборундовый стакан выступает в рабочее пространство печи на 20—50 мм. В качестве вторичного регистрирующего прибора в комплекте с пирометром работает многоточечный электронный самопишущий потенциометр. На некоторых печах в зонах выдержки температура секции достигает 1200—1250 °С и ее измеряют с помощью платинородий-платиновых термометров в фарфоровом и карборундовом чехлах [2].

Температура одной из секций, чаще центральной, принимается за температуру зоны, а сигнал ее датчика температуры подается на самопишущий потенциометр с реостатным датчиком.

Расходы воздуха и газа на зону измеряются с помощью диафрагм и типового комплекта приборов с записью измеренных величин. Расход мазута измеряют поршневым мазутомером.

Отбор для измерения давления газов в печи осуществляют в своде средней секции зоны (или группы зон). К дифманометру (датчику давления) подводится вторая линия параллельно основной для компенсации гидростатического напора, зависящего от изменяющихся температурных условий в цехе.

Дифманометры используют для измерения расхода газа по перепаду давления в сужающем устройстве. Дифманометры используются также для измерения малого вакуумметрического и избыточного давления газа.

Схема дифманометра кольцевого показана на рисунке 3. Дифманометр представляет собой замкнутое полое кольцо, разделенное сверху непроницаемой перегородкой, а в нижней своей части на угол, равный, а, заполненное разделительной жидкостью (водой или трансформаторным маслом).

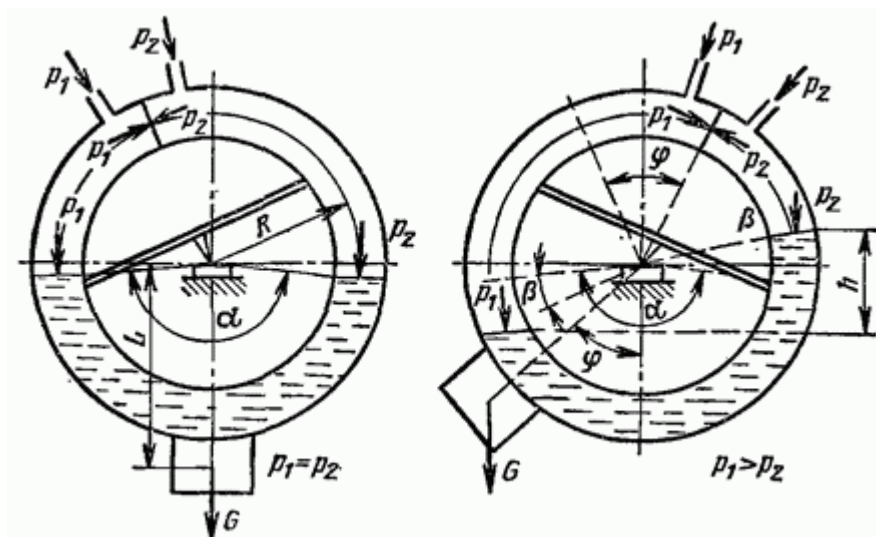


Рисунок 3 - Схема дифманометра кольцевого

Кольцо может поворачиваться на некоторый угол (обычно  $40\text{—}50^\circ$  С) около оси, перпендикулярной плоскости окружности. Осью кольца является опорная призма (одна или две), расположенная в центре кольца и опирающаяся на стальную подушку (одну или две), заделанную в кронштейне, который на схеме не показан. К нижней части кольца прикреплен груз, который создает противодействующий момент и определяет максимальное значение угла поворота кольца при заданном верхнем пределе измерения разности давлений.

Давления к обеим полостям кольца, образованным перегородкой и разделительной жидкостью, подводятся посредством гибких резиновых трубок. Противодействующий момент, создаваемый резиновыми трубками, мал и не оказывает существенного влияния на угол поворота кольца. Подвижная система дифманометра. До заполнения кольца разделительной жидкостью и снятом грузе балансируется с помощью специальных грузов так, чтобы центр тяжести подвижной системы совпадал с осью вращения. На схеме кольцевого дифманометра (рисунок 3) балансирные грузы не показаны.

Кольцо дифманометра будет находиться в равновесии до тех пор, пока в обеих его полостях давление одинаково, т. е. Если будет больше, то под действием разности давлений независимо от движения кольца разделительная жидкость в нем переместится на угол, таким образом, действующая на жидкость разность давлений будет уравновешиваться столбом жидкости т. е. где плотности соответственно разделительной жидкости и среды, находящейся над жидкостью. При этом действующая на перегородку кольцевой трубки разность давлений создает движущую силу. Эта сила, приложенная в центре тяжести перегородки, находящейся на расстоянии от оси вращения кольца, будет создавать вращающий момент

$$M_{\text{в}} = \Delta pFR$$

благодаря которому кольцевая трубка повернется на некоторый угол

Противодействующий момент создается силой тяжести груза и определяется уравнением

$$M_{\text{п}} = GL\sin\varphi.$$

Для равновесия кольца необходимо, чтобы существовало равенство моментов. Отсюда получаем уравнение, выражающее зависимость угла поворота кольца от измеряемой разности давлений:

$$\sin \varphi = \frac{\Delta pFR}{GL}$$

или

$$\Delta p = \frac{GL}{FR} \sin \varphi,$$

где расстояние от оси вращения кольца до центра тяжести груза; площадь поперечного сечения кольца (площадь перегородки).

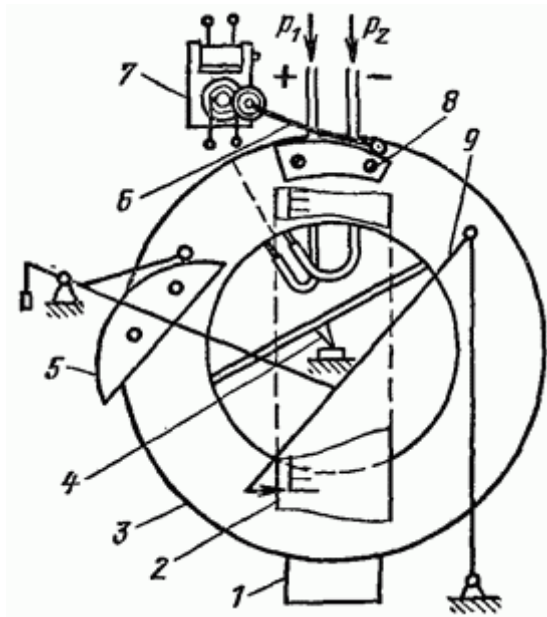
Из полученных уравнений вытекает, что угол поворота кольца зависит от размеров кольца: чем больше, тем больше угол поворота кольца. При постоянных значениях угол поворота кольца зависит от силы тяжести груза, чем меньше сила тяжести груза, тем больше угол поворота кольца [3].

