



Челябинский металлургический комбинат

29.03.2021 № 125/3-3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Описание последовательности вычислений системы Разгар горна

СОГЛАСОВАНО:

Директор департамента АСУТП

 К.С.Теличко

«29» 03 2021 г.

Челябинск 2021

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

к Математическому обеспечению описания последовательности вычислений системы Разгар
горна № 125/3-3 от 29.03.2021 г.

СОГЛАСОВАНО:

УВСИТЦУ:

Гл. специалист бюро ДПиУЭ



А.В.Суковичин

РАЗРАБОТАЛ:

Математик



Н.А.Иванов

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ.....	5
2 РАСЧЕТ ГОРНОВОЙ ЧАСТИ.....	6
2.1 $T_{\text{датч.тек.}}$ - текущая температура с датчиков	6
2.2 Проверка входных данных	6
2.3 $T_{\text{датч.нач.}}$ - начальная температура с датчиков.....	6
2.4 $T_{\text{керам}}$ - температура в точке перехода к слою керамического стакана	6
2.5 $C_{\text{нач}}$ - расчет начального коэффициента распределения теплового потока	7
2.6 $T_{\text{нач.2}}$ - начальная температура во второй опорной точке	7
2.7 Численное решение полинома	7
2.8 $T_{\text{тек.2}}$ - текущая температура во второй опорной точке	8
2.9 $C_{\text{тек}}$ - расчет текущего коэффициента распределения теплового потока	8
2.10 $(r,t)_i$ – расчет распределения температур по горизонтали.....	8
3 РАСЧЕТ ЛЕЩАДИ	10
3.1 Расчет вертикалей №1 и №2.....	10
3.1.1 C - расчет коэффициента распределения теплового потока	10
3.1.2 $(h,t)_i$ – расчет распределения температур	10
3.2 Расчет прямоугольной области	11
3.2.1 расчет правой границы сетки (вертикали №3).....	11
3.2.1.1. C_1 - расчет коэффициента распределения теплового потока на поясе №1	11
3.2.1.2. $T_{3.1}$ - температура в нижней боковой точке	11
3.2.1.3. $T_{10_{390,j}}$ – расчет распределения температур вертикали №3.....	12
3.2.1 $T_{10_{1,j}}$ – расчет левой границы сетки (вертикали №2).....	12
3.2.2 $T_{10_{j,276}}$ – расчет верхней границы сетки (пояс №6).....	12
3.2.3 $T_{10_{i,j}}$ – определение теплового распределения методом прогонки	13
4 DX-РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ РАЗГАРА/ГАРНИСАЖА/ОСТАТОЧНОЙ ТОЛЩИНЫ	15
4.1 Расчет экстраполяции данных	15
4.2 Расчет теплопроводности слоев футеровки	15
4.2.1 Керамический слой.....	15
4.2.2 Микропористый слой	16
4.2.3 Муллитовый слой	16
4.2.4 Полуграфитовый слой.....	17

Аннотация

В математическом обеспечении приводятся алгоритмы расчета разгара горна доменной печи №4 и всех, связанных с этим, величин.

1 ВВЕДЕНИЕ

Система "Разгар горна" предназначена для оперативного отслеживания состояния разгара кладки доменной печи №4 в горизонтальных и вертикальных проекциях, состояния датчиков температуры, построения графиков архивных данных.

Доступ к системе находится на сайте <http://10.2.10.23/razgar>.

2 РАСЧЕТ ГОРНОВОЙ ЧАСТИ

2.1 $T_{\text{датч.тек.}}$ - текущая температура с датчиков

Входными данными в систему являются показания температурных датчиков t (в градусах Цельсия), установленных в кладке доменной печи, информация о которых хранится в базе данных ДП4 (с указанием номера пояса, радиуса и сечения). При выборе прошедшей даты, из базы считываются данные усредненные за сутки. При выборе текущей даты и установке ползунка обновления в режим «Включить обновление» данные из базы считываются ежеминутно. Иначе считываются текущие значения, при запросе на расчет, с указанием времени последнего считывания.

В расчете используются 32 луча, но датчики есть не на всех. Температура на лучах без датчиков рассчитывается как среднее от суммы соседних на выбранном поясе и радиусе.

