|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Челябинский металлургический комбинат**  29.03.2021 № 125/3-3 |  |

**Техническое задание**

**Описание последовательности вычислений системы Разгар горна**

|  |
| --- |
| СОГЛАСОВАНО: |
|  |
| Начальник УВСИТЦУ |
|  |
| \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ К.С.Теличко |
|  |
| «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 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:

Начальник бюро ДПиУЭ А.В.Суковицин

РАЗРАБОТАЛ:

Математик Н.А.Иванов

Оглавление

[1 Введение 5](#_Toc67925176)

[2 Расчет горновой части 6](#_Toc67925177)

[2.1 Tдатч.тек. - текущая температура с датчиков 6](#_Toc67925178)

[2.2 Проверка входных данных 6](#_Toc67925179)

[2.3 Tдатч.нач. - начальная температура с датчиков 6](#_Toc67925180)

[2.4 Tкерам - температура в точке перехода к слою керамического стакана 6](#_Toc67925181)

[2.5 Снач - расчет начального коэффициента распределения теплового потока 7](#_Toc67925182)

[2.6 Tнач.2 - начальная температура во второй опорной точке 7](#_Toc67925183)

[2.7 Численное решение полинома 7](#_Toc67925184)

[2.8 Tтек.2 - текущая температура во второй опорной точке 8](#_Toc67925185)

[2.9 Стек - расчет текущего коэффициента распределения теплового потока 8](#_Toc67925186)

[2.10 (r,t)i – расчет распределения температур по горизонтали 8](#_Toc67925187)

[3 Расчет лещади 10](#_Toc67925188)

[3.1 Расчет вертикалей №1 и №2 10](#_Toc67925189)

[3.1.1 С - расчет коэффициента распределения теплового потока 10](#_Toc67925190)

[3.1.2 (h,t)i – расчет распределения температур 10](#_Toc67925191)

[3.2 Расчет прямоугольной области 11](#_Toc67925192)

[3.2.1 расчет правой границы сетки (вертикали №3) 11](#_Toc67925193)

[3.2.1.1. С1 - расчет коэффициента распределения теплового потока на поясе №1 11](#_Toc67925194)

[3.2.1.2. T3.1 - температура в нижней боковой точке 11](#_Toc67925195)

[3.2.1.3. Т\_10390,j – расчет распределения температур вертикали №3 12](#_Toc67925196)

[3.2.1 Т\_101,j – расчет левой границы сетки (вертикали №2) 12](#_Toc67925197)

[3.2.2 Т\_10j,276 – расчет верхней границы сетки (пояс №6) 12](#_Toc67925198)

[3.2.3 Т\_10i,j – определение теплового распределения методом прогонки 13](#_Toc67925199)

[4 dX-Расчет величины разгара/гарнисажа/остаточной толщины 15](#_Toc67925200)

[4.1 Расчет экстраполяции данных 15](#_Toc67925201)

[4.2 Расчет теплопроводности слоев футеровки 15](#_Toc67925202)

[4.2.1 Керамический слой 15](#_Toc67925203)

[4.2.2 Микропористый слой 16](#_Toc67925204)

[4.2.3 Муллитовый слой 16](#_Toc67925205)

[4.2.4 Полуграфитовый слой 17](#_Toc67925206)

**Аннотация**

В техническом задании приводятся необходимые методики для расчета разгара горна доменной печи, а также требования к связанному с этим, оборудованию.

1. Введение

Система "Разгар горна" предназначена для оперативного отслеживания состояния разгара кладки доменной печи в горизонтальных и вертикальных проекциях, состояния датчиков температуры, построения графиков архивных данных.

1. Требования к датчикам

Входными данными в систему являются показания температурных датчиков t (в градусах Цельсия), установленных в кладке доменной печи, информация с которых должна считываться и хранится в базе данных (с указанием номера пояса, радиуса и сечения).

