Курсовая работа

на тему:

«Математическое моделирование тепловой работы вращающейся печи»

**Введение**

В рабочем пространстве промышленных печей осуществляются газодинамические и тепломассообменные процессы горения, турбулентного смешения топлива, воздуха и газообразных продуктов сгорания, тепловыделений и радиационно-конвективного теплообмена между газообразной средой, футеровкой и технологическим материалом. Совокупность таких процессов, рассматриваемых во всей их сложности и взаимодействии, называют тепловой работой печи.

Известно, что интенсивность теплообмена, а, следовательно, и производительность промышленной печи, расход и полнота сгорания топлива и во многих случаях качество продукции зависят от комплекса взаимосвязанных факторов, таких как длина, форма и температура факела, его положение относительно технологического материала, скорость подачи топлива и воздуха, наличие рециркуляционных или застойных зон. В местах повышенного тепловыделения может, вследствие резкого возрастания температуры, снижаться стойкость футеровки или происходить образование экологически вредных компонентов типа оксидов азота. Таким образом, совершенствование тепловой работы промышленных печей является одной из важнейших современных инженерных задач.

Исследование высокотемпературных теплотехнологических процессов возможно методами математического моделирования, предусматривающими численное решение системы дифференциальных уравнений переноса вещества, количества движения и энергии. Математическая модель, как правило, не требует при решении инженерной задачи каких-либо эмпирических зависимостей, кроме уравнений, определяющих физические свойства веществ. Программы, реализующие на ЭВМ математическую модель тепловой работы промышленной печи, дают возможность постановки численного эксперимента, достаточно полно учитывающего реальные условия задачи.

Поставленные задачи ограничиваются в основном расчетным исследованием температурного режима работы футеровки вращающейся печи на участке струйного течения газообразной среды в зоне спекания или декарбонизации технологического материала.

**Задание**

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

1. Наружный диаметр корпуса печи: DK=6,2 м;
2. Толщина футеровки: δф=265 мм;
3. Толщина гарнисажного слоя: δсл=0,2•δф мм;
4. Материал футеровки: хромомагнезит
5. Частота вращения печи: nоб=1,35 об/мин;
6. Температура технологического материала: tм=1465 0С;
7. Температура горячего воздуха: tв1=550 0С;
8. Температура атмосферного воздуха: tв2=25 0С;
9. Топливо – природный газ месторождение: №24
10. Расход топлива: Bт=7000 м3/ч (н.у);
11. Скорость истечения топлива из горелки: u0=160 м/с;
12. Коэффициент избытка воздуха: αв=1,12;

**Конструктивная схема печи**

Вращающаяся печь располагается с наклоном 4° к горизонту и вращается со скоростью 1–2 об/мин. Вращающаяся печь состоит из корпуса с футеровкой, опоры с приводом, головки с уплотнительными устройствами, теплообменных устройств и питателей.

Корпус печи состоит из стальных сваренных между собой листов, изнутри футерован огнеупорным кирпичом. Футеровка предназначена для сокращения потерь тепла в окружающую среду и для защиты стального кожуха от воздействия высоких температур. Для лучшей теплоизоляции между кожухом и огнеупорной футеровкой применяют слой теплоизоляционного материала. Корпус печи в нескольких местах охвачен бандажами, которые опираются на опорные ролики.

Вращающаяся печь приспособлена для обжига сухого и влажного материала (шлама), который загружается в торец печи и при ее вращении перемещается вдоль нее к противоположному торцу.

*Конструкция вращающейся печи:*

*1 – печь; 2 – подогреватель воздуха; 3 – форсунки; 4 – привод; 5 – теплообменники;
6 – цепная завеса; 7 – упорные ролики; 8 – трубы для водяного охлаждения корпуса печи; 9 – вентилятор; 10 – шаровая мельница; 11 – сепаратор; 12 – циклон; 13 – вентилятор; 14 – трубопровод для отбора горячего воздуха из головки печи; 15 – камера для пыли;
16 – дымовая труба.*

Топливо подается в головку, которая расположена в печи с противоположной загрузке стороны. Топливом может является мазут, горючий газ и угольная пыль. Продукты сгорания перемещаются навстречу материалу, т.е. печь является противоточной.

Печь приводится во вращение при помощи венцовой шестерни, соединенной с редуктором и электромотором.

В зоне подогрева материалов (низкотемпературной части печи) устанавливают теплообменные устройства.

**Описание тепловой работы печи**

Процесс теплообмена, во вращающейся печи, является довольно сложным. В высокотемпературной части печи преобладает теплообмен излучением, а в низкотемпературной – конвективный теплообмен.

Тепло от продуктов сгорания топлива передается как материалу, так и футеровке печи. Благодаря вращению печи материал непрерывно перемещается (пересыпается) в поперечном и продольном направлениях. При этом тепло, аккумулированное футеровкой, передается материалу. Таким образом, футеровка работает как регенератор тепла.

На внутренней футеровке печи образуется гарнисажный слой, т.е. слой материала, который прилипает к стенке. В результате вращения печи более нагретый слой гарнисажа осыпается, а менее нагретый прикрепляется к футеровке, тем самым, образуя слой материала, который непрерывно нагревается от футеровки.

Вращающиеся печи, используемые для получения портландцементного клинкера, работают по принципу противотока. Сырьевая смесь подается в печь со стороны ее верхнего (холодного) конца, а топливо – воздушная смесь, сгорающая на протяжении 20 –30 метров длинны печи, вдувается со стороны нижнего (горячего) конца. Горячие газы движутся навстречу материалу и нагревают последний.

Интенсификация теплообмена и массообмена в зоне подогрева осуществляется путем установки различных теплообменников: ячейковых, металлических и керамических. Теплообменники увеличивают поверхность теплообмена газов с материалами, разделяя поток материала на несколько более мелких потоков, воспринимают тепло газов и регенеративно передают по материалу, интенсифицируют конвенктивный теплообмен, способствуют перемешиванию материала, защищают цепную завесу от перегрева за счет понижения температуры газов.

Скорость движения газов (CH4 и воздух) по длине печи различна на отдельных ее участках и изменяется от 6 до 13 м/с. Напор, затрачиваемый на перемещение газов через печь, расходуется на преодоление гидравлического сопротивления, слагающегося из сопротивления трения, местных сопротивлений в различных зонах печи, сопротивлении подъема газов и на создание скорости газов при выходе из печи.

В печи располагают зоны:

* Подогрева;
* Кальцинирования;
* Экзотермических реакций;
* Спекания.

В зоне подогрева (600 – 7000С) образуются Al2O3, Si2O3; в зоне кальцинирования (около 10000С) образуется CaO и CO2; далее сырье поступает в зону экзотермичеких реакций, где с выделением теплоты образуются следующие минералы: 3CaO\*Al2O3, 4CaO\*Al2O3\*Fe2O3, 2CaO\*SiO2; в конце печи, в зоне спекания, образуется 3CaO\*SiO2, и в результате всего получается клинкер.

**Математическая формулировка задачи**

В данной курсовой работе необходимо разработать математическую модель тепловой работы вращающейся печи, рассчитать параметры и температуру адиабатического диффузионного факела без теплообмена с футеровкой печи и технологическим материалом. Также необходимо произвести расчет радиационной теплоотдачи факела конвективного теплообмена воздуха в печи с футеровкой и технологическим материалом с целью определения параметров и температуры диффузионного факела с учетом теплообмена.

Предполагается проведение расчета стационарного температурного поля при заданной температуре на внутренней поверхности футеровки, что соответствует граничным условиям первого рода. После чего, необходимо рассчитать нестационарное температурное поле в футеровке печи при граничных условиях третьего рода.

Расчетные результаты должны быть представлены в виде таблиц и графиков.

**Описание применяемых алгоритмов**

Для математического моделирования горения природного газа в диффузионном факеле, расчета радиационно-конвективного теплообмена и температуры факела в курсовой работе предлагается применение аналитической теории, что значительно упрощает алгоритм решения задачи.

Выполнение курсовой работы разбивается на ряд последовательных этапов, что облегчает отладку программ и получение надежных расчетных результатов.

Сначала на основе аналитической теории составляется программа для расчета параметров и температуры адиабатического диффузионного факела без теплообмена с футеровкой печи и технологическим материалом. Затем к этой программе добавляются подпрограммы расчета радиационной теплоотдачи факела конвективного теплообмена воздуха в печи с футеровкой и технологическим материалом, и вносятся соответствующие изменения в основную программу с целью определения параметров и температуры диффузионного факела с учетом теплообмена.

Результаты расчета диффузионного факела используются при математическом моделировании температурного поля в футеровке печи. Овладевая основами численного интегрирования дифференциального уравнения теплопроводности, составляют программу для расчета стационарного температурного поля при заданной температуре на внутренней поверхности футеровки, что соответствует граничным условиям первого рода. На основе этой программы разрабатывается последующая программа для расчета нестационарного температурного поля в футеровке печи при граничных условиях третьего рода. Наконец, разрабатываются алгоритмы и вносятся в программу изменения и добавления в соответствии с индивидуальным заданием. Полученные расчетные результаты представляются в виде таблиц и графиков и анализируются с целью формулировки выводов и инженерных рекомендаций по улучшению тепловой работы промышленной печи.

**Алгоритм расчета параметров диффузионного факела**

Расчет выполняется на участке струйного течения, ориентировочную длину которого lс в движущейся системе координат можно найти, приравняв удвоенный радиус турбулентной струи внутреннему диаметру печи Dп:



где X0-расстояние до полюса струи. В неподвижной системе координат длина участка струйного течения возрастет на величину δх.

Длину участка струйного течения в неподвижной системе координат можно также найти из условия вовлечения в движение струй всего воздуха, подаваемого в печь, массовый расход которого определен следующим равенством:



Из равенства правых частей выражения следует, что:



Коэффициент избытка воздуха αв здесь задан, а стехиометрический коэффициент можно рассчитать по известному объему воздуха V°, теоретическая необходимому для сгорания одного кубометра природного газа, и плотности воздуха при нормальных условиях 



С помощью уравнений, полученных на основе теории турбулентных струи, вычисляют основные параметры диффузионного факела: длину факела; массовый расход воздуха, вовлеченного в струю; массовый расход несгоревшего топлива; энтальпию газообразной среды, усредненную по сечению струи и среднюю по сечению температуру диффузионного факела.

Для вычисления средней плотности газообразной среды  предлагается следующий итерационный алгоритм. Разделим факел по длине на достаточно малые участки, в пределах которых температуру и плотность среды можно считать постоянными. Например, удобно принять длину такого участка ∆х равной диаметру выходного отверстия горелки d0.

Примем в качестве расчетного поперечное сечение факела на выходе из очередного малого участка. Температура, состав и плотность газов на входе в очередной малый участок известны как параметры в предыдущем поперечном сечении, так что, приняв эти величины в качестве расчетных, можно получить в первом приближении массу воздуха, присоединенного к струе на очередном малом участке за единицу времени:



где - средняя плотность газов на очередном малом участке.

Прибавим эту величину к массовому расходу воздуха, вовлеченного в движение струи перед очередным малым участком, и найдем его массовый расход в расчетном сечении:



Массовому расходу воздуха Gв, в уравнении соответствует средняя плотность среды на расчетном участке от горелки до расчетного сечения:



Теперь можно определить расстояние от горелки до полюса струи, расчетную длину факела, массовый расход несгоревшего топлива, энтальпию и температуру факела в расчетном сечении; а затем, не меняя значения координаты X, уточнить среднюю плотность среды на очередном малом участке.