2.2 Проверка входных данных

Входные данные подвергаются проверке по нескольким условиям, в случае несоответствия происходит запись об ошибке в базу данных (параллельно происходит проверка соответствия базе ошибок, если ошибки не было или была ранее, то записывается новая, с сегодняшней датой) и производится замена. Ошибки с текущей датой считаются активными.

Условия возникновения ошибки:

- $t_{\text{датч.}} = t_{\text{датч.нач.}} * 2$;
- $t_{\text{датч.}} = 0$;
- $|t_{\text{датч.сегодня}} - t_{\text{датч.вчера}}| > 100$.

Алгоритм замены:

- 1) Определяем к какой группе относится датчик (с леткой или без);
- 2) В группе датчика ищем валидный датчик $t_{\text{датч.валид}}$;
- 3) Считываем начальные данные для обоих датчиков $t_{\text{датч.нач.}}, t_{\text{датч.валид.нач.}}$;
- 4) Рассчитываем значение датчика для замены ошибочного $t_{\text{датч.}} = \frac{t_{\text{датч.нач.}} * t_{\text{датч.валид.}}}{t_{\text{датч.валид.нач.}}}$;
- 5) Производим замену.

2.3 $T_{\text{датч.нач.}}$ - начальная температура с датчиков

Данный набор температур рассчитан эмпирически и соответствует состоянию печи в момент начала прогара кладки (теоретически соответствует $T_{\text{датч.тек.}}$ через месяц после начала работы печи).

2.4 $T_{\text{керам}}$ - температура в точке перехода к слою керамического стакана

Исходные данные для расчета:

- $t_{\text{датч.нач.}}$ – температура с датчиков начальная, градусов С (пункт 2.3);
- $r_{\text{датч}}$ – расстояние от центра печи до датчика, мм (const);

- $r_{\text{керам}}$ – расстояние от центра печи до точки перехода из слоя керамического стакана в микропористый слой, мм (const);
- r_{1150} – расстояние от центра печи до футеровки печи в начальный момент времени, мм (const);
- $\lambda_{\text{керам}}$ – теплопроводность керамического слоя (пункт 4.2);
- $\lambda_{\text{микропор}}$ – теплопроводность микропористого слоя (пункт 4.2).

Для нахождения $t_{\text{керам}}$ необходимо численно решить следующее уравнение:

$$\frac{\int_{t_{\text{датч.нач.}}}^{t_{\text{керам}}} \lambda_{\text{микропор}}(x) dx}{\ln|r_{\text{керам}}| - \ln|r_{\text{датч}}|} = \frac{\int_{t_{\text{керам}}}^{1150} \lambda_{\text{керам}}(x) dx}{\ln|r_{1150}| - \ln|r_{\text{керам}}|}$$

2.5 $C_{\text{нач}}$ - расчет начального коэффициента распределения теплового потока

Исходные данные для расчета:

- $t_{\text{датч.нач.}}$ – температура с датчиков начальная, градусов С (пункт 2.3);
- $r_{\text{датч}}$ – расстояние от центра печи до датчика, мм (const);
- $r_{\text{керам}}$ – расстояние от центра печи до точки перехода из слоя керамического стакана в микропористый слой, мм (const);
- $\lambda_{\text{микропор}}$ – теплопроводность микропористого слоя (пункт 4.2);
- $t_{\text{керам}}$ – температура в точке перехода к слою керамического стакана, С (пункт 2.4).

$$C_{\text{нач}} = \frac{\int_{t_{\text{датч.нач.}}}^{t_{\text{керам}}} \lambda_{\text{микропор}}(x) dx}{\ln|r_{\text{керам}}| - \ln|r_{\text{датч}}|}$$

2.6 $T_{\text{нач.2}}$ - начальная температура во второй опорной точке

Вторая опорная точка находится на расстоянии 100мм от $r_{\text{датч}}$ по направлению к центру печи.

Исходные данные для расчета:

- $t_{\text{датч.нач.}}$ – температура с датчиков начальная, градусов С (пункт 2.3);
- $r_{\text{датч}}$ – расстояние от центра печи до датчика, мм (const);
- $C_{\text{нач}}$ – начальный коэффициент распределения теплового потока (пункт 2.5);
- $\lambda_{\text{микропор}}$ – теплопроводность микропористого слоя (пункт 4.2).