Изменение верхнего предела измерения разности давлений осуществляется в ряде случаев путем изменения силы тяжести груза и для этого груз делают составным из отдельных пластин. Верхний предел измерения кольцевого дифманометра можно также менять изменением значения. Этот метод также находит применение в приборах, выпускаемых отечественными приборостроительными заводами.

Из вышеизложенного также следует, что угол поворота кольца дифманометра не зависит от плотности разделительной жидкости и плотности среды, находящейся над ней, и температурный коэффициент кольцевого дифманометра с замкнутым кольцом практически равен нулю.

Однако плотность разделительной жидкости при заданных размерах кольца определяет верхний предел измерения разности давлений, которая может быть измерена данным дифманометром. Увеличить этот верхний предел измерения разности давлений при данной разделительной жидкости и при тех же размерах кольца не представляется возможным.

Шкала кольцевого дифманометра, градуированная в единицах давлений, будет неравномерной. Для получения равномерной шкалы прибора в передаточный механизм отсчетного устройства и преобразователя вводят лекальные пластины нужного профиля (рисунок 4).



1 — груз; 2 — циферблат; кольцо прямоугольного сечения; 4 — призматические опоры; лекало; 6 — рычаг с шестеренчатой передачей; 7 — ферродинамический преобразователь лекало; 9 — рычажная система с указателем.

Рисунок 4 - Дифманометр кольцевого типа

Профиль лекала прибора со шкалой, градуированной в единицах давления, будет отличаться от профиля лекала дифманометра, предназначенного для измерения расхода газа по перепаду давления в сужающем устройстве.

Профиль лекала дифманометров-расходомеров выполняется так, чтобы прибор показывал не перепад давления, а корень квадратный из перепада, т. е. величину, прямо пропорциональную расходу. В этом случае шкала прибора, градуированная в единицах расхода, получается равномерной.

Дифманометры кольцевые изготавливаются с отсчетными устройствами или без них и снабжаются одним или двумя передающими ферродинамическими преобразователями. Эти дифманометры могут быть

использованы для работы в комплекте с одним или двумя вторичными ферродинамическими приборами.

Кольцевые дифманометры-расходомеры выпускаются на предельные номинальные перепады давления (400, 630, 1000 и 1600 Па). Дифманометры выпускаются также в качестве тягомеров, напоромеров и тягонапоромеров. Тягомеры и напоромеры имеют те же верхние пределы измерения, что и дифманометры-расходомеры. Тягонапоромеры выпускаются с верхними пределами измерения избыточного и вакуумметрического давлений [4].

Температура воздуха после рекуператоров измеряется хромель-копелевыми термометрами в стальных чехлах. Через многоточечный переключатель сигнал с термометра любого рекуператора зоны подается на показывающий милливольтметр.

Хромель-копелевые термоэлектрические термометры широко применяются для измерения температур различных сред.

Для изготовления положительного термоэлектрода используется хромель, представляющий собой жаропрочный немагнитный сплав на никелевой основе (89% Ni + 9,8% Cr + 10% Fe + 0,2% Mn). Отрицательный термоэлектрод — копель, сплав из меди и никеля (56% Cu + 44% Ni). Верхний температурный предел длительного применения термоэлектродов из копелевой проволоки в зависимости от ее диаметра лежит в пределах 50С—600С при работе в атмосфере чистого воздуха (ГОСТ 1790-63) [5].

Невысокий температурный предел применения объясняется тем, что копелевая проволока, содержащая медь, сравнительно быстро окисляется при высоких температурах, и вследствие этого происходит изменение термоэлектродвижущей силы термоэлектрода. Термоэлектрические термометры развивают наибольшую термоэлектродвижущую силу по сравнению с

другими типами термометров [при  $t = -200^{\circ}\text{C}$  и  $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$ ,  $E(t, t_0) = 9,60 \text{ мВ}$ ; при  $t = 100^{\circ}\text{C}$  и  $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$ ,  $E(t, t_0) = 6,88 \text{ мВ}$ ] (рисунок 5).

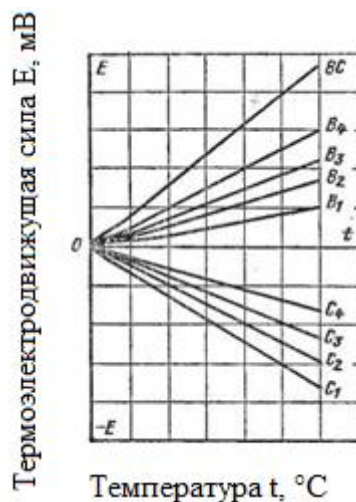


Рисунок 5 - Разделение термоэлектродной проволоки по значению термоэлектродвижущей силы в паре с платиной на четыре класса.

Магнитоэлектрические милливольтметры основаны на использовании сил взаимодействия между постоянным током, протекающим по проводнику (обмотке подвижной рамки), и магнитным полем постоянного неподвижного магнита. Сила, действующая на проводник, направлена всегда нормально к направлению тока и к направлению магнитного поля. Для определения направления этой силы обычно пользуются правилом левой руки. Направление силовых линий проводника с током определяется известным правилом буравчика.

Температура дыма в первой секции рекуператора измеряется с помощью хромель-алюмелевого и вторичного регистрирующего потенциометра.

Хромель-алюмелевые термоэлектрические термометры широко применяются для измерения температуры газовых сред, пара и жидкостей.



Положительным термоэлектродом является хромелевая проволока, отрицательным служит алюмель, представляющий собой магнитный сплав на никелевой основе (94% Ni + + 2% Al + 2,5% Mn + 1% Si + 0,5% примеси).