Плотность среды на расчетном участке и температуру среды в расчетном сечении вычисляют повторно, каждый раз уточняя величину ρсp, пока не будет достигнута заданная точность результатов. После этого увеличивают координату X на приращение ∆х, равное длине очередного малого участка, и выполняют расчет параметров диффузионного факела в следующем расчетном сечении в пределах участка струйного течения.

**Алгоритм расчета температуры футеровки печи**

Температурное поле в поперечных сечениях футеровки печи рассчитывают по уравнениям. Так как допускается пренебрегать переносам теплоты в футеровке по длине печи и цилиндричностью стенок, то становится возможной постановка одномерной задачи в декартовой системе координат.

Рекомендуется сначала составить более простую программу расчета стационарной теплопроводности при граничных условиях первого рода на внутренней поверхности футеровки. В начале программы выполняется цикл по индексу j для вычисления координат узлов сетки:



где ∆у – расстояние между узловыми точками, определяемое по заданной толщине футеровки и выбранному числу узлов сетки:



Затем температуру на внутренней поверхности футеровки приравнивают к температуре технологического материала и задают произвольные исходные значения температуры в остальных узловых точках.

В общем итерационном цикле последовательно увеличивают на единицу номера итераций N, вычисляют коэффициент теплопроводности материала футеровки и, выполняя прямую прогонку, рассчитывают коэффициенты прогонки Рj, Sj. Затем, вычислив коэффициенты дискретного уравнения, находят температуру на наружной поверхности футеровки в соответствии с граничными условиями третьего рода. Степень черноты наружной поверхности футеровки вращающейся печи принимают равной 0,9. Выполняя обратную прогонку, находят значения температуры во внутренних узлах сетки.

Температуру в пределах программы следует выражать в кельвинах. Так как коэффициенты теплопроводности футеровки вычисляются в точках, лежащих на гранях контрольных объемов между узлами сетки, то в расчетные формулы подставляют среднеарифметические значения температуры в соседних узловых точках:



где а, b – числовые коэффициенты.

Согласно принятой здесь нумерации точек на гранях контрольных объемов, формулы для расчета коэффициентов дискретных уравнений будут представлены следующим образом:

 

Коэффициент теплопроводности слоя гарнисажа, образованного на внутренней поверхности футеровки застывшим клинкерным расплавом, принимают равным 1 Вт/(м•К).

В цикле обратной прогонки вычисляют в узлах сетки относительные разности значений температуры в текущей и предыдущей итерациях:



и выбирают из них максимальную разность. В конце общего итерационного цикла производят оценку сходимости итераций, сравнивая абсолютную величину  с заданным малым числом. Если || больше чем, например, 0,00001, то итерации повторяются, если же меньше, то итерации завершаются. Чтобы повторить вновь выбор максимальной относительной разности температур, в начале каждой итерации величину  устанавливают равной нулю.

В конце программы предусматривают вывод на экран и на печать исходных данных и результатов расчета. При этом температуру представляют в градусах Цельсия.

Вторая программа для расчета стационарного температурного поля в футеровке должна учитывать теплообмен футеровки с диффузионным факелом и воздухом в печи, согласно граничным условиям третьего рода. С этой целью в предыдущую программу вносятся соответствующие изменения.

Коэффициенты прогонки Рj, Sj на внутренней поверхности футеровки или гарнисажа определяют теперь, предварительно вычислив коэффициенты дискретного уравнения. При этом используются значения степени черноты и поглощательной способности газообразной среды, приведенной степени черноты и коэффициента конвективной теплоотдачи, найденные при расчете параметров диффузионного факела. Температуру на внутренней поверхности футеровки или гарнисажа определяют обратной прогонкой.

Третью программу составляют для расчета нестационарного теплообмена, имея в виду, что при вращении печи температура внутренней поверхности футеровки изменяется. При контакте с технологическим материалом она равна температуре этого материала, что соответствует граничным условиям первого рода, а при нагреве диффузионным факелом зависит от условий радиационной и конвективной теплоотдачи, согласно граничным условиям третьего рода.

Для учета нестационарности в программе организуют цикл по интервалам времени, который является внешним по отношению к итерационному циклу. Цикл по интервалам времени выполняется в течение нескольких оборотов печи, так чтобы расчетное время прогрева футеровки оказалось достаточным для стабилизации изменений температурного поля в следующих друг за другом оборотах.

Чтобы задать начальное температурное поле в футеровке, целесообразно усреднить стационарные распределения температуры, полученные в двух предыдущих программах при граничных условиях первого и третьего рода. По-прежнему допускается рассматривать задачу приближенно как одномерную. Коэффициент aj, Dj дискретных уравнений рассчитывают теперь с учетом нестационарных членов.

Окружность печи делят на 16, расчетных отрезков и определяют интервал времени, необходимый для прохождения каждого отрезка расчетным сечением футеровки при вращении печи



где nоб – частота вращения печи (1/с).

Если расчетный отрезок футеровки находится под слоем технологического материала, в программе используются граничные условия первого рода. Для остальных участков футеровки расчет выполняется при граничных условиях третьего рода.

Чтобы выделить интервалы времени, когда футеровка находится под слоем технологического материала, разделим порядковый номер расчетного интервала времени на число расчетных отрезков по окружности печи. Те расчетные моменты времени, для которых величина получаете целой, соответствуют началу нового оборота печи. На первом обороте печи это начальный (нулевой) момент времени, а на остальных оборотах печи это моменты времени, порядковые номера которых кратны числу nф.

Если расчетным отрезкам по окружности футеровки, находящимися под слоем технологического материала, присвоить порядковые номера, то соответствующие им расчетные моменты времени можно определить из условия, что отношение , является целым числом.

Поперечное сечение вращающейся печи:

1-футеровка; 2 – слой гарнисажа; 3 – технологический материал.

**Программа №1**

Program Kurs;

{Математическое моделирование тепловой работы вращающейся печи}

uses Crt;

const SI = 5.67e-8; {Постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м2\*К4)}

SC = 0.85; {Турбулентное число Шмидта}

type tFurnace = object

X: integer;

Dk, Dw, D0, Hw, Hw1, Tm, Ew1, Ew2: real;

X0, RF, FR, LF, AG, ES, EG: real;

BT, G0, R0, U0, H0, QT, GT: real;

GB, GB0, ROB, TB, HB: real;

ALB, NB, VB0, V1, V2, V3, VG0: real;

TF, TK, TP, QF, QP, HF: real;

Cg, Cv, CF, ROF, ROV, RO: real;

P1, P2, P3, PT, PG, PB: real;

Procedure Date;

Procedure Fakel;

Procedure GasPost;

Procedure GasHeat;

Procedure HeatLine;

Function fHdis:real;

Procedure Names;

Procedure Result;

Procedure Nomina;

end;

var Furnace: tFurnace;

Var File1: text;

{============================================================================}

Procedure tFurnace. Date;

{============================================================================}

{Исходные данные}

Begin

DK:=6.2; {Диаметр корпуса печи, м}

HW:=0.265; {Толщина футеровки, м}

HW1:=HW\*0.2; {Толщина гарнисажного слоя, м}

DW:=4.6–2\*(HW+HW1); {Внутренний диаметр печи, м}

TM:=1465; {Температура обжигаемого материала,°C}

EW1:=0.7; {Степень черноты внутренней поверхности стенки}

QT:=35510; {Низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг}

R0:=0.740; {Плотность топлива, кг/м3 (н.у.)}

BT:=7000; {Расход топлива через горелку, м3/ч (н.у.)}

G0:=BT\*R0/3600; {Расход топлива через горелку, кг/с}

U0:=160; {Скорость истечения топлива из горелки, м/с}

D0:=Sqrt (4\*G0/R0/U0/Pi); {Диаметр горелки, м}

ALB:=1.12; {Коэффициент избытка воздуха}

VB0:=9.45; {Объем теоретически необходимого воздуха, м3/м3}

ROB:=1.293; {Плотность воздуха, кг/м3 (н.у.)}

NB:=ROB\*VB0/R0; {Стехиометрический коэффициент, кг/кг}

GB0:=NB\*G0\*ALB; {Начальный расход горячего воздуха, кг/с}

TB:=550; {Температура горячего воздуха,°C}

HB:=(1.287+0.0001201\*TB)\*TB; {Энтальпия горячего воздуха, кДж/кг}

{Объем продуктов горения, м3/м3 топлива}

V1:= 1; {Углекислый газ}

V2:= 2.12; {Водяной пар}

V3:= 7.49; {Азот}

VG0:=10.61; {Продукты стехиометрического горения}

End;

{============================================================================}

Procedure tFurnace. Fakel;

{============================================================================}

{Расчет параметров диффузионного факела}

var GP, ROP, HBP, HHF, HHB, ROD, RS, GTB, MG, ZT: real;

XX, XB, XXB, LX, LXB, SC1, SC2: real;

Begin

Date;

ROF:=R0; ROV:=1.3; CF:=1.5;

Names;

While GB\*G0<=GB0 do begin {переход к очередному сечению}

{Расстояние от горелки до расчетного сечения, D0\*м}

X:=X+1;

{Параметры факела в предыдущем сечении}

GP:=GB; ROP:=ROF; TP:=TF; QP:=QF;

repeat {начало итераций}

{Средняя плотность факела на очередном малом участке, кг/м3}

ROD:=(ROP+ROF)/2;

{Расход воздуха, вовлеченного в струю, G0\*кг/c}

GB:=GP+0.322\*sqrt (ROD/R0);

{Средняя плотность факела на расчетном участке, кг/м3}

Ro:=R0\*sqr (GB/X/0.322);

RS:=sqrt (Ro/R0); {Соотношение плотностей}

{Расстояние до полюса струи, D0\*м}

X0:=2.37/RS;

{Расчетная длина факела, D0\*м}

LF:=X0\*((NB+1)\*(2\*SC+1) – 1);

{Расстояние от полюса струи до расчетного сечения и конца факела, D0\*м}

XX:=X+X0; LX:=LF+X0;

{Радиус турбулентной струи, м}

RF:=0.211\*XX\*D0;

{Расход несгоревшего топлива через расчётное сечение, G0\*кг/с}

SC2:=2\*SC; SC1:=SC2+1;

GT:=XX/X0/NB\*(LX/XX/SC1+SC2/SC1\*exp (ln(XX/LX)/SC2) – 1);

{Средняя энтальпия газов в расчётном сечении факела, кДж/кг}

HHF:=(H0+HB\*GB+QT\*(1-GT))/(1+GB); {без теплообмена}

HF:=HHF-QF/(1+GB)/G0; {c теплообменом}

{Средняя температура в расчётном сечении факела,°C}

ZT:=TF; TF:=(HF-fHDis)/CF; TK:=TF+273;

{Плотность газов в расчётном сечении факела, кг/м3}

ROF:=ROV\*273/TK;

GasPost; Gasheat; HeatLine;

until ABS (1-ZT/TF)<0.0001; {конец итераций}

{Радиус фронта пламени, м}

FR:=XX/7.9\*sqrt (exp(ln (LX/XX)/SC2) – 1);

{Вывод результатов на печать}

Result;

end;

{–}

{Параметры факела в начальном сечении зоны догорания}

GTB:=GT; GB:=GB0/G0; HHB:=HHF; RF:=DW/2;