Для нахождения $t_{\text{нач.2}}$ необходимо численно решить следующее уравнение (пункт 2.7):

$$\int_{t_{\text{датч.нач.}}}^{t_{\text{нач.2}}} \lambda_{\text{микропор}}(x) dx = C_{\text{нач}} * (\ln|r_{\text{датч}} - 100| - \ln|r_{\text{датч}}|)$$

2.7 Численное решение полинома

Решение происходит в несколько этапов:

- 1) Составляем уравнение полинома вида $f(x) = Ax^4 + Bx^3 + Cx^2 + Dx + F = 0$, путем нахождения первообразной от уравнения функции $\lambda_{\text{микропор}}(x)$, с дальнейшим выражением подобных членов;

- 2) Задаем минимум и максимум корней (определяется шкалой датчиков температуры);
- 3) Определяем границы для каждого из корней (с шагом 0.1 рассчитываем значения полинома методом схемы Горнера в точках x_1, x_2 , если произведение значений полинома в этих точках $f(x_1) * f(x_2) < 0$, то значения переменной ограничивают корень);
- 4) Рассчитываем значение второй производной функции в левой границе каждого корня $f''(x_1)$ методом синтетического деления;
- 5) Для каждой левой границы(x_1) проверяем условие $f(x_1) * f''(x_1) > 0$, если оно истинно, то используем метод Ньютона для левой границы(x_1), иначе для правой границы(x_2) – чтобы итерационно приблизиться к значению корня полинома;
- 6) Выбираем максимальный корень.

2.8 $T_{тек.2}$ - текущая температура во второй опорной точке

Исходные данные для расчета:

- $t_{датч.нач.}$ – начальная температура с датчиков, градусов С (пункт 2.3);
- $t_{нач.2}$ – начальная температура во второй опорной точке, градусов С (пункт 2.6);
- $t_{датч.тек.}$ – текущая температура с датчиков, градусов С (пункт 2.1).

$$t_{тек.2} = t_{датч.тек.} * t_{нач.2} / t_{датч.нач.}$$

2.9 $C_{тек}$ - расчет текущего коэффициента распределения теплового потока

Исходные данные для расчета:

- $T_{датч.тек.}$ – температура с датчиков текущая, градусов С (пункт 2.1);
- $r_{датч}$ – расстояние от центра печи до датчика, мм (const);
- $\lambda_{керам}$ – теплопроводность керамического слоя (пункт 4.2);
- $\lambda_{микропор}$ – теплопроводность микропористого слоя (пункт 4.2);
- $T_{тек.2}$ – текущая температура во второй опорной точке, С (пункт 2.8).

В случае 3 и 31 лучей 8,9 поясов расчет проводится по следующей формуле:

$$C_{тек} = \frac{\int_{T_{датч.тек.}}^{T_{тек.2}} \lambda_{керам}(x) dx}{\ln|r_{датч} - 100| - \ln|r_{датч}|}.$$

Иначе:

$$C_{тек} = \frac{\int_{T_{датч.тек.}}^{T_{тек.2}} \lambda_{микропор}(x) dx}{\ln|r_{датч} - 100| - \ln|r_{датч}|}.$$

2.10 $(r, t)_i$ – расчет распределения температур по горизонтали

Исходные данные для расчета:

- $t_0 = T_{датч.тек.}$ – температура с датчиков текущая, градусов С (пункт 2.1);
- $r_0 = r_{датч}$ – расстояние от центра печи до датчика, мм (const);
- $\lambda_{керам}$ – теплопроводность керамического слоя (пункт 4.2);
- $\lambda_{микропор}$ – теплопроводность микропористого слоя (пункт 4.2);

- $C_{\text{тек}}$ - расчет текущего коэффициента распределения теплового потока (пункт 2.9).