Хромель-алюмелевые термоэлектрические термометры обладают лучшей сопротивляемостью окислению, чем другие термометры из благородных металлов, при работе в воздушной среде. Опыт работы с термоэлектрическими термометрами показал, что алюмелевый электрод при температуре, близкой к 1000°C, менее устойчив к окислению, чем хромелевый. Верхние температурные пределы применения хромелевой и алюмелевой термоэлектродной проволоки устанавливаются в зависимости от ее диаметра при работе в воздушной среде (ГОСТ 1790-63). При применении термоэлектродной проволоки, например, диаметром 3, 2 и 5 мм она может быть использована до 1000°C длительно и до 1200—1300°C кратковременно. При уменьшении диаметра термоэлектродной проволоки пределы ее применения должны быть снижены [6].

Температуру металла контролируют в нескольких точках по длине печи и на выходе из печи (в последнем тамбуре) пирометрами, визированными на движущуюся заготовку через специальное отверстие в боковой стенке тамбура. Для охлаждения корпуса прибора подается вода. Температура, измеренная пирометром, записывается на диаграммной ленте быстродействующим потенциометром — время пробега шкалы 1с.

Расход газа на печь определяется стандартным комплектом приборов для измерения расхода методом переменного перепада давления. Вторичный прибор работает в комплекте с сумматором, обеспечивающим интегрирование расхода и регистрацию количества газа, потребляемого печью за отчетный период - смену, день, неделю, месяц и т.п.

Температура дыма перед эксгаустерами, создающими тягу в печи, измеряется с помощью хромель-алюмелевого термометра и самопишущего потенциометра.

Кроме указанных параметров, на секционной печи измеряют температуру воды после роликов (стеклянными термометрами) и расход охлаждающей воды на печь (стандартным комплектом приборов для измерения расхода газа или жидкости) [6].

### **1.3 Управление печью**

Для управления печью в условиях изменяющейся производительности и различных возмущающих воздействий секционные печи оборудованы следующими узлами автоматического регулирования: температуры в зоне 2; соотношения расходов газа и воздуха на зону печи 3; давления в зоне 4; температуры дыма перед эксгаустером (защита эксгаустера) 8 (рисунок 2).

Каждая секция печи фактически представляет собой отдельную печь в миниатюре с индивидуальными горелками и отводом продуктов сгорания. Поэтому наиболее рациональной системой регулирования режима в печи является схема, включающая регулирование температуры, давления и соотношения воздух - топливо на каждую секцию печи. Современные печи скоростного нагрева включают от 24 (нагрев труб перед термообработкой) до 56 секций (нагрев заготовок перед прокаткой), поэтому установка приборов на каждую секцию вызывает значительное увеличение стоимости печи. Для уменьшения количества необходимых приборов и аппаратуры секции печи группируют по зонам с самостоятельным управлением каждой из них. Необходимо правильно определить число секций в каждой зоне.

При регулировании температуры зоны измерение осуществляется датчиком температуры, установленным в одной из средних секций. При

работе печи с переменной производительностью, а, следовательно, и с переменной тепловой нагрузкой получить одинаковую температуру во всех секциях зоны при таком регулировании практически невозможно. При одинаковых расходах топлива и воздуха на каждую секцию при холостом ходе печи температуры во всех секциях зоны будут одинаковы и равны температуре средней секции. При нагреве металла, движущегося через зону, температуры во всех секциях, кроме средней, по которой ведется регулирование, изменяются: в первых по ходу металла станут меньше заданной: холодный металл интенсивно отбирает тепло на нагрев, а в секциях за средней - выше заданной: нагретый металл отбирает меньше тепла. При увеличении тепловой нагрузки и числа секций в одной зоне разница температур между ними увеличивалась. По технологическим условиям эта разность не должна превышать 30—40 °С; так, при задании 1500 °С превышение температуры ведет к оплавлению окалины или кладки печи, понижение температуры уменьшает интенсивность теплопередачи, увеличивает продолжительность нагрева и уменьшает производительность печи [7].

Эксперименты, проведенные на промышленных секционных печах, отапливаемых газом, позволяют дать следующие рекомендации по числу секций, объединяемых в одну зону регулирования: до восьми секций при изменении тепловой нагрузки в полтора-два раза, до четырех секций при изменении нагрузки в три раза, до двух секций при изменении в три-четыре раза. При таком разбиении печи зональное регулирование температуры обеспечит допустимый перепад температур между секциями внутри одной зоны.

Регулирование температуры в зоне ведется по пирометру, установленному в центральной секции зоны (узел 2). Сигнал с пирометра подается на самопишущий потенциометр, реостатный датчик которого включен в измерительную схему регулятора температуры. При отклонении

температуры от заданной регулятор изменяет положение регулирующей заслонки на подводе газа к зоне. В зонах нагрева устанавливают П-регуляторы, а в последних зонах, где происходит выравнивание температуры заготовки по сечению, и тепловая нагрузка практически не изменяется, можно применять ПИ- или ПИД-закон регулирования.

В работе термических секционных печей часто возникают возмущения, связанные с перерывами в загрузке изделий. Во время перерыва печь работает на холостом ходу, в момент начала загрузки холодный металл резко понижает температуру секций. Регуляторы температур, имеющие настройки для обеспечения качественного регулирования при номинальной производительности, ликвидируют это глубокое возмущение лишь через 8-15 мин. Поэтому заготовки, проходящие через печь в это время, не успевают нагреться до заданной температуры и бракуются.

После прохождения последней заготовки данной партии (пакета) температура в зонах печи, работавшей перед этим с высокими тепловыми нагрузками, начинает повышаться, что может привести к оплавлению кладки и окалины.

В некоторых схемах управления температурным режимом печи используется автоматическое изменение заданий зональным регулятором в соответствии с температурой заготовок на выходе из печи (коррекция по производительности).

Регулирование соотношения расходов газа и воздуха  $\beta$  в зонах нагрева секционных печей, производительность которых изменяется в большом диапазоне, осуществляется с помощью И-регулятора, на вход которого подаются выходные сигналы расходомеров газа и воздуха. При изменении расхода газа, вызванном действием зонального регулятора температуры, регулятор соотношения с помощью исполнительного механизма перемещает регулирующий орган, устанавливая расход воздуха на зону в соответствии с расходом газа и заданным коэффициентом расхода воздуха  $a$ .