XB:=X; XXB:=XB+X0; LXB:=LX;

MG:=(1-exp (ln(XXB/LXB)/SC2))/NB/X0/GTB;

While GT>0.01 do begin {переход к очередному сечению}

{Расстояние от горелки до расчётного сечения, D0\*м}

X:=X+1;

{Параметры факела в предыдущем сечении}

TP:=TF; QP:=QF;

repeat {начало итераций}

{Расход несгоревшего топлива через расчетное сечение, кг/с}

GT:=GTB\*exp (MG\*(XB-X));

{Средняя энтальпия газов в расчетном сечении факела, кДж/кг}

HHF:=HHB+QT\*(GTB-GT)/(1+GB); {без теплообмена}

HF:=HHF-QF/(1+GB)/G0; {c теплообменом}

{Средняя температура в расчетном сечении факела, °C}

ZT:=TF; TF:=(HF-fHDis)/CF; TK:=TF+273;

{Плотность газов в расчетном сечении факела, кг/м3}

ROF:=ROV\*273/TK;

Gasheat; HeatLine;

until ABS (1-ZT/TF)<0.0001; {конец итераций}

{Вывод результатов на печать}

Result;

end;

Nomina;

End;

{============================================================================}

Procedure tFurnace. GasPost;

{============================================================================}

{Расчет параметров диффузионного факела}

var RO1, RO2, RO3, ROG, VT, VB, VG, VF: real;

Begin

P1:=V1/VG0; P2:=V2/VG0; P3:=V3/VG0;

RO1:=44/22.41;

RO2:=18/22.41;

RO3:=28/22.41;

{Плотность стехиометрических продуктов горения, кг/м3 (н.у.)}

ROG:=RO1\*P1+RO2\*P2+RO3\*P3;

{Объемный расход несгоревшего топлива, м3/с (н.у.)}

VT:=GT\*G0/RO;

{Объемный расход воздуха, м3/с (н.у.)}

VB:=(GB – (1-GT)\*NB)\*G0/ROB;

{Объемный расход продуктов горения, м3/с (н.у.)}

VG:=(1-GT)\*(1+NB)\*G0/ROG;

{Объемный расход газообразной среды, м3/с (н.у.)}

VF:=VT+VB+VG;

{Объемные доли компонентов в газообразной среде}

PT:=VT/VF; {Топливо}

PB:=VB/VF; {Воздух}

PG:=VG/VF; {Продукты горение}

{Плотность газообразной среды, м3/кг (н.у.)}

ROV:=RO\*PT+ROB\*PB+ROG\*PG;

End;

{============================================================================}

Procedure tFurnace. GasHeat;

{============================================================================}

{Расчет теплоемкости газообразной среды}

var CB, CT, C1, C2, C3: real;

Begin

{Объёмная теплоёмкость природного газа, кДж/м3\*К (н.у.)}

IF TF=0 THEN CT:=2.522+0.0005815\*TF ELSE

CT:=(-317.9+2.522\*TF+0.0005815\*sqr(TF)+86840/(TF+273))/TF;

{Объемная теплоемкость воздуха, кДж/м3\*К (н.у.)}

CB:=1.287+0.0001201\*TF;

{Объёмная теплоёмкость углекислого газа, кДж/(м3\*К) (н.у.)}

IF TF=0 THEN C1:=2.081+0.0002017\*TF ELSE

C1:=(-139.5+2.081\*TF+0.0002017\*sqr(TF)+38110/(TF+273))/TF;

{Объёмная теплоёмкость водяного пара, кДж/(м3\*К) (н.у.)}

C2:=1.49+0.0002303\*TF;

{Объёмная теплоёмкость азота, кДж/(м3\*К) (н.у.)}

C3:=1.28+0.0001103\*TF;

{Объёмная теплоёмкость продуктов горения, кДж/м3\*К (н.у.)}

CG:=C1\*P1+C2\*P2+C3\*P3;

{Объёмная теплоёмкость газов в факеле, кДж/(м3\*К) (н.у.)}

CV:=CT\*PT+CB\*PB+CG\*PG;

{Массовая теплоёмкость газов в факеле, кДж/кг\*К}

CF:=CV/ROV;

End;

{============================================================================}

Function tFurnace.fHdis:real;

{============================================================================}

{Расчет теплоты диссоциации факела}

var PCO2, PH2O, KCO2, KH2O, ACO2, AH2O, PS, LR, K1, K2: real;

Begin

fHdis:=0;

if TF>1500 then begin

{Объёмные доли трехатомных газов}

PCO2:=P1\*PG; {…углекислого газа}

PH2O:=P2\*PG; {…водяного пара}

{Константа равновесия для углекислого газа}

KCO2:=exp (ln(10)\*(4.47–14700/TF));

{Константа равновесия для водяного пара}

KH2O:=exp (ln(10)\*(3.05–13160/TF));

{Степень диссоциации углекислого газа}

ACO2:=exp (ln(2\*sqr(KCO2)/PCO2)/3);

{Степень диссоциации водяного пара}

AH2O:=exp (ln(2\*sqr(KH2O)/PH2O)/3);

{Теплота диссоциации трехатомных газов, кДж/кг}

fHdis:=(12630\*ACO2\*PCO2+10800\*AH2O\*PH2O)/ROV;

end;

End;

{============================================================================}

Procedure tFurnace. HeatLine;

{============================================================================}

{Расчет результирующего излучения факела}

var TG, FF, FW, PC, PH, PS, LR, K1, K2: real;

Begin

{Средняя температура факела на малом участке,°C}

TG:=(TP+TF) /2;

{Расчетная поверхность малого участка факела, м2}

FF:=2\*PI\*RF\*D0;

{Внутренняя поверхность стенки печи, м2}

FW:=PI\*DW\*D0;

{Объёмные доли излучающих газов}

PC:=P1\*PG+PT; {углекислый газ + топливо}

PH:=P2\*PG; {водяной пар}

PS:=PC+PH; {трёхатомные газы}

{Эффективная толщина излучающего слоя, м}

LR:=1.8\*RF;

{Коэффициент поглощения при температуре газов, 1/м}

K1:=PS\*((0.78+1.6\*PH)/sqrt (PS\*LR) – 0.1)\*(1–0.37\*(TG+273)/1000);

{Степень черноты факела}

EG:=1-exp (-K1\*LR);

{Коэффициент поглощения при температуре стенки, 1/м}

K2:=PS\*((0.78+1.6\*PH)/sqrt (PS\*LR) – 0.1)\*(1–0.37\*(TM+273)/1000);

{Поглощательная способность факела}

AG:=1-exp (-K2\*LR);

{Приведенная степень черноты}

ES:=1/(1/AG+(1/EW1–1)\*FF/FW);

{Поток результирующего излучения факела, кВт}

QF:=QP+ES\*SI\*(EG/AG\*sqr (sqr(TG+273)) – sqr (sqr(TM+273)))\*FF/1000;

End;

{============================================================================}

Procedure tFurnace. Names;

{============================================================================}

Begin

Assign (File1,'Furnace.txt'); Rewrite(File1);

Writeln(File1); Writeln (file1,' ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:');

Writeln (file1,' Внутренний диаметр печи DW:=', DW:5:2,' м');

Writeln (file1,' Toлщина футеровки HW:=', HW\*1000:4:0,' мм');

Writeln (file1,' Температура обжигаемого материала TM:=', TM:5:0,'°C');

Writeln (file1,' Низшая теплота сгорания топлива QT:=', QT:5:0,' кДж/кг');

Writeln (file1,' Плотность топлива R0:=', R0:3:3,' кг/м3 (н.у)');

Writeln (file1,' Расход топлива через горелку G0:=', G0:5:3,' кг/с');

Writeln (file1,' Скорость истечения топлива из горелки U0:=', U0:5:1,' м/с');

Writeln (file1,' Диаметр горелки D0:=', D0\*1000:3:0,' мм');

Writeln (file1,' Коэффициент избытка воздуха ALB:=', ALB:3:2);

Writeln (file1,' Температура горячего воздуха TB:=', TB:4:0,'°C');

Writeln(File1);

Writeln (file1,' X LF GT GB EG AG ES HF TF QF ');

End;

{============================================================================}

Procedure tFurnace. Result;

{============================================================================}

Begin

Append(File1);

if X mod 2 = 0 then

Writeln (file1, x:3,' ', lf:5:1,' ', gt:6:4,' ', gb:6:3,' '

eg:5:3,' ', ag:5:3,' ', es:5:3,' ', hf:6:0,' ', tf:6:0,' ', qf:5:0);

End;

{============================================================================}

Procedure tFurnace. Nomina;

{============================================================================}

Begin

Append(File1); Writeln(File1); Writeln (File1,' ОБОЗНАЧЕНИЯ:');

Writeln (File1,' X – относительное расстояние x/d0 (номер расчетного сечения)');

Writeln (File1,' LF – относительная длина факела LФ/d0');

Writeln (File1,' GT – доля несгоревшего топлива от поступившего в горелку Gт/G0');

Writeln (File1,' GB – относительное количество воздуха, вовлеченного в факел, Gb/G0');

Writeln (File1,' EG – степень черноты газообразной среды в факеле');

Writeln (File1,' AG – поглощательная способность факела');

Writeln (File1,' Es – приведенная степень черноты факела');

Writeln (File1,' HF – энтальпия газообразной среды в факеле');

Writeln (File1,' Tf – средняя температура в поперечном сечении факела,°C');

Writeln (File1,' Qf – теплоотдача факела, кВт');

Writeln(File1);

Close(file1);

End;

{============================================================================}

BEGIN

Furnace. Fakel;

END.