Для нахождения распределения температур по горизонтали выполняется цикл с предусловием – пока $t_i < 1151$ выполнять:

$$t_{i+1} = t_i + 1$$

Если $r_i > r_{\text{керам}}$, то:

$$r_{i+1} = \exp \frac{\int_{t_i}^{t_{i+1}} \lambda_{\text{микропор}}(x) dx}{C_{\text{тек}}} * r_i$$

Иначе:

$$r_{i+1} = \exp \frac{\int_{t_i}^{t_{i+1}} \lambda_{\text{керам}}(x) dx}{C_{\text{тек}}} * r_i$$

$$i = i + 1$$

При достижении температур 300, 500, 800, 1150 градусов Цельсия производится запись значений.

3 РАСЧЕТ ЛЕЩАДИ

Расчет лещади логически разбит на две части: расчет вертикалей №1,2, расчет боковой прямоугольной области.

3.1 Расчет вертикалей №1 и №2

Вертикали условно делятся на 3 группы в зависимости от радиуса – расстояния от центра печи до датчиков в лещади (№1 – центр печи, радиус 0мм; №2 – радиус 1668мм; №3 – радиус 5568мм). По вертикали датчики лещади расположены на 1, 3, 4, 5, 6 поясах. Расчет вертикалей №1 и №2 производится аналогично.

3.1.1 C - расчет коэффициента распределения теплового потока

Исходные данные для расчета:

- $T_{\text{датч 1}}$ – температура с датчиков 1 пояса, градусов С (пункт 2.1);
- $T_{\text{датч 2}}$ – температура с датчиков 3 пояса, градусов С (пункт 2.1);
- $h_{\text{датч 1}}$ – высота от основания печи до датчика 1 пояса, мм (const);
- $h_{\text{датч 2}}$ – высота от основания печи до датчика 3 пояса, мм (const);
- $\lambda_{\text{полуграфит}}$ – теплопроводность полуграфитового слоя (4.2).

Коэффициента распределения теплового потока:

$$C = \frac{\int_{T_{\text{датч 1}}}^{T_{\text{датч 2}}} \lambda_{\text{полуграфит}}(x) dx}{h_{\text{датч 2}} - h_{\text{датч 1}}}$$

3.1.2 (h,t)_i – расчет распределения температур

Исходные данные для расчета:

- $t_0 = T_{\text{датч 1}}$ – температура с датчиков текущая, градусов С (пункт 2.1);
- $h_0 = h_{\text{датч 1}}$ – высота от основания печи до датчика 1 пояса, мм (const);
- $\lambda_{\text{полуграфит}}$ – теплопроводность полуграфитового слоя (пункт 4.22.4);
- $\lambda_{\text{микропор}}$ – теплопроводность микропористого слоя (пункт 4.2);
- $\lambda_{\text{муллит}}$ – теплопроводность муллитового слоя (пункт 4.2);
- C – расчет коэффициента распределения теплового потока (пункт 3.1.1).

Для нахождения распределения температур по горизонтали выполняется цикл с предусловием – пока $t_i < 1150.1$ выполнять:

$$t_{i+1} = t_i + 0.1$$

Если $h_i < 2400$, то:

$$h_{i+1} = \frac{\int_{t_i}^{t_{i+1}} \lambda_{\text{полуграфит}}(x) dx}{C} + h_i$$

Иначе, если $h_i < 2950$, то:

$$h_{i+1} = \frac{\int_{t_i}^{t_{i+1}} \lambda_{\text{микропор}}(x) dx}{C} + h_i$$

Иначе:

$$h_{i+1} = \frac{\int_{t_i}^{t_{i+1}} \lambda_{\text{муллит}}(x) dx}{C} + h_i$$

$$i = i + 1$$

При достижении температур 300, 500, 800, 1150 градусов Цельсия производится запись значений.

3.2 Расчет прямоугольной области

Боковая прямоугольная область ограничена вертикалями №2 и №3 по вертикали, а также поясами №1 и №6 по горизонтали. Для ее расчета методом сеточной прогонки необходимо рассчитать распределение температуры по прямоугольной сетке координат с шагом в 10мм.

3.2.1 расчет правой границы сетки (вертикали №3)

Для расчета распределения температур вертикали №3 необходимо найти значение температуры в нижней боковой точке (3 радиус, 1 пояс). Для этого необходимо рассчитать коэффициент распределения теплового потока на поясе №1, а затем выразить температуру в искомой точке.