В зонах выдержки и в печах с мало изменяющейся производительностью для регулирования соотношения можно применять способ "спаренных дросселей": с исполнительным механизмом регулятора температуры каждой зоны с помощью рычагов и тяги механически связаны регулирующие органы в газо- и воздухопроводе данной зоны. Оба регулирующих органа, имеющие подобные расходные характеристики, одновременно изменяют свое положение в соответствии с сигналом регулятора температуры. При значительных изменениях расходов топлива на зону получить качественное сжигание топлива (экономичность, максимальная температура горения) практически невозможно из-за трудностей в подгонке расходных характеристик дросселей [8].

Система регулирования давления обеспечивает заданное распределение давлений в рабочем пространстве печи. В секциях зоны выдержки недопустимы подсосы холодного воздуха через окно выдачи, которые приводят к значительному недогреву заготовки и потерям металла с окалиной. Регулятор этой зоны обеспечивает небольшое положительное давление: 1—3,0 Па. Такой же уровень поддерживается в первой зоне, чтобы исключить большие тепловые потери с газами, выбивающимися через окно загрузки. В остальной части печи поддерживается более высокое давление: 10—12 Па, что обеспечивает более интенсивный нагрев металла.

Система регулирования давления в каждой зоне 4 включает дифманометр-датчик давления, вторичный прибор и регулятор, управляющий исполнительным механизмом, соединенным с регулирующим шибером; установленным на отводе дыма из зоны в трубу или к эксгаустеру, создающим тягу в печи.

Отбор давления в первой и последней зонах осуществляется в своде глухого тамбура печи, расположенного соответственно между двумя первыми и двумя последними секциями печи. В остальных зонах отбор давления производится в центральной части зоны, через отверстие в своде

соответствующего тамбура.

Защита дымоходов от перегрева осуществляется по импульсу термометра, установленного в дымопроводе перед ним, в том случае, когда температура дыма превысит заданное значение. Потенциометр осуществляет позиционное управление исполнительным механизмом, открывающим доступ холодного воздуха в дымопровод, для разбавления продуктов сгорания и снижения их температуры (узел 8).

Для обеспечения более экономичной работы предусматривается система защиты металлических рекуператоров, которые достаточно часто выходят из строя, так как секционные печи характеризуются очень высокими рабочими температурами и наличием тепловых ударов в моменты резкого изменения производительности и перехода к режиму холостого хода. Кроме этого, вследствие различия температур в секциях одной зоны режим работы рекуператоров и температуры подогрева воздуха в них различны, что в свою очередь приводит к увеличению температурного перекося в зоне.

Система регулирования температуры рекуператоров включает хромель-алюмелевый термометр, измеряющий температуру первой секции каждого рекуператора. Сигналы поступают на многоточечный самопишущий и регулирующий потенциометр. Двухпозиционный регулятор потенциометра управляет исполнительным механизмом при поворотных шибах, установленных в дымоходах после рекуператоров. Изменение положения шиберов меняет перераспределение дыма между рекуператорами соседних секций. Рабочие пределы угла поворота шиберов задаются при наладке узла регулирования и устанавливаются конечными выключателями исполнительного механизма [8].

На ряде печей для защиты рекуператора от перегрева предусматривают пропуск части продуктов сгорания мимо рекуператора или охлаждение их водой либо воздухом. В этих случаях исполнительный механизм регулятора температуры управляет регулирующим органом, изменяющим расход дыма

через байпас или расход охладителя.

Система автоматического управления секционной печью включает также схему сигнализации падения давления газа и воздуха (световая и звуковая). Отсечка газа при падении давления воздуха и газа осуществляется с помощью предохранительного клапана; подача воздуха при падении давления газа прекращается путем выключения питания электродвигателя воздуходувки [9].

Секционные печи характеризуются сравнительно небольшой инерционностью и аккумулирующей способностью кладки, и поэтому для таких печей можно использовать балансовые схемы управления тепловым режимом. Этот способ интересен с теплотехнической точки зрения и целесообразен, когда можно достаточно точно определять статьи теплового баланса.

*Приход тепла*

Химическое тепло топлива:

$$Q_{\text{хим}} = V_{\text{г}} Q_{\text{н}}^{\text{п}}.$$

*Расход тепла*

Тепло продуктов сгорания, уходящих из печи:

$$Q_{\text{yx}} = (k_1 V_{\text{г}} + k_2 V_{\text{в}}) c_{\text{yx}} \theta_{\text{yx}};$$

потери тепла с охлаждающей водой:

$$Q_{\text{в}} = G_{\text{в}} (\theta_2 - \theta_1);$$

полезное тепло нагрева металла

$$Q_{\text{м}} = G_{\text{п}} (i_2 - i_1);$$

постоянные потери

$$Q_{\text{п}} = \text{const.}$$

В этих уравнениях:

$V_{\text{г}}$  – расход газа;

$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  – теплота сгорания газа;

$V_{\text{в}}$  – расход воздуха;

$k_1, k_2$  – коэффициенты, учитывающие соотношение между количеством продуктов сгорания и расходами газа и воздуха;

$c_{\text{ух}}, \theta_{\text{ух}}$  – теплоемкость и температура продуктов сгорания;

$G_{\text{в}}$  – расход воды на охлаждение роликов рольганга;

$\theta_1, \theta_2$  – начальная и конечная температуры охлаждающей воды;

$G_{\text{п}}$  – производительность печи;

$i_1, i_2$  – начальная и конечная энтальпии металла.

На основании измерений необходимых параметров схемой автоматически вычисляются составные части теплового баланса и определяются величины:

$$Q' = Q_{\text{хим}} - Q_{\text{в}} - Q_{\text{ух}} - Q_{\text{пИ}}$$

$$Q'' = G_{\text{п}}(i_2 - i_1) \pm \Delta Q.$$

При любом режиме работы необходимо соблюдение равенства  $Q' = Q''$ . Если  $Q' \neq Q''$ , то система вырабатывает сигнал  $\pm \Delta Q$ , который поступает на регулятор расхода газа или на регулятор числа оборотов роликов. Изменение  $V_{\text{г}}$  или числа оборотов, а следовательно, и  $G_{\text{п}}$  происходит до тех пор, пока приход и расход тепла не придут к равновесию, а  $\Delta Q$  не станет равен нулю.



## **1.4 Требования к программному обеспечению**

Разработать «Программное обеспечение, моделирующее процесс нагрева труб секционной печью», который бы позволял определить, по заданным параметрам (производительность печи, наружный диаметр труб, толщина стенки, начальная температура, количество рядов труб в печи), время нагрева.