**Результаты выполнения программы №1:**

X LF GT GB EG AG ES HF TF QF

2 148.6 0.9708 0.475 0.254 0.123 0.122 1195 306 -11

4 171.4 0.9472 0.824 0.286 0.146 0.146 1737 390 -31

6 184.8 0.9259 1.147 0.308 0.164 0.163 2073 454 -62

8 193.9 0.9059 1.457 0.325 0.178 0.176 2308 512 -102

10 200.5 0.8866 1.761 0.337 0.190 0.188 2483 565 -151

12 205.6 0.8679 2.062 0.347 0.201 0.199 2619 615 -211

14 209.6 0.8498 2.359 0.354 0.211 0.208 2727 663 -279

16 212.9 0.8320 2.655 0.360 0.220 0.216 2814 710 -356

18 215.6 0.8146 2.949 0.364 0.228 0.223 2886 755 -442

20 217.8 0.7976 3.243 0.367 0.235 0.230 2946 798 -534

22 219.8 0.7809 3.535 0.369 0.242 0.236 2996 840 -634

24 221.5 0.7645 3.827 0.370 0.249 0.242 3038 881 -739

26 223.0 0.7484 4.118 0.370 0.254 0.247 3073 921 -849

28 224.3 0.7325 4.409 0.370 0.260 0.251 3103 960 -962

30 225.5 0.7169 4.700 0.369 0.265 0.255 3128 997 -1078

32 226.5 0.7016 4.990 0.367 0.270 0.259 3149 1034–1195

34 227.5 0.6866 5.279 0.366 0.274 0.263 3166 1069–1312

36 228.3 0.6717 5.569 0.363 0.278 0.266 3180 1103–1428

38 229.1 0.6571 5.858 0.363 0.282 0.269 3191 1136–1544

40 229.8 0.6428 6.147 0.358 0.286 0.272 3199 1168–1654

42 230.5 0.6287 6.435 0.355 0.289 0.274 3205 1199–1759

44 231.1 0.6147 6.724 0.352 0.293 0.277 3209 1229–1859

46 231.7 0.6010 7.012 0.348 0.296 0.279 3210 1258–1953

48 232.2 0.5875 7.300 0.345 0.299 0.281 3210 1286–2038

50 232.7 0.5743 7.588 0.341 0.301 0.282 3208 1313–2116

52 233.2 0.5612 7.876 0.337 0.304 0.284 3204 1339–2184

54 233.6 0.5483 8.163 0.334 0.306 0.285 3199 1364–2242

56 234.0 0.5356 8.451 0.330 0.308 0.286 3192 1388–2289

58 234.4 0.5231 8.739 0.326 0.310 0.288 3184 1411–2325

60 234.8 0.5108 9.026 0.322 0.312 0.289 3174 1433–2350

62 235.1 0.4986 9.314 0.319 0.314 0.289 3164 1453–2363

64 235.4 0.4867 9.601 0.315 0.316 0.290 3152 1474–2364

66 235.7 0.4749 9.889 0.311 0.317 0.291 3140 1493–2353

68 236.0 0.4633 10.177 0.308 0.319 0.291 3127 1510–2329

70 236.3 0.4518 10.465 0.304 0.320 0.292 3113 1528–2293

72 236.5 0.4406 10.753 0.301 0.321 0.292 3098 1544–2244

74 236.7 0.4295 11.041 0.297 0.323 0.292 3082 1560–2184

76 236.9 0.4185 11.330 0.294 0.324 0.293 3066 1574–2111

78 237.1 0.4078 11.618 0.291 0.325 0.293 3049 1588–2026

80 237.3 0.3971 11.907 0.288 0.326 0.293 3032 1602–1929

82 237.5 0.3867 12.196 0.285 0.327 0.293 3014 1614–1821

84 237.6 0.3764 12.485 0.282 0.327 0.293 2996 1626–1701

86 237.8 0.3662 12.775 0.280 0.328 0.293 2977 1636–1571

88 237.9 0.3562 13.065 0.277 0.329 0.293 2958 1647–1430

90 238.0 0.3464 13.355 0.275 0.329 0.292 2939 1656–1279

92 238.1 0.3367 13.645 0.273 0.330 0.292 2920 1665–1118

94 238.2 0.3271 13.936 0.270 0.330 0.292 2900 1673 -947

96 238.3 0.3177 14.227 0.268 0.331 0.291 2880 1681 -767

98 238.4 0.3085 14.519 0.267 0.331 0.291 2861 1688 -579

100 238.5 0.2994 14.810 0.265 0.331 0.291 2840 1694 -382

102 238.5 0.2904 15.103 0.263 0.332 0.290 2820 1700 -177

104 238.6 0.2816 15.395 0.262 0.332 0.290 2800 1705 36

106 238.6 0.2729 15.689 0.261 0.332 0.289 2780 1710 256

108 238.7 0.2643 15.982 0.259 0.332 0.288 2759 1714 483

110 238.7 0.2559 16.276 0.258 0.332 0.288 2739 1717 716

112 238.7 0.2477 16.571 0.257 0.332 0.287 2719 1721 956

114 238.7 0.2395 16.866 0.256 0.333 0.287 2698 1723 1201

116 238.7 0.2316 17.161 0.256 0.333 0.286 2678 1726 1452

118 238.7 0.2237 17.457 0.255 0.332 0.285 2658 1727 1708

120 238.7 0.2160 17.753 0.255 0.332 0.285 2638 1729 1969

122 238.7 0.2084 18.050 0.254 0.332 0.284 2618 1730 2234

124 238.7 0.2010 18.348 0.254 0.332 0.283 2598 1730 2503

126 238.7 0.1937 18.493 0.235 0.309 0.273 2593 1733 2745

128 238.7 0.1867 18.493 0.233 0.309 0.273 2602 1738 2959

130 238.7 0.1800 18.493 0.232 0.309 0.273 2611 1743 3176

132 238.7 0.1735 18.493 0.230 0.309 0.273 2619 1748 3395

134 238.7 0.1672 18.493 0.229 0.309 0.273 2627 1752 3617

136 238.7 0.1612 18.493 0.228 0.309 0.273 2634 1756 3842

138 238.7 0.1554 18.493 0.227 0.309 0.273 2640 1759 4068

140 238.7 0.1498 18.493 0.226 0.309 0.273 2645 1762 4296

142 238.7 0.1444 18.493 0.225 0.309 0.273 2651 1765 4526

144 238.7 0.1392 18.493 0.224 0.309 0.273 2655 1767 4758

146 238.7 0.1341 18.493 0.224 0.309 0.273 2659 1770 4990

148 238.7 0.1293 18.493 0.223 0.309 0.273 2663 1772 5224

150 238.7 0.1246 18.493 0.223 0.309 0.273 2666 1773 5458

152 238.7 0.1201 18.493 0.222 0.309 0.273 2669 1775 5694

154 238.7 0.1158 18.493 0.222 0.309 0.273 2671 1776 5930

156 238.7 0.1116 18.493 0.221 0.309 0.273 2673 1777 6166

158 238.7 0.1076 18.493 0.221 0.309 0.273 2674 1778 6404

160 238.7 0.1037 18.493 0.221 0.309 0.273 2675 1778 6641

**162 238.7 0.1000 18.493 0.221 0.309 0.273 2676 1779 6879**

**164 238.7 0.0964 18.493 0.221 0.309 0.273 2676 1779 7117**

**166 238.7 0.0929 18.493 0.221 0.309 0.273 2676 1779 7355**

**168 238.7 0.0895 18.493 0.221 0.309 0.273 2676 1779 7593**

**170 238.7 0.0863 18.493 0.221 0.309 0.273 2676 1779 7831**

172 238.7 0.0832 18.493 0.221 0.309 0.273 2675 1778 8068

174 238.7 0.0802 18.493 0.221 0.309 0.273 2674 1778 8306

176 238.7 0.0773 18.493 0.221 0.309 0.273 2673 1777 8543

178 238.7 0.0745 18.493 0.222 0.309 0.273 2671 1776 8779

180 238.7 0.0718 18.493 0.222 0.309 0.273 2669 1775 9016

182 238.7 0.0692 18.493 0.222 0.309 0.273 2667 1774 9251

184 238.7 0.0667 18.493 0.222 0.309 0.273 2665 1773 9486

186 238.7 0.0643 18.493 0.223 0.309 0.273 2662 1771 9721

188 238.7 0.0620 18.493 0.223 0.309 0.273 2660 1770 9954

190 238.7 0.0598 18.493 0.224 0.309 0.273 2657 1768 10187

192 238.7 0.0576 18.493 0.224 0.309 0.273 2654 1767 10419

194 238.7 0.0555 18.493 0.225 0.309 0.273 2651 1765 10650

196 238.7 0.0535 18.493 0.225 0.309 0.273 2648 1763 10880

198 238.7 0.0516 18.493 0.226 0.309 0.273 2644 1761 11110

200 238.7 0.0497 18.493 0.226 0.309 0.273 2641 1759 11338

202 238.7 0.0479 18.493 0.227 0.309 0.273 2637 1757 11565

204 238.7 0.0462 18.493 0.228 0.309 0.273 2633 1755 11791

206 238.7 0.0445 18.493 0.228 0.309 0.273 2629 1753 12015

208 238.7 0.0429 18.493 0.229 0.309 0.273 2625 1751 12239

210 238.7 0.0414 18.493 0.229 0.309 0.273 2621 1749 12461

212 238.7 0.0399 18.493 0.230 0.309 0.273 2617 1746 12682

214 238.7 0.0384 18.493 0.231 0.309 0.273 2613 1744 12901

216 238.7 0.0371 18.493 0.232 0.309 0.273 2608 1742 13120

218 238.7 0.0357 18.493 0.232 0.309 0.273 2604 1739 13336

220 238.7 0.0344 18.493 0.233 0.309 0.273 2599 1737 13551

222 238.7 0.0332 18.493 0.234 0.309 0.273 2595 1734 13765

224 238.7 0.0320 18.493 0.234 0.309 0.273 2590 1732 13977

226 238.7 0.0308 18.493 0.235 0.309 0.273 2586 1729 14188

228 238.7 0.0297 18.493 0.236 0.309 0.273 2581 1727 14397

230 238.7 0.0287 18.493 0.237 0.309 0.273 2576 1724 14604

232 238.7 0.0276 18.493 0.238 0.309 0.273 2571 1721 14810

234 238.7 0.0266 18.493 0.238 0.309 0.273 2567 1719 15014

236 238.7 0.0257 18.493 0.239 0.309 0.273 2562 1716 15216

238 238.7 0.0247 18.493 0.240 0.309 0.273 2557 1713 15417

240 238.7 0.0238 18.493 0.241 0.309 0.273 2552 1711 15615

242 238.7 0.0230 18.493 0.241 0.309 0.273 2547 1708 15812

244 238.7 0.0222 18.493 0.242 0.309 0.273 2542 1705 16007

246 238.7 0.0214 18.493 0.243 0.309 0.273 2537 1702 16201

248 238.7 0.0206 18.493 0.244 0.309 0.273 2532 1700 16392

250 238.7 0.0198 18.493 0.245 0.309 0.273 2527 1697 16582

252 238.7 0.0191 18.493 0.245 0.309 0.273 2522 1694 16770

254 238.7 0.0184 18.493 0.246 0.309 0.273 2517 1691 16955

256 238.7 0.0178 18.493 0.247 0.309 0.273 2513 1689 17139

258 238.7 0.0171 18.493 0.248 0.309 0.273 2508 1686 17321

260 238.7 0.0165 18.493 0.249 0.309 0.273 2503 1683 17502

262 238.7 0.0159 18.493 0.249 0.309 0.273 2498 1680 17680

264 238.7 0.0153 18.493 0.250 0.309 0.273 2493 1678 17856

266 238.7 0.0148 18.493 0.251 0.309 0.273 2488 1675 18030

268 238.7 0.0143 18.493 0.252 0.309 0.273 2483 1672 18203

270 238.7 0.0137 18.493 0.253 0.309 0.273 2478 1669 18373

272 238.7 0.0132 18.493 0.253 0.309 0.273 2474 1667 18541

274 238.7 0.0128 18.493 0.254 0.309 0.273 2469 1664 18708

276 238.7 0.0123 18.493 0.255 0.309 0.273 2464 1661 18872

278 238.7 0.0119 18.493 0.256 0.309 0.273 2460 1659 19035

280 238.7 0.0114 18.493 0.256 0.309 0.273 2455 1656 19195

282 238.7 0.0110 18.493 0.257 0.309 0.273 2450 1653 19354

284 238.7 0.0106 18.493 0.258 0.309 0.273 2446 1651 19511

286 238.7 0.0102 18.493 0.259 0.309 0.273 2441 1648 19665

288 238.7 0.0099 18.493 0.259 0.309 0.273 2436 1646 19818

**Программа №2**

Program alex;

uses crt;

const si=5.67e-8;

var Jm1, Jm2, ny1, ny3, npart, ipart, itime, irot:integer;

dy1, dy3, n, Dmax, Rmin, H, H1, H2, Ta, Tg, Tm:real;

a, b, c, d, Zmax, Time, dtime, nrot, alf, ew, Eg, Ag, Es:real;

y, dy, dy0, R, T, T0, La, Ro, cp, ftime, P, S:array [1..200] of real;

f1:text;