3.2.1.1. C_1 - расчет коэффициента распределения теплового потока на поясе №1

Исходные данные для расчета:

- $T_{\text{датч 1.1}}$ — температура с датчиков 1 радиуса 1 пояса, градусов С (пункт 2.1);
- $T_{\text{датч 2.1}}$ — температура с датчиков 2 радиуса 1 пояса, градусов С (пункт 2.1);
- $r_{\text{датч 1.1}}$ — расстояние от центра печи до датчика 1 радиуса 1 пояса, мм (const);
- $r_{\text{датч 2.1}}$ — расстояние от центра печи до датчика 2 радиуса 1 пояса, мм (const);
- $\lambda_{\text{полуграфит}}$ — теплопроводность полуграфитового слоя (пункт 4.2).

Коэффициента распределения теплового потока:

$$C_1 = \frac{\int_{T_{\text{датч 1.1}}}^{T_{\text{датч 2.1}}} \lambda_{\text{полуграфит}}(x) dx}{\ln|r_{\text{датч 2.1}}| - \ln|r_{\text{датч 1.1}}|}$$

3.2.1.2. $T_{3.1}$ - температура в нижней боковой точке

Исходные данные для расчета:

- $T_{\text{датч 1.1}}$ — температура с датчиков 1 радиуса 1 пояса, градусов С (пункт 2.1);
- $T_{\text{датч 2.1}}$ — температура с датчиков 2 радиуса 1 пояса, градусов С (пункт 2.1);
- $r_{\text{датч 1.1}}$ — расстояние от центра печи до датчика 1 радиуса 1 пояса, мм (const);
- $r_{\text{датч 2.1}}$ — расстояние от центра печи до датчика 2 радиуса 1 пояса, мм (const);
- $\lambda_{\text{полуграфит}}$ — теплопроводность полуграфитового слоя (пункт 4.2).

Для нахождения $T_{3.1}$ необходимо численно решить следующее уравнение (пункт 2.7):

$$\frac{\int_{T_{\text{датч 1.1}}}^{T_{\text{датч 2.1}}} \lambda_{\text{полуграфит}}(x) dx}{\ln|r_{\text{датч 2.1}}| - \ln|r_{\text{датч 1.1}}|} = \frac{\int_{T_{\text{датч 2.1}}}^{T_{\text{датч 3.1}}} \lambda_{\text{полуграфит}}(x) dx}{\ln|5568| - \ln|r_{\text{датч 2.1}}|}$$

3.2.1.3. $T_{10_{390,j}}$ – расчет распределения температур вертикали №3

Расчет температур производится усреднением, с шагом в 10мм, между опорными точками (значениями температур с датчиков вертикали №3).

Исходные данные для расчета:

- $T_{3.1}$ – температура в точке 3 радиуса 1 пояса, градусов С (пункт 3.2.1.2);
- $T_{\text{датч } 3.3}$ – температура с датчиков 3 радиуса 3 пояса, градусов С (пункт 2.1);
- $T_{\text{датч } 3.3}$ – температура с датчиков 3 радиуса 4 пояса, градусов С (пункт 2.1);
- $T_{\text{датч } 3.4}$ – температура с датчиков 3 радиуса 5 пояса, градусов С (пункт 2.1);
- $T_{\text{датч } 3.5}$ – температура с датчиков 3 радиуса 6 пояса, градусов С (пункт 2.1);
- $h_{10_1} = 1300$ – начальная вертикальная координата сетки координат.

Расчет производится в цикле, для j от 1 до 275:

$$h_{j+1} = h_j + 10$$

Если $j < 166$:

$$T_{10_{3,j}} = (j - 1) * \frac{T_{\text{датч } 3.3} - T_{3.1}}{165} + T_{3.1}$$

Иначе, если $j < 221$:

$$T_{10_{3,j}} = (j - 166) * \frac{T_{\text{датч } 3.4} - T_{\text{датч } 3.3}}{55} + T_{\text{датч } 3.3}$$

Иначе, если $j < 276$:

$$T_{10_{3,j}} = (j - 221) * \frac{T_{\text{датч } 3.5} - T_{\text{датч } 3.4}}{55} + T_{\text{датч } 3.4}$$

3.2.1 $T_{10_{1,j}}$ – расчет левой границы сетки (вертикали №2)

Исходные данные для расчета:

- t_i – рассчитанная температура 2 радиуса, градусов С (пункт 3.1.2);
- h_i – высота относительно основания печи, мм (пункт 3.1.2);
- h_{1150} – высота линии разгара, относительно основания печи, мм (пункт 3.1.2);
- h_{10_j} – вертикальная координата сетки координат (пункт 3.2.1.3).