## **1.5 Обоснование выбора среды программирования**

C# (произносится «си шарп») – объектно-ориентированный язык программирования. Разработан в 1998—2001 годах группой инженеров под руководством Андерса Хейлсберга в компании Microsoft как язык разработки приложений для платформы Microsoft .NET Framework и впоследствии был стандартизирован как ECMA-334 и ISO/IEC 23270.

## Преимущества языка программирования C#

- 1) Подлинная объектная ориентированность (всякая языковая сущность претендует на то, чтобы быть объектом)
- 2) Компонентно-ориентированное программирование
- 3) Безопасный (по сравнению с языками C и C++) код
- 4) Унифицированная система типизации
- 5) Поддержка событийно-ориентированного программирования
- 6) «Родной» язык для создания приложений в среде .NET
- 7) Объединение лучших идей современных языков программирования: Java, C++, VisualBasic и др.

## 2 Практическая часть

Исходные данные для расчета следующие:

Производительность печи	15 т/ч
Наружный диаметр труб, D	0,076 м
Толщина стенки, $\delta$	0,005 м
Начальная температура металла	0°С
Конечная температура металла	1100° С
Количество рядов труб в печи	два

Необходимо определить время нагрева.

Определяем геометрические размеры печи.

Ширина секции  $B = 0,700$  м, высота  $H = 0,770$  м.

Материал кладки — хромомагнезит (толщина слоя 0,350 м) и изоляция из пеношамота (толщина слоя — 0,116 м).

Размеры печи по кладке:

$$B_{\text{п}} = 0,700 + 2(0,350 + 0,116) \quad (2.1)$$

$$H_{\text{п}} = 0,770 + 2(0,350 + 0,116) \quad (2.2)$$

Внутренний периметр рабочего пространства

$$\Pi_1 = 2 (0,700 + 0,770) \quad (2.3)$$

Внешний периметр рабочего пространства

$$\Pi_2 = 2(1,632 + 1,702) \quad (2.4)$$

Эффективный периметр рабочего пространства

$$\Pi = \text{---} \quad (2.5)$$

Дальнейший расчет производится так же, как и для проходной трубосварочной печи. При этом следует учесть соответствующие размеры водоохлаждаемых роликов (взамен глассажных труб в трубосварочной печи) и шаг между ними, принимаемый нами равным примерно 1500 мм.

Принимаем эффективную температуру постоянной по всей длине печи 1400° С.

Поскольку производительность печи задана (15 т/ч) и размеры труб известны, то тем самым определена уже и скорость движения труб:

$$v = \text{---}, \quad (2.6)$$

где  $G$  — производительность печи, кг/ч;

$n$  — количество рядов труб (в нашем случае  $n = 2$ ).

Масса трубы длиной 1 м

$$g = \pi (D - \delta) \rho \delta \quad (2.7)$$

Расчет нагрева металла при  $t_{\text{печ}} = \text{const} = 1400^\circ\text{C}$ .

$$t = \text{---} \quad (2.8)$$

Длительность нагрева тонких тел в секционных печах с постоянной температурой печи можно рассчитать по формуле:

$\delta$  - толщина тела для нашего случая (толщина стенки) м;

$\rho$  - плотность металла, кг/м<sup>3</sup>;

$C_p$  - средняя расчетная теплоемкость металла, кдж/кг · град;

$T_{\text{печ}}$ ,  $T_{\text{н}}$ ,  $T_{\text{к}}$  - температура печи, начальная и конечная температуры металла, °K;

$\varphi(\text{---})$ - функции, зависимости  $T$  от  $T_{\text{печ}}$ ;

$\sigma_{\text{печ}}$  - приведенный коэффициент излучения, отнесенный к температуре печи,  $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{°K}^4$ .

Коэффициент формы

$$K_1 = \frac{\text{---}}{\text{---}}, \quad (2.9)$$

где  $D$  — наружный диаметр трубы, м.

В нашем случае, когда  $\varphi_{22} \neq 0$ ,  $\varphi_{11} \neq 0$ ,

$$\sigma_{\text{печ}} = \frac{\text{---}}{\text{---}}, \quad (2.10)$$

где  $\varphi_{22}$ ,  $\varphi_{11}$  - угловой коэффициент соответственно с металла на печь (кладку) и с металла на металл;

$\varepsilon_2$ - степень черноты металла (принимая  $\varepsilon_2 = 0,8$ ). Значение  $\varphi_{22}$  определяется из выражения

$$\varphi_{22} = - \left[ \frac{\text{---}}{\text{---}} - \text{---} + \arcsin \text{---} \right] \quad (2.11)$$

$$\varphi_{11} = 1 - \varphi_{22}, \quad (2.12)$$

где  $x$  — расстояние между осями труб, м.

Расстояние между ручьями в ролике примем равным 200 мм.

$$A = \frac{\text{---}}{\text{---}} \quad (2.13)$$

Поэтому для сокращения расчетов определим величину  $A$ , приняв  $\varepsilon_2 = 0,8$ :

Расчет нагрева ведем по интервалам. Весь период нагрева разбиваем на пять интервалов. Температуры металла в конце соответствующих интервалов принимаем следующие: 300, 600, 800, 950, 1100° С.

Первый интервал:  $t_n = 0^\circ\text{C}$ ,  $t_k = 300^\circ\text{C}$ .

Средняя расчетная теплоемкость

$$\hat{C}_p = \text{---} \quad (2.14)$$

Значения теплосодержаний для углерода 0,234%.

Отношение температур

$$\text{---} = \text{---} \quad \text{---} = \text{---} \quad (2.15)$$

Длительность нагрева

$$t_1 = A\hat{C}_p[\varphi(\text{---}) - \varphi(\text{---})] \quad (2.16)$$

Второй интервал:  $t_n = 300^\circ\text{C}$ ,  $t_k = 600^\circ\text{C}$ .

Средняя расчетная теплоемкость

$$\hat{C}_p = \text{---}$$

Отношение температур

$$\text{---} = \text{---} \quad \text{---} = \text{---}$$

Длительность нагрева

$$t_2 = A\hat{C}_p[\varphi(\text{---}) - \varphi(\text{---})]$$

Третий интервал:  $t_n = 600^\circ\text{C}$ ,  $t_k = 800^\circ\text{C}$ .