Procedure Data;

Begin

{Исходные данные}

Dmax:=6.2; {Диаметр печи}

H1:=0.053; {толщина гарнисажного слоя}

H2:=0.265; {Толщина футеровки}

H:=H1+H2;

Tm:=1465+273; {Температура технологического материала}

Tg:=1779+273;

Ta:=25+273; {Температура окружающего воздуха}

alf:=50;

ew:=0.85;

Eg:=0.221;

Ag:=0.309;

Es:=0.273;

nrot:=1.35/60; {1.35 – частота вращения печи}

npart:=16;

dtime:=1/nrot/npart;

end;

Procedure Net;

var s2:real;

j, j2:byte;

Begin

ny1:=66;

Jm1:=67;

dy1:=H1/ny1;

y[1]:=0;

for j:=2 to Jm1 do

begin

y[j]:=y [j-1]+dy1;

dy[j]:=dy1;

end;

j:=0;

s2:=0;

repeat

begin

j:=j+1;

j2:=Jm1+j;

dy[j2]:=dy [j2–1]\*1.1;

s2:=s2+dy[j2];

end;

until Abs (H2-s2)<0.01;

Jm2:=j2;

for j:=Jm1+1 to jm2–1 do y[j]:=y [j-1]+dy[j];

y[Jm2]:=H1+H2;

dy[Jm2]:=y[Jm2] – y [Jm2–1];

Rmin:=Dmax/2-H;

for j:=1 to jm2 do r[j]:=Rmin+y[j];

for j:=2 to Jm2–1 do dy0 [j]:=(dy[j]+dy [j+1])/2;

end;

Procedure Koef;

var j:byte;

begin

for j:=1 to Jm1 do La[j]:=1.2;

for j:=Jm1+1 to Jm2 do La[j]:=0.81+0.00076\*((T [j-1]+T[j])/2–273); {Материал футеровки печи}

end;

Procedure Progon;

var j:byte;

z, zj:real;

begin

for j:=Jm2–1 downto 1 do

begin

z:=T[j];

T[j]:=P[j]\*T [j+1]+s[j];

zj:=1-z/T[j];

if Abs(zj)>Abs(Zmax) then Zmax:=zj;

end;

end;

Procedure Print;

var j:byte;

Begin

writeln(f1);

writeln (f1,'Участок на стенке печи №', ipart);

writeln (f1,'Полное число оборотов печи', irot);

writeln (f1,'j y, mm, T, °C La, Вт/(м\*К)');

for j:=1 to jm2 do

writeln (f1, j:3, y[j]\*1000:12:1, T[j] – 273:12:1, La[j]:12:4);

end;

Procedure Tempra;

var z, dt:real;

j:byte;

Begin

Assign (f1,'Futer.txt');

Rewrite(f1);

Data; Net;

T[1]:=Tg;

for j:=2 to jm2 do T[j]:=Ta;

repeat

n:=n+1;

Zmax:=0;

Koef;

P[1]:=0;

S[1]:=Tm;

for j:=2 to jm2–1 do

begin

b:=La[j]/dy[j]/dy0 [j]\*(R [j-1]+R[j])/R[j]/2;

c:=La [j+1]/dy [j+1]/dy0 [j]\*(R[j]+R [j+1])/R[j]/2;

a:=b+c;

z:=a-b\*P [j-1];

P[j]:=c/z;

S[j]:=b\*s [j-1]/z;

end;

b:=La[jm2]/sqr (dy[jm2])\*(R [jm2–1]+R[jm2])/R[jm2]/2;

if T[jm2]<=Ta then dt:=0

else dt:=exp (0.33\*ln (T[jm2] – Ta));

a:=b+4\*ew\*si\*T[jm2]\*sqr (T[jm2])/dy[jm2]+2.275\*dt/dy[jm2];

d:=ew\*si\*(3\*sqr (T[jm2]\*T[jm2])+sqr (Ta\*Ta))/dy[jm2]+1.71\*(0.33\*T[jm2]+Ta)\*dt/dy[jm2];

T[jm2]:=(b\*s [jm2–1]+d)/(a-b\*P [jm2–1]);

progon;

writeln ('n=', n:4,'Zmax=', Zmax:9:6);

until Abs(Zmax)<0.00001;

Print;

end;

procedure Temp;

var

z, dt:real;

j:byte;

begin

tempra;

for j:=1 to jm1–1 do

begin

Ro[j]:=2200;

Cp[j]:=1000;

end;

for j:=jm1+1 to jm2 do

begin

Ro[j]:=2800;

Cp[j]:=900;

end;

Ro[jm1]:=(Ro [jm1–1]+Ro [jm1+1])/2;

Cp[jm1]:=(Cp [jm1–1]+Cp [jm1+1])/2;

for j:=1 to jm2 do

begin

Ftime[j]:=Ro[j]\*Cp[j]/Dtime;

end;

irot:=0;

itime:=0;

time:=0;

while irot<=1001 do

begin

itime:=itime+1;

irot:=(itime-1) div npart;

ipart:=itime-irot\*npart;

Time:=time+dtime;

for j:=1 to Jm2 do T0 [j]:=t[j];

repeat

n:=n+1;

zmax:=0;

koef;

if ipart<=4 then

begin

P[1]:=0;

S[1]:=Tm;

end

else

begin

c:=La[2]/sqr (dy[2])\*(R[1]+R[2])/R[1]/2;

a:=c+alf/dy[2]+4\*Es\*ew\*si\*T[1]\*sqr (t[1])/dy[2]+ftime[1]/2;

d:=alf/dy[2]\*Tg+Es\*ew\*si\*(Eg/Ag\*sqr (Tg\*Tg)+3\*sqr (T[1]\*T[1]))/dy[2]+ftime[1]\*T0 [1]/2;

P[1]:=c/a;

S[1]:=d/a;

end;

for j:=2 to jm2–1 do

begin

b:=La[j]/dy[j]/dy0 [j]\*(R [j-1]+r[j])/r[j]/2;

c:=La [j+1]/dy [j+1]/dy0 [j]\*(R[j]+r [j+1])/r[j]/2;

a:=b+c+ftime[j];

d:=ftime[j]\*T0 [j];

z:=a-b\*P [j-1];

P[j]:=c/z;

S[j]:=(b\*s [j-1]+d)/z;

end;

b:=La[jm2]/sqr (dy[jm2])\*(R [jm2–1]+r[jm2])/r[jm2]/2;

if T[jm2]<=Ta then dt:=0

else dt:=Exp (0.33\*Ln (T[jm2] – Ta));

a:=b+4\*ew\*si\*T[jm2]\*sqr (T[jm2])/dy[jm2]+2.275\*dt/dy[jm2]+ftime[jm2]/2;

d:=ew\*si\*(3\*sqr (T[jm2]\*T[jm2])+Sqr (Ta\*Ta))/dy[jm2]+1.71\*(0.33\*T[jm2]+Ta)\*dt/dy[jm2]+ftime[jm2]\*t0 [jm2]/2;

T[jm2]:=(b\*S [jm2–1]+d)/(a-b\*P [jm2–1]);

Progon;

Writeln ('Irot=', irot:4,'Zmax=', Zmax:9:6);

Until Abs(Zmax)<0.00001;

if irot=1001 then Print;

end;

close(f1);

end;

Begin

temp;

End.

**Результаты выполнения программы №2**

Участок на стенке печи №0

Полное число оборотов печи 0

j y, mm, T, шC La,‚в/(¬\*Љ)

1 0.0 1465.0 1.2000

2 0.8 1458.5 1.2000

3 1.6 1452.0 1.2000

4 2.4 1445.5 1.2000

5 3.2 1439.0 1.2000

6 4.0 1432.5 1.2000

7 4.8 1426.0 1.2000

8 5.6 1419.5 1.2000

9 6.4 1413.0 1.2000

10 7.2 1406.5 1.2000

11 8.0 1400.0 1.2000

12 8.8 1393.5 1.2000

13 9.6 1387.0 1.2000

14 10.4 1380.5 1.2000

15 11.2 1374.0 1.2000

16 12.0 1367.6 1.2000

17 12.8 1361.1 1.2000

18 13.7 1354.6 1.2000

19 14.5 1348.1 1.2000

20 15.3 1341.6 1.2000

21 16.1 1335.2 1.2000

22 16.9 1328.7 1.2000

23 17.7 1322.2 1.2000

24 18.5 1315.8 1.2000

25 19.3 1309.3 1.2000

26 20.1 1302.8 1.2000

27 20.9 1296.4 1.2000

28 21.7 1289.9 1.2000

29 22.5 1283.4 1.2000

30 23.3 1277.0 1.2000

31 24.1 1270.5 1.2000

32 24.9 1264.1 1.2000

33 25.7 1257.6 1.2000

34 26.5 1251.2 1.2000

35 27.3 1244.7 1.2000

36 28.1 1238.3 1.2000

37 28.9 1231.8 1.2000

38 29.7 1225.4 1.2000

39 30.5 1219.0 1.2000

40 31.3 1212.5 1.2000

41 32.1 1206.1 1.2000

42 32.9 1199.6 1.2000

43 33.7 1193.2 1.2000

44 34.5 1186.8 1.2000

45 35.3 1180.4 1.2000

46 36.1 1173.9 1.2000

47 36.9 1167.5 1.2000

48 37.7 1161.1 1.2000

49 38.5 1154.7 1.2000

50 39.3 1148.2 1.2000

51 40.2 1141.8 1.2000

52 41.0 1135.4 1.2000

53 41.8 1129.0 1.2000

54 42.6 1122.6 1.2000

55 43.4 1116.2 1.2000

56 44.2 1109.8 1.2000

57 45.0 1103.3 1.2000

58 45.8 1096.9 1.2000

59 46.6 1090.5 1.2000

60 47.4 1084.1 1.2000

61 48.2 1077.7 1.2000

62 49.0 1071.3 1.2000

63 49.8 1064.9 1.2000

64 50.6 1058.5 1.2000

65 51.4 1052.2 1.2000

66 52.2 1045.8 1.2000

67 53.0 1039.4 1.2000

68 53.9 1037.1 3.6410

69 54.9 1034.5 3.6390

70 55.9 1031.7 3.6368

71 57.1 1028.6 3.6344

72 58.4 1025.2 3.6318

73 59.8 1021.5 3.6289

74 61.4 1017.4 3.6257

75 63.1 1012.9 3.6222

76 65.0 1007.9 3.6184

77 67.1 1002.4 3.6142

78 69.4 996.4 3.6095

79 71.9 989.7 3.6044

80 74.7 982.4 3.5987

81 77.7 974.4 3.5925

82 81.1 965.6 3.5857

83 84.8 955.8 3.5782

84 88.8 945.1 3.5699

85 93.3 933.3 3.5607

86 98.2 920.3 3.5507

87 103.6 905.9 3.5396

88 109.5 890.2 3.5274

89 116.1 872.8 3.5140

90 123.3 853.6 3.4992

91 131.2 832.5 3.4829

92 139.9 809.2 3.4649

93 149.4 783.5 3.4450

94 160.0 755.1 3.4231

95 171.6 723.9 3.3990

96 184.3 689.3 3.3723

97 198.3 651.2 3.3429

98 213.7 609.0 3.3104

99 230.7 562.3 3.2744

100 249.3 510.7 3.2346

101 269.8 453.5 3.1905

102 292.4 390.0 3.1416

103 318.0 317.3 3.0865

Участок на стенке печи №2

Полное число оборотов печи 1001

j y, mm, T, шC La,‚в/(¬\*Љ)