Если $h_{10_j} = h_i$:

$$T_{10_{2,j}} = t_i$$

Если $h_{10_j} > h_{1150}$, пока $j < 276$:

$$k = j \text{ (1 раз)}$$

$$T_{10_{2,j}} = T_{10_{2,k}} + \frac{1200 - T_{10_{2,k}}}{276 - k} * (j - k)$$

$$j = j + 1$$

3.2.2 $T_{10_{j,276}}$ – расчет верхней границы сетки (пояс №6)

Исходные данные для расчета:

- t_i – рассчитанная температура 6 пояса, градусов С (пункт 2.10);

- r_i – расстояние относительно центра печи, мм (пункт 2.10);
- r_{1150} – расстояние до линии разгара, относительно центра печи, мм (пункт 2.10);
- $r_{10_0} = 1668$ – начальная горизонтальная координата сетки координат.

Расчет r_{10_j} производится в цикле, для j от 1 до 390:

$$r_{j+1} = r_j + 10$$

Расчет $T_{10_{j,276}}$, если $r_{10_j} = r_i$:

$$T_{10_{j,276}} = t_i, m = m + 1$$

Если $r_{10_j} < r_{1150}$, пока $j > 1$:

$$k = j, i = 1 (1 \text{ раз})$$

$$T_{10_{j,276}} = T_{10_{k,276}} + \frac{1200 - T_{10_{k,276}}}{391 - m} * i$$

$$j = j - 1, i = i + 1$$

3.2.3 $T_{10_{i,j}}$ – определение теплового распределения методом прогонки

Исходные данные для расчета:

- $T_{10_{390,j}}$ – распределения температур правой границы, градусов С (пункт 3.2.1.3);
- $\alpha_{r_{1,j}} = 0$ – начальный прогоночный коэффициент;
- $\beta_{r_{1,j}} = T_{10_{1,j}}$ – начальный прогоночный коэффициент;
- $\alpha_{h_{i,1}} = 0$ – начальный прогоночный коэффициент;
- $\beta_{h_{i,1}} = T_{10_{i,1}}$ – прогоночный коэффициент, рассчитывается в цикле горизонтальной прогонки (пункт 3.2.3);
- h_{10_i}, r_{10_j} – координаты двумерной сетки.

Для осуществления прогонки, необходимо в прямом цикле рассчитать прогоночные коэффициенты $A, B, C, \alpha_{r_{i,j}}, \beta_{r_{i,j}}, \alpha_{h_{i,j}}, \beta_{h_{i,j}}$. Затем в обратном цикле рассчитываются $T_{10_{i,j}}$.

Прогонка производится горизонтально и вертикально.

Горизонтальная прогонка.

Для i от 2 до 389:

$$A = 10^{-2} + \frac{1}{20 * r_{10_j}}, B = 2 * 10^{-2}, C = 10^{-2} - \frac{1}{20 * r_{10_j}}$$

$$\alpha_{r_{i,j}} = \frac{A}{B - C * \alpha_{r_{i-1,j}}}$$

$$\beta_{r_{i,j}} = \frac{C * \beta_{r_{i-1,j}}}{B - C * \alpha_{r_{i-1,j}}}$$

Для i от 389 до 1:

$$T_{10_{i,j}} = \alpha_{r_{i,j}} * T_{10_{i+1,j}} + \beta_{r_{i,j}}$$

Вертикальная прогонка.

Для j от 2 до 275:

$$A = 10^{-2}, B = 2 * 10^{-2}, C = 10^{-2}$$

$$\alpha_{h_{i,j}} = \frac{A}{B - C * \alpha_{h_{i-1,j}}}$$

$$\beta_{h_{i,j}} = \frac{C * \beta_{h_{i-1,j}}}{B - C * \alpha_{h_{i-1,j}}}$$

Для i от 389 до 2, j от 275 до 1:

$$T_{10_{i,j}} = \frac{\alpha_{r_{i,j}} * T_{10_{i+1,j}} + \beta_{r_{i,j}} + (\alpha_{h_{i,j}} * T_{10_{i,j+1}} + \beta_{h_{i,j}}) * 0,99}{2}$$

Рассчитанные температуры записываются в базу.