Средняя расчетная теплоемкость

$$\hat{C}_p = \text{---}$$

Отношение температур

$$\text{---} = \text{---} \quad \text{---} = \text{---}$$

Длительность нагрева

$$t_3 = A\hat{C}_p[\varphi(\text{---}) - \varphi(\text{---})]$$

Четвертый интервал:  $t_n = 800^\circ\text{C}$ ,  $t_k = 950^\circ\text{C}$ .

Средняя расчетная теплоемкость

$$\hat{C}_p = \text{---}$$

Отношение температур

$$\text{---} = \text{---} \quad \text{---} = \text{---}$$

Длительность нагрева

$$t_4 = A\hat{C}_p[\varphi(\text{---}) - \varphi(\text{---})]$$

Пятый интервал:  $t_n = 950^\circ\text{C}$ ,  $t_k = 1100^\circ\text{C}$ .

Средняя расчетная теплоемкость

$$\hat{C}_p = \text{---}$$

Отношение температур

$$\text{---} = \text{---} \quad \text{---} = \text{---}$$

Длительность нагрева

$$t_5 = A\hat{C}_p[\varphi(\text{---}) - \varphi(\text{---})]$$

Общая продолжительность нагрева

$$t_{\text{общ}} = \quad (2.16)$$



### 3 Разработка программного обеспечения

Основной задачей программного обеспечения моделирование технологического процесса нагрева труб в секционной печи, а также расчет необходимого времени и длины секционной печи для выполнения процесса.

Рассмотрим алгоритм работы программы (рисунок 8).

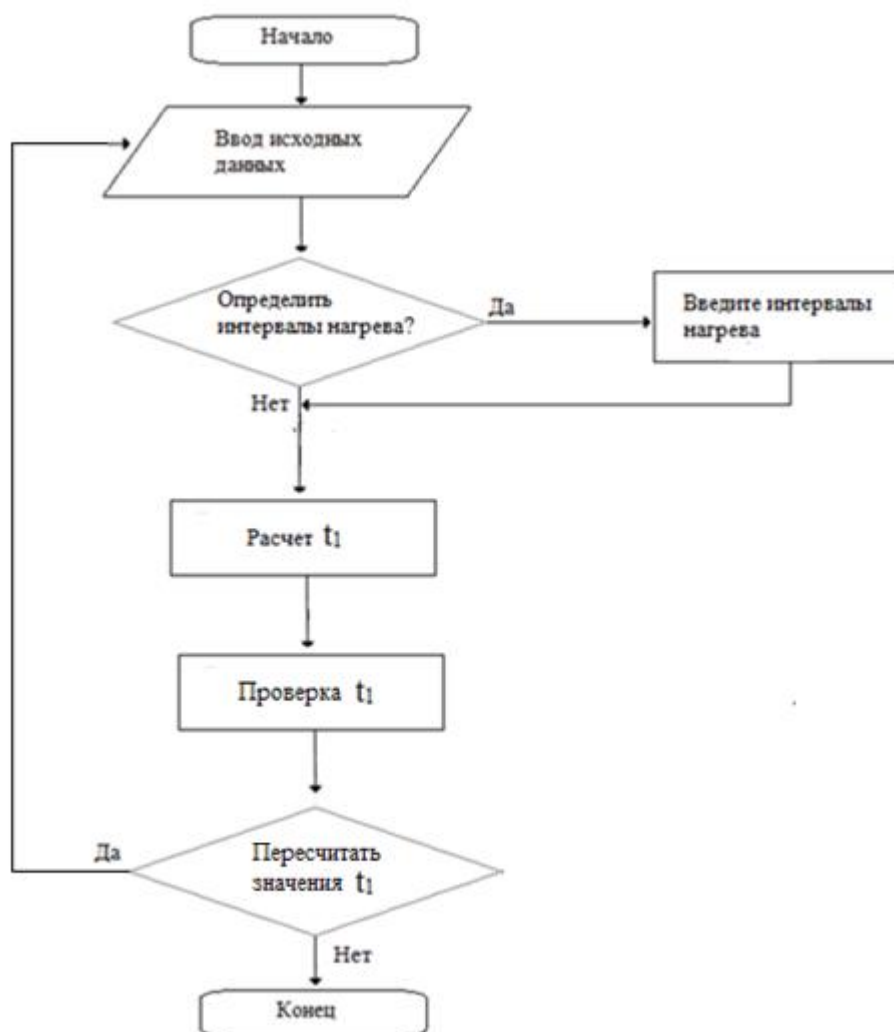
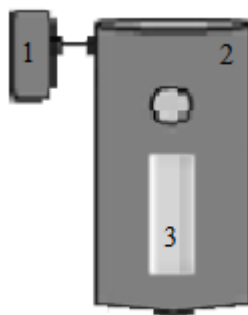


Рисунок 8 - Алгоритм работы программного обеспечения.

Вначале оператор должен ввести исходные данные (производительность печи, наружный диаметр труб, толщину стенки и т.д.). Затем необходимо выбрать режим нагрева (с использованием интервалов или без их использования), если выбран режим с интервалами, то необходимо указать значения температуры вначале и в конце каждого интервала, далее необходимо запустить процесс нагрева. После этого индикаторы выполнения будут отображать процесс выполнения нагрева труб, и в результате программа отобразит необходимое время и длину печи в отдельном окне.

На рисунке 9 изображена модель технологического процесса.



1 – регулятор температуры; 2 – секционная печь; 3 – индикатор выполнения технологического процесса нагрева труб.

Рисунок 9 - Модель технологического процесса в программе

На рисунке 10 изображен интерфейс программы до запуска процесса.