1 0.0 1465.0 1.2000

2 0.8 1487.8 1.2000

3 1.6 1502.8 1.2000

4 2.4 1509.8 1.2000

5 3.2 1510.7 1.2000

6 4.0 1507.5 1.2000

7 4.8 1501.9 1.2000

8 5.6 1494.9 1.2000

9 6.4 1487.4 1.2000

10 7.2 1479.6 1.2000

11 8.0 1471.8 1.2000

12 8.8 1464.2 1.2000

13 9.6 1456.7 1.2000

14 10.4 1449.3 1.2000

15 11.2 1442.1 1.2000

16 12.0 1435.0 1.2000

17 12.8 1428.0 1.2000

18 13.7 1421.0 1.2000

19 14.5 1414.1 1.2000

20 15.3 1407.2 1.2000

21 16.1 1400.3 1.2000

22 16.9 1393.4 1.2000

23 17.7 1386.6 1.2000

24 18.5 1379.7 1.2000

25 19.3 1372.8 1.2000

26 20.1 1366.0 1.2000

27 20.9 1359.1 1.2000

28 21.7 1352.2 1.2000

29 22.5 1345.3 1.2000

30 23.3 1338.5 1.2000

31 24.1 1331.6 1.2000

32 24.9 1324.7 1.2000

33 25.7 1317.9 1.2000

34 26.5 1311.0 1.2000

35 27.3 1304.2 1.2000

36 28.1 1297.3 1.2000

37 28.9 1290.4 1.2000

38 29.7 1283.6 1.2000

39 30.5 1276.7 1.2000

40 31.3 1269.9 1.2000

41 32.1 1263.0 1.2000

42 32.9 1256.2 1.2000

43 33.7 1249.3 1.2000

44 34.5 1242.5 1.2000

45 35.3 1235.7 1.2000

46 36.1 1228.8 1.2000

47 36.9 1222.0 1.2000

48 37.7 1215.2 1.2000

49 38.5 1208.3 1.2000

50 39.3 1201.5 1.2000

51 40.2 1194.7 1.2000

52 41.0 1187.8 1.2000

53 41.8 1181.0 1.2000

54 42.6 1174.2 1.2000

55 43.4 1167.4 1.2000

56 44.2 1160.6 1.2000

57 45.0 1153.7 1.2000

58 45.8 1146.9 1.2000

59 46.6 1140.1 1.2000

60 47.4 1133.3 1.2000

61 48.2 1126.5 1.2000

62 49.0 1119.7 1.2000

63 49.8 1112.9 1.2000

64 50.6 1106.1 1.2000

65 51.4 1099.3 1.2000

66 52.2 1092.5 1.2000

67 53.0 1085.7 1.2000

68 53.9 1083.3 3.6784

69 54.9 1080.6 3.6764

70 55.9 1077.6 3.6741

71 57.1 1074.4 3.6716

72 58.4 1070.8 3.6688

73 59.8 1066.9 3.6658

74 61.4 1062.6 3.6624

75 63.1 1057.8 3.6587

76 65.0 1052.6 3.6547

77 67.1 1046.8 3.6502

78 69.4 1040.4 3.6453

79 71.9 1033.5 3.6399

80 74.7 1025.8 3.6340

81 77.7 1017.3 3.6275

82 81.1 1008.0 3.6203

83 84.8 997.7 3.6123

84 88.8 986.5 3.6036

85 93.3 974.0 3.5940

86 98.2 960.3 3.5834

87 103.6 945.3 3.5718

88 109.5 928.6 3.5589

89 116.1 910.3 3.5448

90 123.3 890.2 3.5292

91 131.2 867.9 3.5120

92 139.9 843.4 3.4931

93 149.4 816.4 3.4722

94 160.0 786.6 3.4492

95 171.6 753.7 3.4238

96 184.3 717.3 3.3958

97 198.3 677.2 3.3648

98 213.7 632.8 3.3306

99 230.7 583.8 3.2927

100 249.3 529.5 3.2509

101 269.8 469.3 3.2045

102 292.4 402.5 3.1531

103 318.0 326.0 3.0950

Участок на стенке печи №4

Полное число оборотов печи 1001

j y, mm, T, шC La,‚в/(¬\*Љ)

1 0.0 1465.0 1.2000

2 0.8 1476.0 1.2000

3 1.6 1485.3 1.2000

4 2.4 1491.8 1.2000

5 3.2 1495.1 1.2000

6 4.0 1495.4 1.2000

7 4.8 1493.3 1.2000

8 5.6 1489.2 1.2000

9 6.4 1483.9 1.2000

10 7.2 1477.7 1.2000

11 8.0 1470.9 1.2000

12 8.8 1463.9 1.2000

13 9.6 1456.7 1.2000

14 10.4 1449.6 1.2000

15 11.2 1442.4 1.2000

16 12.0 1435.3 1.2000

17 12.8 1428.2 1.2000

18 13.7 1421.2 1.2000

19 14.5 1414.2 1.2000

20 15.3 1407.3 1.2000

21 16.1 1400.4 1.2000

22 16.9 1393.5 1.2000

23 17.7 1386.6 1.2000

24 18.5 1379.7 1.2000

25 19.3 1372.8 1.2000

26 20.1 1366.0 1.2000

27 20.9 1359.1 1.2000

28 21.7 1352.2 1.2000

29 22.5 1345.3 1.2000

30 23.3 1338.5 1.2000

31 24.1 1331.6 1.2000

32 24.9 1324.7 1.2000

33 25.7 1317.9 1.2000

34 26.5 1311.0 1.2000

35 27.3 1304.2 1.2000

36 28.1 1297.3 1.2000

37 28.9 1290.4 1.2000

38 29.7 1283.6 1.2000

39 30.5 1276.7 1.2000

40 31.3 1269.9 1.2000

41 32.1 1263.0 1.2000

42 32.9 1256.2 1.2000

43 33.7 1249.3 1.2000

44 34.5 1242.5 1.2000

45 35.3 1235.7 1.2000

46 36.1 1228.8 1.2000

47 36.9 1222.0 1.2000

48 37.7 1215.2 1.2000

49 38.5 1208.3 1.2000

50 39.3 1201.5 1.2000

51 40.2 1194.7 1.2000

52 41.0 1187.8 1.2000

53 41.8 1181.0 1.2000

54 42.6 1174.2 1.2000

55 43.4 1167.4 1.2000

56 44.2 1160.6 1.2000

57 45.0 1153.7 1.2000

58 45.8 1146.9 1.2000

59 46.6 1140.1 1.2000

60 47.4 1133.3 1.2000

61 48.2 1126.5 1.2000

62 49.0 1119.7 1.2000

63 49.8 1112.9 1.2000

64 50.6 1106.1 1.2000

65 51.4 1099.3 1.2000

66 52.2 1092.5 1.2000

67 53.0 1085.7 1.2000

68 53.9 1083.3 3.6784

69 54.9 1080.6 3.6764

70 55.9 1077.6 3.6741

71 57.1 1074.4 3.6716

72 58.4 1070.8 3.6688

73 59.8 1066.9 3.6658

74 61.4 1062.6 3.6624

75 63.1 1057.8 3.6587

76 65.0 1052.6 3.6547

77 67.1 1046.8 3.6502

78 69.4 1040.4 3.6453

79 71.9 1033.5 3.6399

80 74.7 1025.8 3.6340

81 77.7 1017.3 3.6275

82 81.1 1008.0 3.6203

83 84.8 997.7 3.6123

84 88.8 986.5 3.6036

85 93.3 974.0 3.5940

86 98.2 960.3 3.5834

87 103.6 945.3 3.5718

88 109.5 928.6 3.5589

89 116.1 910.3 3.5448

90 123.3 890.2 3.5292

91 131.2 867.9 3.5120

92 139.9 843.4 3.4931

93 149.4 816.4 3.4722

94 160.0 786.6 3.4492

95 171.6 753.7 3.4238

96 184.3 717.3 3.3958

97 198.3 677.2 3.3648

98 213.7 632.8 3.3306

99 230.7 583.8 3.2927

100 249.3 529.5 3.2509

101 269.8 469.3 3.2045

102 292.4 402.5 3.1531

103 318.0 326.0 3.0950

Участок на стенке печи №6

Полное число оборотов печи 1001

j y, mm, T, шC La,‚в/(¬\*Љ)

1 0.0 1540.5 1.2000

2 0.8 1520.5 1.2000

3 1.6 1508.1 1.2000

4 2.4 1500.8 1.2000

5 3.2 1496.2 1.2000

6 4.0 1492.6 1.2000

7 4.8 1489.1 1.2000

8 5.6 1485.0 1.2000

9 6.4 1480.3 1.2000

10 7.2 1474.9 1.2000

11 8.0 1469.0 1.2000

12 8.8 1462.6 1.2000

13 9.6 1456.0 1.2000

14 10.4 1449.2 1.2000

15 11.2 1442.3 1.2000

16 12.0 1435.3 1.2000

17 12.8 1428.3 1.2000

18 13.7 1421.3 1.2000

19 14.5 1414.3 1.2000

20 15.3 1407.4 1.2000

21 16.1 1400.4 1.2000

22 16.9 1393.5 1.2000

23 17.7 1386.6 1.2000

24 18.5 1379.7 1.2000

25 19.3 1372.8 1.2000

26 20.1 1366.0 1.2000

27 20.9 1359.1 1.2000

28 21.7 1352.2 1.2000

29 22.5 1345.3 1.2000

30 23.3 1338.5 1.2000

31 24.1 1331.6 1.2000

32 24.9 1324.7 1.2000

33 25.7 1317.9 1.2000

34 26.5 1311.0 1.2000

35 27.3 1304.2 1.2000

36 28.1 1297.3 1.2000

37 28.9 1290.4 1.2000

38 29.7 1283.6 1.2000

39 30.5 1276.7 1.2000

40 31.3 1269.9 1.2000

41 32.1 1263.0 1.2000

42 32.9 1256.2 1.2000

43 33.7 1249.3 1.2000

44 34.5 1242.5 1.2000

45 35.3 1235.7 1.2000

46 36.1 1228.8 1.2000

47 36.9 1222.0 1.2000

48 37.7 1215.2 1.2000

49 38.5 1208.3 1.2000

50 39.3 1201.5 1.2000

51 40.2 1194.7 1.2000

52 41.0 1187.8 1.2000

53 41.8 1181.0 1.2000

54 42.6 1174.2 1.2000

55 43.4 1167.4 1.2000

56 44.2 1160.6 1.2000

57 45.0 1153.7 1.2000

58 45.8 1146.9 1.2000

59 46.6 1140.1 1.2000

60 47.4 1133.3 1.2000

61 48.2 1126.5 1.2000

62 49.0 1119.7 1.2000

63 49.8 1112.9 1.2000

64 50.6 1106.1 1.2000

65 51.4 1099.3 1.2000

66 52.2 1092.5 1.2000

67 53.0 1085.7 1.2000

68 53.9 1083.3 3.6784

69 54.9 1080.6 3.6764

70 55.9 1077.6 3.6741

71 57.1 1074.4 3.6716

72 58.4 1070.8 3.6688

73 59.8 1066.9 3.6658

74 61.4 1062.6 3.6624

75 63.1 1057.8 3.6587

76 65.0 1052.6 3.6547

77 67.1 1046.8 3.6502

78 69.4 1040.4 3.6453

79 71.9 1033.5 3.6399

80 74.7 1025.8 3.6340

81 77.7 1017.3 3.6275

82 81.1 1008.0 3.6203

83 84.8 997.8 3.6123

84 88.8 986.5 3.6036

85 93.3 974.0 3.5940

86 98.2 960.3 3.5834

87 103.6 945.3 3.5718

88 109.5 928.6 3.5589

89 116.1 910.3 3.5448

90 123.3 890.2 3.5292

91 131.2 867.9 3.5120

92 139.9 843.4 3.4931

93 149.4 816.4 3.4722

94 160.0 786.6 3.4492

95 171.6 753.7 3.4238

96 184.3 717.3 3.3958

97 198.3 677.2 3.3648

98 213.7 632.8 3.3306

99 230.7 583.8 3.2927

100 249.3 529.5 3.2509

101 269.8 469.3 3.2045

102 292.4 402.5 3.1531

103 318.0 326.0 3.0950

Участок на стенке печи №8

Полное число оборотов печи 1001

j y, mm, T, шC La,‚в/(¬\*Љ)