4 dX-РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ РАЗГАРА/ГАРНИСАЖА/ОСТАТОЧНОЙ ТОЛЩИНЫ

Исходные данные для расчета:

- $h_{\text{нач}}$ – начальное расстояние от основания печи до внутренней границы футеровки, мм (const);
- h_{1150} – расстояние от основания печи до линии разгара, мм (пункт 3.1.2, 3.2.3);
- $r_{\text{нач}}$ – начальное расстояние от центра печи до внутренней границы футеровки, мм (const);
- $r_{\text{датч}}$ – расстояние от центра печи до датчика, мм (const);
- r_{1150} – расстояние от центра печи до линии разгара, мм (пункт 2.10).

Расчет для горизонтали, если $dX < 0$, то ее $|dX|$ – это величина разгара, иначе гарнисажа:

$$dX = r_{\text{нач}} - r_{1150}$$

Остаточная толщина определяется по формуле: $r_{\text{датч}} + 100 - r_{1150}$.

Расчет для вертикали, если $dX < 0$, то ее $|dX|$ – это величина гарнисажа, иначе разгара:

$$dX = h_{\text{нач}} - h_{1150}$$

Остаточная толщина определяется h_{1150} .

4.1 Расчет экстраполяции данных

Экстраполяция данных производится следующим образом:

- 1) Определяется среднее значение скорости изменения величины температуры или толщины за промежуток от 01.03.2020 до сегодня;
- 2) Производится расчет с сохранением рассчитанной скорости на выбранный интервал вперед.

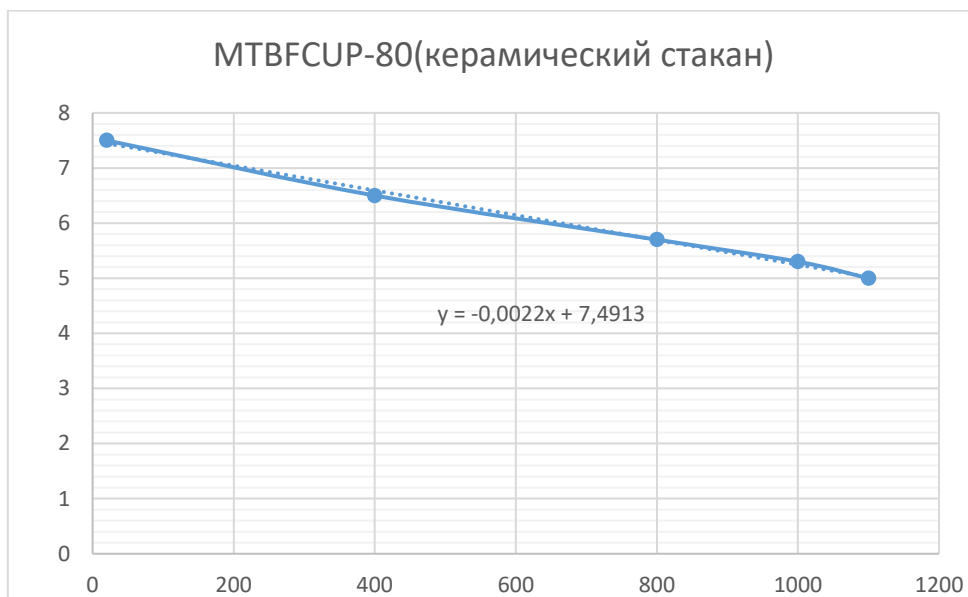
4.2 Расчет теплопроводности слоев футеровки

Уравнения для теплопроводности материалов получены с помощью аппроксимации табличных данных заявленных в «Техническом проекте ДП4 №GS18.233R». Также учитывалась способность футеровки к «регенерации» с помощью гарнисажа, следовательно, изменение ее коэффициента теплопроводности.