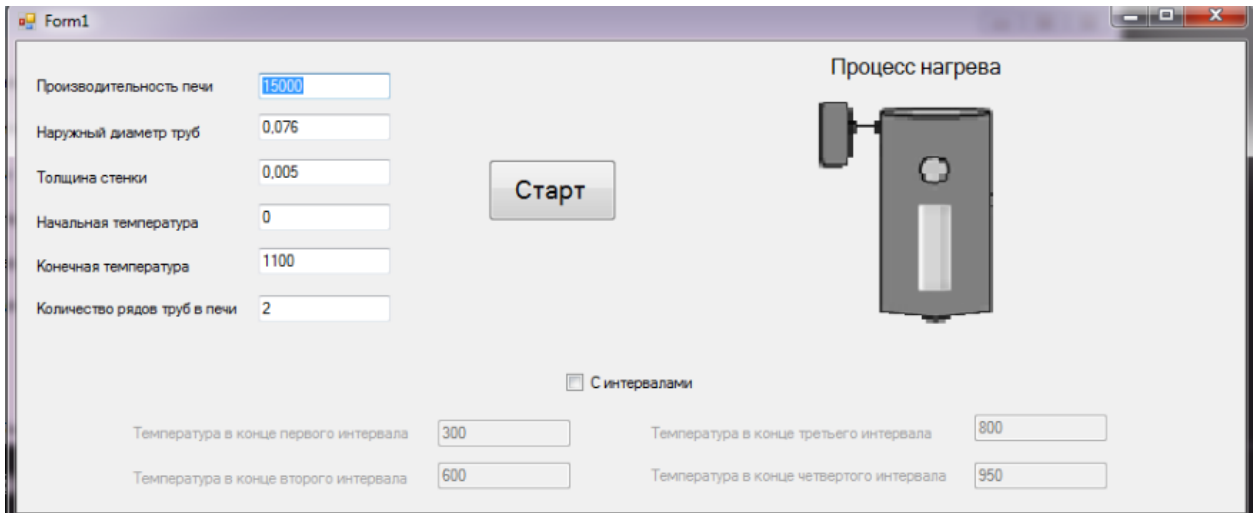


Рисунок 10 - Основное окно программы

На рисунке 11 изображено начало работы программы, после ввода исходных данных и запуска процесса, индикатор отображает процесс выполнения работы.

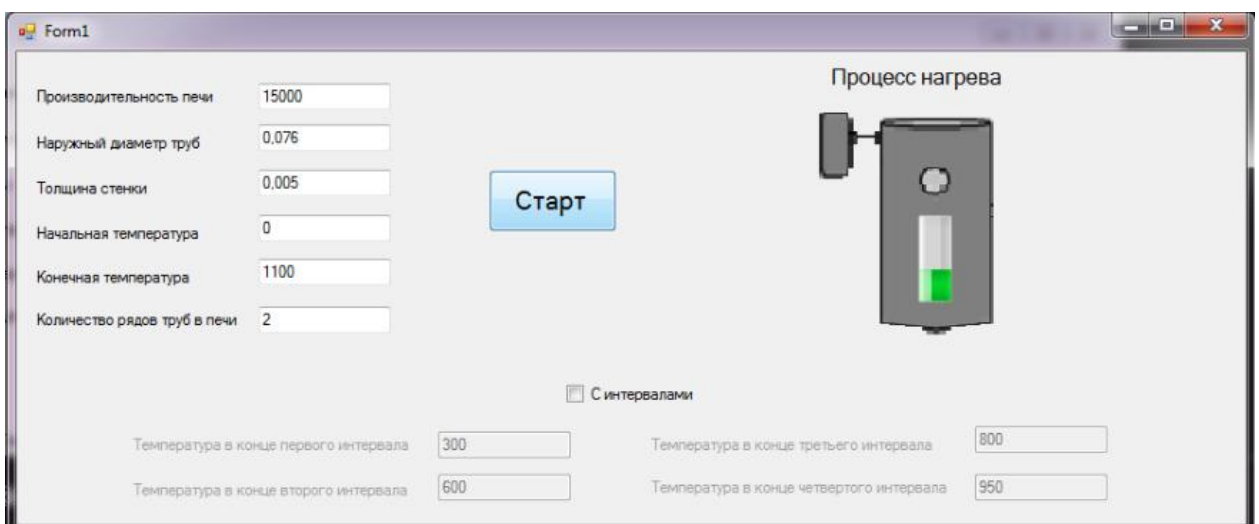


Рисунок 11 - Запуск программы

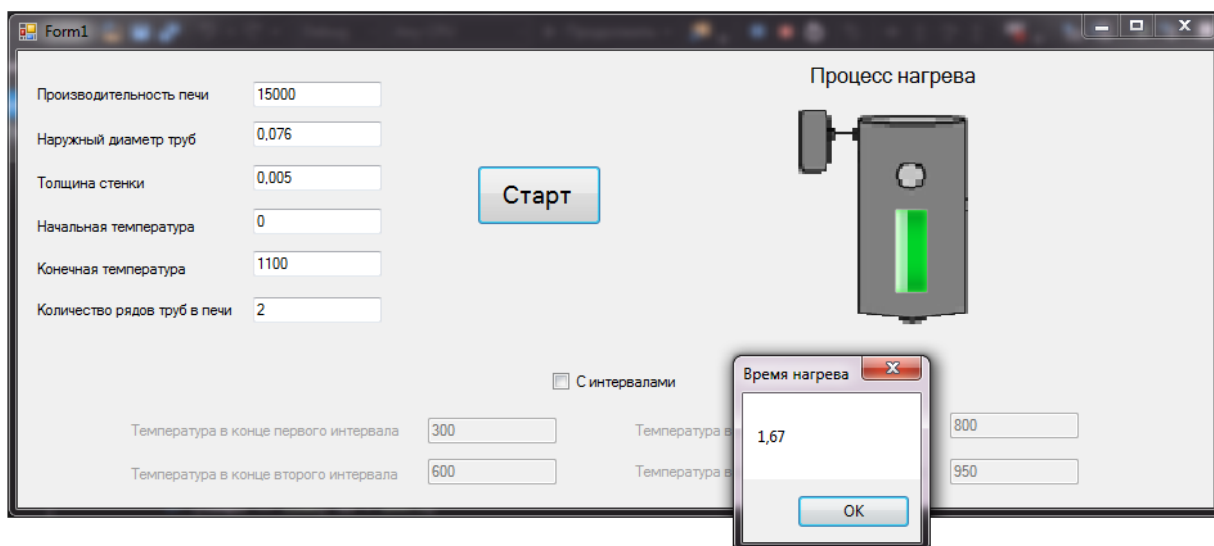


Рисунок 12 - Результат работы программы

На рисунке 13 изображено начало работы программы с заданными интервалами.