1 0.0 1558.6 1.2000

2 0.8 1540.2 1.2000

3 1.6 1525.3 1.2000

4 2.4 1513.5 1.2000

5 3.2 1504.3 1.2000

6 4.0 1496.9 1.2000

7 4.8 1490.6 1.2000

8 5.6 1484.9 1.2000

9 6.4 1479.2 1.2000

10 7.2 1473.5 1.2000

11 8.0 1467.6 1.2000

12 8.8 1461.5 1.2000

13 9.6 1455.1 1.2000

14 10.4 1448.5 1.2000

15 11.2 1441.8 1.2000

16 12.0 1435.0 1.2000

17 12.8 1428.1 1.2000

18 13.7 1421.2 1.2000

19 14.5 1414.3 1.2000

20 15.3 1407.4 1.2000

21 16.1 1400.5 1.2000

22 16.9 1393.6 1.2000

23 17.7 1386.7 1.2000

24 18.5 1379.8 1.2000

25 19.3 1372.9 1.2000

26 20.1 1366.0 1.2000

27 20.9 1359.1 1.2000

28 21.7 1352.2 1.2000

29 22.5 1345.3 1.2000

30 23.3 1338.5 1.2000

31 24.1 1331.6 1.2000

32 24.9 1324.7 1.2000

33 25.7 1317.9 1.2000

34 26.5 1311.0 1.2000

35 27.3 1304.2 1.2000

36 28.1 1297.3 1.2000

37 28.9 1290.4 1.2000

38 29.7 1283.6 1.2000

39 30.5 1276.7 1.2000

40 31.3 1269.9 1.2000

41 32.1 1263.0 1.2000

42 32.9 1256.2 1.2000

43 33.7 1249.3 1.2000

44 34.5 1242.5 1.2000

45 35.3 1235.7 1.2000

46 36.1 1228.8 1.2000

47 36.9 1222.0 1.2000

48 37.7 1215.2 1.2000

49 38.5 1208.3 1.2000

50 39.3 1201.5 1.2000

51 40.2 1194.7 1.2000

52 41.0 1187.8 1.2000

53 41.8 1181.0 1.2000

54 42.6 1174.2 1.2000

55 43.4 1167.4 1.2000

56 44.2 1160.6 1.2000

57 45.0 1153.7 1.2000

58 45.8 1146.9 1.2000

59 46.6 1140.1 1.2000

60 47.4 1133.3 1.2000

61 48.2 1126.5 1.2000

62 49.0 1119.7 1.2000

63 49.8 1112.9 1.2000

64 50.6 1106.1 1.2000

65 51.4 1099.3 1.2000

66 52.2 1092.5 1.2000

67 53.0 1085.7 1.2000

68 53.9 1083.3 3.6784

69 54.9 1080.6 3.6764

70 55.9 1077.6 3.6741

71 57.1 1074.4 3.6716

72 58.4 1070.8 3.6688

73 59.8 1066.9 3.6658

74 61.4 1062.6 3.6624

75 63.1 1057.8 3.6587

76 65.0 1052.6 3.6547

77 67.1 1046.8 3.6502

78 69.4 1040.4 3.6453

79 71.9 1033.5 3.6399

80 74.7 1025.8 3.6340

81 77.7 1017.3 3.6275

82 81.1 1008.0 3.6203

83 84.8 997.8 3.6123

84 88.8 986.5 3.6036

85 93.3 974.0 3.5940

86 98.2 960.3 3.5834

87 103.6 945.3 3.5718

88 109.5 928.6 3.5589

89 116.1 910.3 3.5448

90 123.3 890.2 3.5292

91 131.2 867.9 3.5120

92 139.9 843.4 3.4931

93 149.4 816.4 3.4722

94 160.0 786.6 3.4492

95 171.6 753.7 3.4238

96 184.3 717.3 3.3958

97 198.3 677.2 3.3648

98 213.7 632.8 3.3306

99 230.7 583.8 3.2927

100 249.3 529.5 3.2509

101 269.8 469.3 3.2045

102 292.4 402.5 3.1531

103 318.0 326.0 3.0950

Участок на стенке печи №10

Полное число оборотов печи 1001

j y, mm, T, шC La,‚в/(¬\*Љ)

1 0.0 1567.6 1.2000

2 0.8 1550.8 1.2000

3 1.6 1535.9 1.2000

4 2.4 1523.0 1.2000

5 3.2 1512.0 1.2000

6 4.0 1502.6 1.2000

7 4.8 1494.4 1.2000

8 5.6 1487.1 1.2000

9 6.4 1480.2 1.2000

10 7.2 1473.7 1.2000

11 8.0 1467.3 1.2000

12 8.8 1461.0 1.2000

13 9.6 1454.5 1.2000

14 10.4 1448.0 1.2000

15 11.2 1441.4 1.2000

16 12.0 1434.7 1.2000

17 12.8 1427.9 1.2000

18 13.7 1421.1 1.2000

19 14.5 1414.2 1.2000

20 15.3 1407.3 1.2000

21 16.1 1400.5 1.2000

22 16.9 1393.6 1.2000

23 17.7 1386.7 1.2000

24 18.5 1379.8 1.2000

25 19.3 1372.9 1.2000

26 20.1 1366.0 1.2000

27 20.9 1359.1 1.2000

28 21.7 1352.2 1.2000

29 22.5 1345.3 1.2000

30 23.3 1338.5 1.2000

31 24.1 1331.6 1.2000

32 24.9 1324.7 1.2000

33 25.7 1317.9 1.2000

34 26.5 1311.0 1.2000

35 27.3 1304.2 1.2000

36 28.1 1297.3 1.2000

37 28.9 1290.4 1.2000

38 29.7 1283.6 1.2000

39 30.5 1276.7 1.2000

40 31.3 1269.9 1.2000

41 32.1 1263.0 1.2000

42 32.9 1256.2 1.2000

43 33.7 1249.3 1.2000

44 34.5 1242.5 1.2000

45 35.3 1235.7 1.2000

46 36.1 1228.8 1.2000

47 36.9 1222.0 1.2000

48 37.7 1215.2 1.2000

49 38.5 1208.3 1.2000

50 39.3 1201.5 1.2000

51 40.2 1194.7 1.2000

52 41.0 1187.8 1.2000

53 41.8 1181.0 1.2000

54 42.6 1174.2 1.2000

55 43.4 1167.4 1.2000

56 44.2 1160.6 1.2000

57 45.0 1153.7 1.2000

58 45.8 1146.9 1.2000

59 46.6 1140.1 1.2000

60 47.4 1133.3 1.2000

61 48.2 1126.5 1.2000

62 49.0 1119.7 1.2000

63 49.8 1112.9 1.2000

64 50.6 1106.1 1.2000

65 51.4 1099.3 1.2000

66 52.2 1092.5 1.2000

67 53.0 1085.7 1.2000

68 53.9 1083.3 3.6784

69 54.9 1080.6 3.6764

70 55.9 1077.6 3.6741

71 57.1 1074.4 3.6716

72 58.4 1070.8 3.6688

73 59.8 1066.9 3.6658

74 61.4 1062.6 3.6624

75 63.1 1057.8 3.6587

76 65.0 1052.6 3.6547

77 67.1 1046.8 3.6502

78 69.4 1040.4 3.6453

79 71.9 1033.5 3.6399

80 74.7 1025.8 3.6340

81 77.7 1017.3 3.6275

82 81.1 1008.0 3.6203

83 84.8 997.8 3.6123

84 88.8 986.5 3.6036

85 93.3 974.0 3.5940

86 98.2 960.3 3.5834

87 103.6 945.3 3.5718

88 109.5 928.6 3.5589

89 116.1 910.3 3.5448

90 123.3 890.2 3.5292

91 131.2 867.9 3.5120

92 139.9 843.4 3.4931

93 149.4 816.4 3.4722

94 160.0 786.6 3.4492

95 171.6 753.7 3.4238

96 184.3 717.3 3.3958

97 198.3 677.2 3.3648

98 213.7 632.8 3.3306

99 230.7 583.8 3.2927

100 249.3 529.5 3.2509

101 269.8 469.3 3.2045

102 292.4 402.5 3.1531

103 318.0 326.0 3.0950

Участок на стенке печи №12

Полное число оборотов печи 1001

j y, mm, T, шC La,‚в/(¬\*Љ)