4.2.1 Керамический слой

$$\lambda_{\text{керам}} = -0,0022x + 7,4913$$

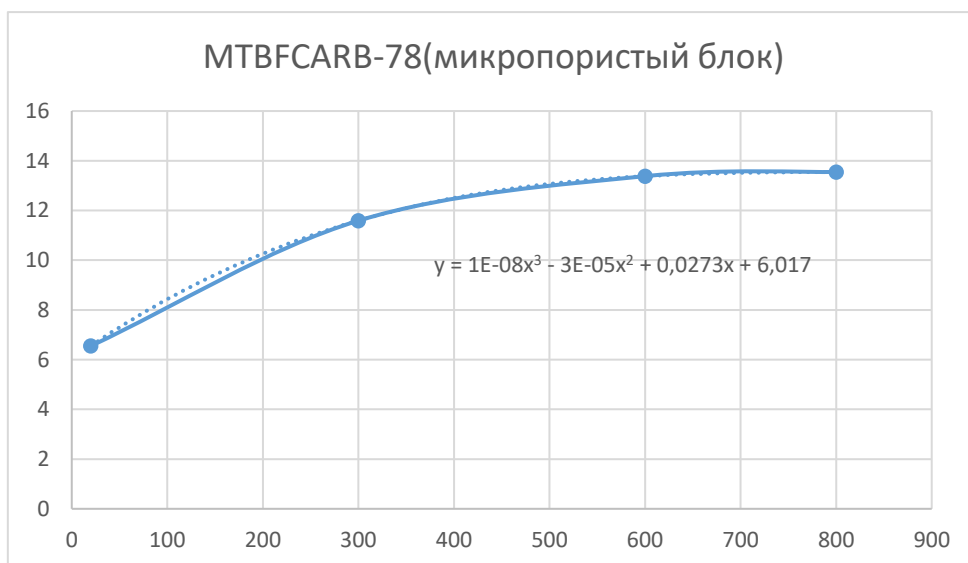
Температура(ОХ)	Теплопроводность(ОУ)
20	7,5
400	6,5
800	5,7
1000	5,3
1100	5



4.2.2 Микропористый слой

$$\lambda_{\text{микропор}} = 10^{-8}x^3 - 3 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0273x + 6,017$$

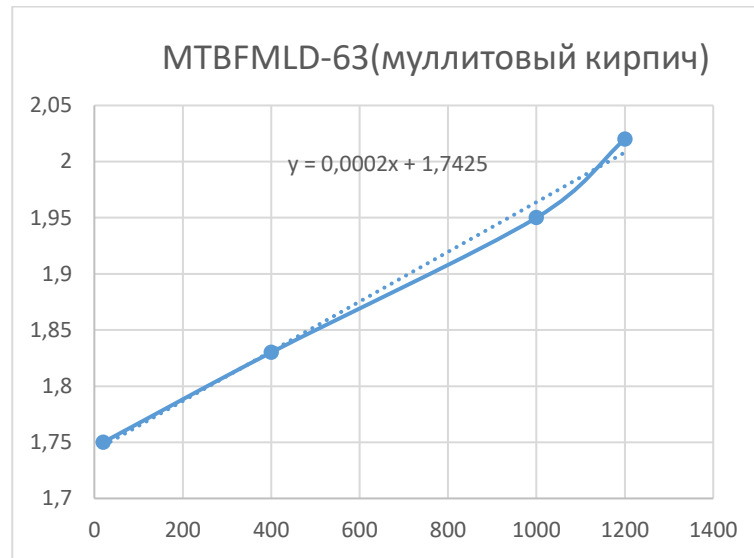
Температура(OX)	Теплопроводность(OY)
20	6,55
300	11,59
600	13,38
800	13,55



4.2.3 Муллитовый слой

$$\lambda_{\text{муллит}} = 0,0002x + 1,7425$$

Температура(OX)	Теплопроводность(OY)
20	1,74
400	1,83
1000	1,95
1200	2,02



4.2.4 Полуграфитовый слой

$$\lambda_{\text{полуграфит}} = -4 * 10^{-9}x^3 - 5 * 10^{-6}x^2 + 0,0141x + 6,3907$$

Температура(ОХ)	Теплопроводность(ОУ)
20	6,67
300	10,07
600	12,24
800	12,53