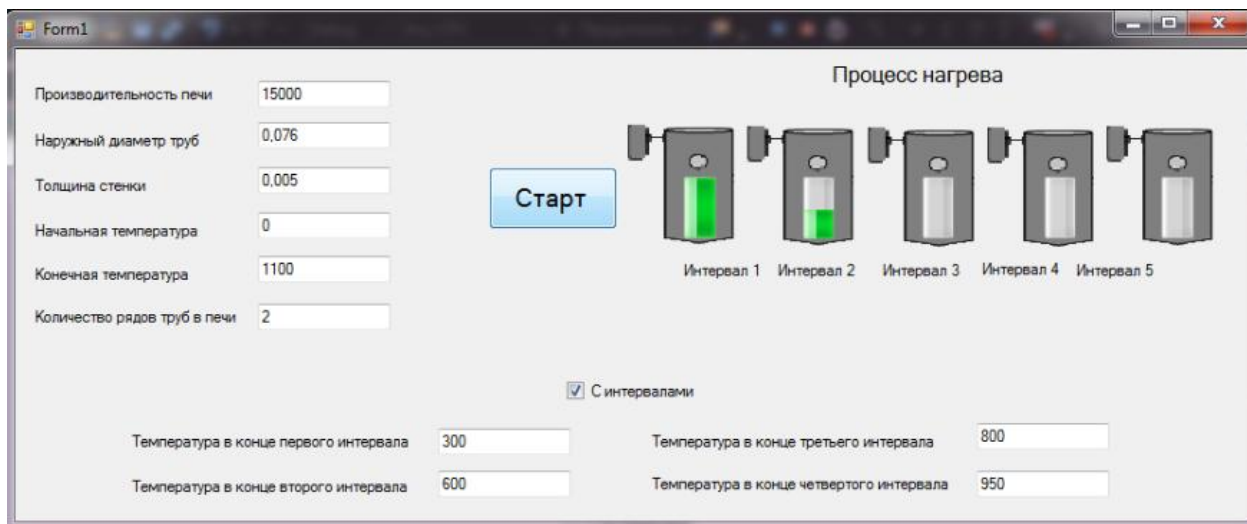


Рисунок 13 - Запуск программы (в режиме с интервалами)

На рисунке 14 изображено предупреждение о том, что введено некорректное значение.

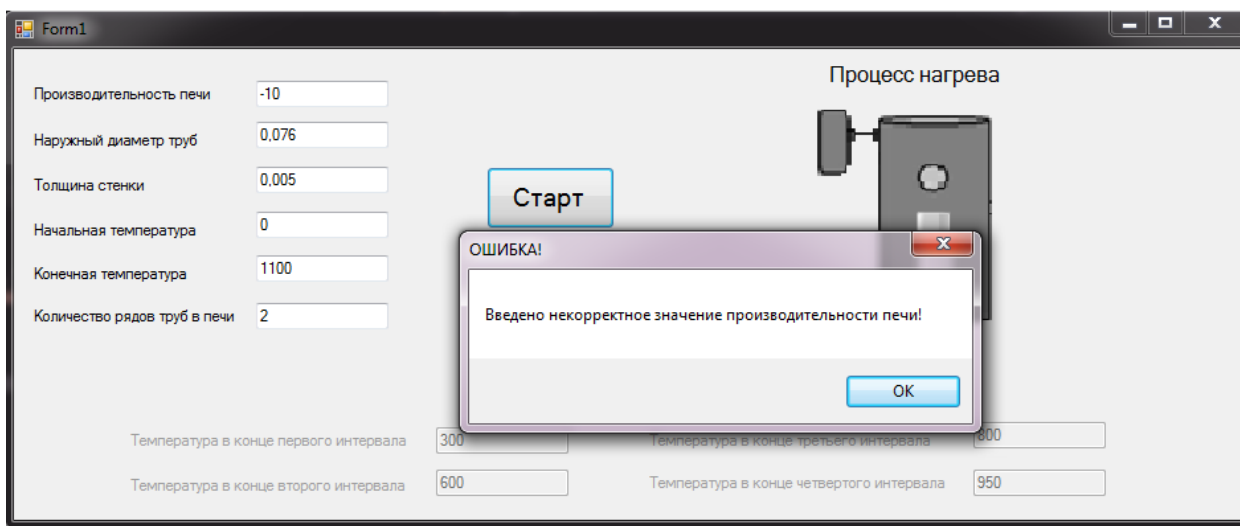


Рисунок 14 - Предупреждение о некорректных данных

В третьей главе была разработана блок схема работы АСУ секционной печи на ее основе создано программное обеспечение, позволяющее рассчитать время нагрева труб в печи.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения работы был проведен анализ предметной области, определены основные технические характеристики секционных печей.

Исследована и разработана модель технологического процесса нагрева труб, которая моделирует процесс нагрева, а также позволяет рассчитать время, необходимое для нагрева. Был разработан алгоритм работы системы, который позволяет регулировать начальные значения (производительность печи, начальную и конечную температуру труб и т.д.), для расчета времени нагрева.

Также создано программное обеспечение на основе модели технологического процесса нагрева труб.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Шмид, Д.А. Управляющие системы и автоматика / Д.А. Шмид. – Москва: Техносфера, 2007. – 584 с.
- 2 Нестеров, А.Л. Проектирование АСУ ТП. Книга 1 / А.Л. Нестеров. – Санкт-Петербург: ДЕАН, 2006. – 552 с.
- 3 Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств : учебное пособие / А.А. Иванов. – Москва: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
- 4 Марченко, А.Л. С#. Введение в программирование: учеб. пособие / А.Л. Марченко. – Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005. – 258 с.
- 5 Андрианова, А.А. Объектно-ориентированное программирование на С#: учебно-методическое пособие / А.А. Андрианова – Казань: Институт вычислительной математики и информационных технологий, кафедра экономической кибернетики, 2012. – 150 с.
- 6 Зотов Н. С. Теория автоматического управления / Н. С. Зотов. – Москва: Высшая школа, 2003. – 178 с.
- 7 Мастрюков Б.С. «Теория, конструкции и расчёты металлургических печей» / Б.С. Мастрюков. – Москва: Металлургия, 2007. – 272 с.
- 8 Елизаров И.А. Технические средства автоматизации / И.А. Елизаров, Ю.Ф. Мартемьянов – Москва: Машиностроение, 2004. – 315 с.
- 9 Бабич В.К. Основы металлургического производства / В.К. Бабич – Москва: Металлургия, 2001. – 342 с.
- 10 Воскобойников В.Г. Общая металлургия / В.Г. Воскобойников – Москва: Академкнига, 2005 – 768 с.

11 СТО 4.2 07 2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Взамен СТО 4.2 07 2012; дата введ. 30.12.2013. – Красноярск, 2013. – 60 с.