1 0.0 1573.2 1.2000

2 0.8 1557.5 1.2000

3 1.6 1543.0 1.2000

4 2.4 1530.0 1.2000

5 3.2 1518.3 1.2000

6 4.0 1507.9 1.2000

7 4.8 1498.5 1.2000

8 5.6 1490.1 1.2000

9 6.4 1482.3 1.2000

10 7.2 1475.0 1.2000

11 8.0 1468.0 1.2000

12 8.8 1461.2 1.2000

13 9.6 1454.5 1.2000

14 10.4 1447.8 1.2000

15 11.2 1441.2 1.2000

16 12.0 1434.5 1.2000

17 12.8 1427.7 1.2000

18 13.7 1420.9 1.2000

19 14.5 1414.1 1.2000

20 15.3 1407.3 1.2000

21 16.1 1400.4 1.2000

22 16.9 1393.5 1.2000

23 17.7 1386.6 1.2000

24 18.5 1379.8 1.2000

25 19.3 1372.9 1.2000

26 20.1 1366.0 1.2000

27 20.9 1359.1 1.2000

28 21.7 1352.2 1.2000

29 22.5 1345.4 1.2000

30 23.3 1338.5 1.2000

31 24.1 1331.6 1.2000

32 24.9 1324.7 1.2000

33 25.7 1317.9 1.2000

34 26.5 1311.0 1.2000

35 27.3 1304.2 1.2000

36 28.1 1297.3 1.2000

37 28.9 1290.4 1.2000

38 29.7 1283.6 1.2000

39 30.5 1276.7 1.2000

40 31.3 1269.9 1.2000

41 32.1 1263.0 1.2000

42 32.9 1256.2 1.2000

43 33.7 1249.3 1.2000

44 34.5 1242.5 1.2000

45 35.3 1235.7 1.2000

46 36.1 1228.8 1.2000

47 36.9 1222.0 1.2000

48 37.7 1215.2 1.2000

49 38.5 1208.3 1.2000

50 39.3 1201.5 1.2000

51 40.2 1194.7 1.2000

52 41.0 1187.8 1.2000

53 41.8 1181.0 1.2000

54 42.6 1174.2 1.2000

55 43.4 1167.4 1.2000

56 44.2 1160.6 1.2000

57 45.0 1153.7 1.2000

58 45.8 1146.9 1.2000

59 46.6 1140.1 1.2000

60 47.4 1133.3 1.2000

61 48.2 1126.5 1.2000

62 49.0 1119.7 1.2000

63 49.8 1112.9 1.2000

64 50.6 1106.1 1.2000

65 51.4 1099.3 1.2000

66 52.2 1092.5 1.2000

67 53.0 1085.7 1.2000

68 53.9 1083.3 3.6784

69 54.9 1080.6 3.6764

70 55.9 1077.6 3.6741

71 57.1 1074.4 3.6716

72 58.4 1070.8 3.6688

73 59.8 1066.9 3.6658

74 61.4 1062.6 3.6624

75 63.1 1057.8 3.6587

76 65.0 1052.6 3.6547

77 67.1 1046.8 3.6502

78 69.4 1040.4 3.6453

79 71.9 1033.5 3.6399

80 74.7 1025.8 3.6340

81 77.7 1017.3 3.6275

82 81.1 1008.0 3.6203

83 84.8 997.8 3.6123

84 88.8 986.5 3.6036

85 93.3 974.0 3.5940

86 98.2 960.3 3.5834

87 103.6 945.3 3.5718

88 109.5 928.6 3.5589

89 116.1 910.3 3.5448

90 123.3 890.2 3.5292

91 131.2 867.9 3.5120

92 139.9 843.4 3.4931

93 149.4 816.4 3.4722

94 160.0 786.6 3.4492

95 171.6 753.7 3.4238

96 184.3 717.3 3.3958

97 198.3 677.2 3.3648

98 213.7 632.8 3.3306

99 230.7 583.8 3.2927

100 249.3 529.5 3.2509

101 269.8 469.3 3.2045

102 292.4 402.5 3.1531

103 318.0 326.0 3.0950

Участок на стенке печи №14

Полное число оборотов печи 1001

j y, mm, T, шC La,‚в/(¬\*Љ)

1 0.0 1577.0 1.2000

2 0.8 1562.1 1.2000

3 1.6 1548.2 1.2000

4 2.4 1535.2 1.2000

5 3.2 1523.3 1.2000

6 4.0 1512.4 1.2000

7 4.8 1502.4 1.2000

8 5.6 1493.3 1.2000

9 6.4 1484.8 1.2000

10 7.2 1476.8 1.2000

11 8.0 1469.3 1.2000

12 8.8 1462.1 1.2000

13 9.6 1455.0 1.2000

14 10.4 1448.1 1.2000

15 11.2 1441.2 1.2000

16 12.0 1434.4 1.2000

17 12.8 1427.6 1.2000

18 13.7 1420.8 1.2000

19 14.5 1414.0 1.2000

20 15.3 1407.2 1.2000

21 16.1 1400.3 1.2000

22 16.9 1393.5 1.2000

23 17.7 1386.6 1.2000

24 18.5 1379.7 1.2000

25 19.3 1372.9 1.2000

26 20.1 1366.0 1.2000

27 20.9 1359.1 1.2000

28 21.7 1352.2 1.2000

29 22.5 1345.4 1.2000

30 23.3 1338.5 1.2000

31 24.1 1331.6 1.2000

32 24.9 1324.7 1.2000

33 25.7 1317.9 1.2000

34 26.5 1311.0 1.2000

35 27.3 1304.2 1.2000

36 28.1 1297.3 1.2000

37 28.9 1290.4 1.2000

38 29.7 1283.6 1.2000

39 30.5 1276.7 1.2000

40 31.3 1269.9 1.2000

41 32.1 1263.0 1.2000

42 32.9 1256.2 1.2000

43 33.7 1249.3 1.2000

44 34.5 1242.5 1.2000

45 35.3 1235.7 1.2000

46 36.1 1228.8 1.2000

47 36.9 1222.0 1.2000

48 37.7 1215.2 1.2000

49 38.5 1208.3 1.2000

50 39.3 1201.5 1.2000

51 40.2 1194.7 1.2000

52 41.0 1187.8 1.2000

53 41.8 1181.0 1.2000

54 42.6 1174.2 1.2000

55 43.4 1167.4 1.2000

56 44.2 1160.6 1.2000

57 45.0 1153.7 1.2000

58 45.8 1146.9 1.2000

59 46.6 1140.1 1.2000

60 47.4 1133.3 1.2000

61 48.2 1126.5 1.2000

62 49.0 1119.7 1.2000

63 49.8 1112.9 1.2000

64 50.6 1106.1 1.2000

65 51.4 1099.3 1.2000

66 52.2 1092.5 1.2000

67 53.0 1085.7 1.2000

68 53.9 1083.3 3.6784

69 54.9 1080.6 3.6764

70 55.9 1077.6 3.6741

71 57.1 1074.4 3.6716

72 58.4 1070.8 3.6688

73 59.8 1066.9 3.6658

74 61.4 1062.6 3.6624

75 63.1 1057.8 3.6587

76 65.0 1052.6 3.6547

77 67.1 1046.8 3.6502

78 69.4 1040.4 3.6453

79 71.9 1033.5 3.6399

80 74.7 1025.8 3.6340

81 77.7 1017.3 3.6275

82 81.1 1008.0 3.6203

83 84.8 997.8 3.6123

84 88.8 986.5 3.6036

85 93.3 974.0 3.5940

86 98.2 960.3 3.5834

87 103.6 945.3 3.5718

88 109.5 928.6 3.5589

89 116.1 910.3 3.5448

90 123.3 890.2 3.5292

91 131.2 867.9 3.5120

92 139.9 843.4 3.4931

93 149.4 816.4 3.4722

94 160.0 786.6 3.4492

95 171.6 753.7 3.4238

96 184.3 717.3 3.3958

97 198.3 677.2 3.3648

98 213.7 632.8 3.3306

99 230.7 583.8 3.2927

100 249.3 529.5 3.2509

101 269.8 469.3 3.2045

102 292.4 402.5 3.1531

103 318.0 326.0 3.0950

Участок на стенке печи №16

Полное число оборотов печи 1001

j y, mm, T, шC La,‚в/(¬\*Љ)

1 0.0 1579.9 1.2000

2 0.8 1565.6 1.2000

3 1.6 1552.1 1.2000

4 2.4 1539.3 1.2000

5 3.2 1527.4 1.2000

6 4.0 1516.2 1.2000

7 4.8 1505.9 1.2000

8 5.6 1496.3 1.2000

9 6.4 1487.3 1.2000

10 7.2 1478.9 1.2000

11 8.0 1470.9 1.2000

12 8.8 1463.2 1.2000

13 9.6 1455.8 1.2000

14 10.4 1448.7 1.2000

15 11.2 1441.6 1.2000

16 12.0 1434.6 1.2000

17 12.8 1427.7 1.2000

18 13.7 1420.9 1.2000

19 14.5 1414.0 1.2000

20 15.3 1407.1 1.2000

21 16.1 1400.3 1.2000

22 16.9 1393.4 1.2000

23 17.7 1386.6 1.2000

24 18.5 1379.7 1.2000

25 19.3 1372.8 1.2000

26 20.1 1366.0 1.2000

27 20.9 1359.1 1.2000

28 21.7 1352.2 1.2000

29 22.5 1345.4 1.2000

30 23.3 1338.5 1.2000

31 24.1 1331.6 1.2000

32 24.9 1324.7 1.2000

33 25.7 1317.9 1.2000

34 26.5 1311.0 1.2000

35 27.3 1304.2 1.2000

36 28.1 1297.3 1.2000

37 28.9 1290.4 1.2000

38 29.7 1283.6 1.2000

39 30.5 1276.7 1.2000

40 31.3 1269.9 1.2000

41 32.1 1263.0 1.2000

42 32.9 1256.2 1.2000

43 33.7 1249.3 1.2000

44 34.5 1242.5 1.2000

45 35.3 1235.7 1.2000

46 36.1 1228.8 1.2000

47 36.9 1222.0 1.2000

48 37.7 1215.2 1.2000

49 38.5 1208.3 1.2000

50 39.3 1201.5 1.2000

51 40.2 1194.7 1.2000

52 41.0 1187.8 1.2000

53 41.8 1181.0 1.2000

54 42.6 1174.2 1.2000

55 43.4 1167.4 1.2000

56 44.2 1160.6 1.2000

57 45.0 1153.7 1.2000

58 45.8 1146.9 1.2000

59 46.6 1140.1 1.2000

60 47.4 1133.3 1.2000

61 48.2 1126.5 1.2000

62 49.0 1119.7 1.2000

63 49.8 1112.9 1.2000

64 50.6 1106.1 1.2000

65 51.4 1099.3 1.2000

66 52.2 1092.5 1.2000

67 53.0 1085.7 1.2000

68 53.9 1083.3 3.6784

69 54.9 1080.6 3.6764

70 55.9 1077.6 3.6741

71 57.1 1074.4 3.6716

72 58.4 1070.8 3.6688

73 59.8 1066.9 3.6658

74 61.4 1062.6 3.6624

75 63.1 1057.8 3.6587

76 65.0 1052.6 3.6547

77 67.1 1046.8 3.6502

78 69.4 1040.5 3.6453

79 71.9 1033.5 3.6399

80 74.7 1025.8 3.6340

81 77.7 1017.3 3.6275

82 81.1 1008.0 3.6203

83 84.8 997.8 3.6123

84 88.8 986.5 3.6036

85 93.3 974.0 3.5940

86 98.2 960.3 3.5834

87 103.6 945.3 3.5718

88 109.5 928.6 3.5589

89 116.1 910.3 3.5448

90 123.3 890.2 3.5292

91 131.2 867.9 3.5120

92 139.9 843.4 3.4931

93 149.4 816.4 3.4722

94 160.0 786.6 3.4492

95 171.6 753.7 3.4238

96 184.3 717.3 3.3958

97 198.3 677.2 3.3648

98 213.7 632.8 3.3306

99 230.7 583.8 3.2927

100 249.3 529.5 3.2509

101 269.8 469.3 3.2045

102 292.4 402.5 3.1531

103 318.0 326.0 3.0950

**Заключение**

В данной курсовой работе была разработана математическая модель тепловой работы вращающейся печи.

Отчет в курсовой работе содержит задание, конструктивную схему печи и описание ее тепловой работы с выделением технических проблем, которые могут быть решены при помощи математического моделирования, математическую формулировку задачи и краткое описание применяемых алгоритмов. Представлены распечатки программ и результатов расчетов на ЭВМ, выполнен научно-технический анализ рассчитанных тепловых режимов печи, сформулирован вывод и инженерные рекомендации.

Каждая программа снабжена комментариями, достаточными для понимания ее содержания. В комментариях указаны названия физических величин и их размерности. Все вычисления выполняются в международной системе единиц.

**Список литературы**

1. Кузнецов В.А. Математическое моделирование тепловой работы цементной вращающейся печи: Учебное пособие. - Белгород: Изд. БелГТАСМ, 1994. – 80 с.
2. Фаронов В.В. Турбо Паскаль 7.0. Начальный курс. Учебное пособие. Издание 7-е, переработанное. – М.: «Нолидж», издатель Молгачева С.В., 2001. – 576 с., ил.