Можно выделить основные правила размещения термопар:

1. Для сохранения механической прочности кладки датчики должны располагаться между горизонтальными слоями огнеупоров.
2. Азимутальные координаты датчиков оптимально совмещать с азимутальными координатами осей фурменных приборов. Температура по окружности печи распределяется в зависимости от их режима работы, поэтому целесообразно выполнить привязку датчиков к осям дутья.
3. Для расчёта остаточной толщины кладки используются группы датчиков. В каждой группе датчиков уравнение теплопроводности решается независимо от других групп. В соответствии с моделью расчёта разгара футеровки методика расположения датчиков и их группировки различается в лещади, стенках, угловых зонах (на Рисунке 1 представлен общий план распределения датчиков для всех зон). Для того чтобы имелась возможность рассчитать эффективный коэффициент теплопроводности материалов футеровки необходимо три датчика на каждом луче, минимальное количество при условии использования данной методики расчета два датчика.

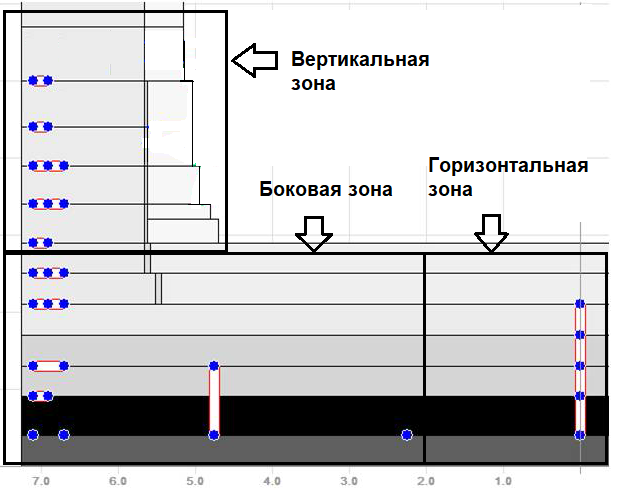


Рисунок 2. Общий план распределения датчиков

1. Расстояние Х между датчиками необходимо выбирать таким образом, чтобы в условиях нормальной эксплуатации печи (до образования разгаров и нагаров) разница температур между ближайшими датчиками была не менее 100 оС. Это позволит снизить влияние погрешности измерения температур термопарами. В расчётных формулах, используются не абсолютные показания термопар, а их разности. Поэтому отношение погрешности измерений к разнице температур между ближайшими термопарами должно быть минимальным. Уменьшить погрешность термопар нельзя, но можно увеличить разницу их показаний.
2. Для лещади и боковых стенок используется одномерное решение задачи теплопроводности. Решение уравнения теплопроводности в каждой расчётной группе даёт одну точку на внутренней поверхности горна. Такие точки должны равномерно располагаться по горну печи, кроме окрестностей лёток и угловой зоны печи, в которых плотность расчётных точек должна быть увеличена. В любом случае расстояние между расчётными точками на внутренней поверхности горна не должно превышать 2 м.
3. Особое внимание следует уделять размещению датчиков в лещади, так как информация о состоянии лещади не может быть получена при анализе температур охлаждающих жидкостей или путём акустической диагностики. Соответственно термопары являются единственным источником информации о её состоянии. Недостаточное количество датчиков в лещади может привести к позднему обнаружению её дефектов.
4. В расчётных группах лещади и боковой стенки датчики располагаются на одной прямой, перпендикулярной внутренней поверхности печи. В группе может быть два или три датчика. Три датчика устанавливаются в местах, наиболее сильно подверженных износу. Два датчика используются в менее рискованных зонах. К наиболее рискованным зонам можно отнеси нижнюю часть стенки горна, так как она наиболее подвержена эрозии по профилю «слоновьей ноги».
5. Для рассматриваемой модели разгара, особую роль играет группа датчиков, расположенная в центре лещади: по мнимой оси вращения печи, производится стыковка профилей разгара по вертикальным сечениям при объединении в трёхмерную поверхность. Если не удастся определить толщину центра лещади – построить модель разгара не удастся. В такую группу должно входить от 6 до 10 датчиков. При коммутации датчиков центральной зоны, для обеспечения надёжности, кабель каждого из датчиков должен выходить в жгутах и газоплотных устройствах различных фурменных сечений таким образом, что бы повреждение одного газоплотного устройство или жгута не влияло на вычисление толщины кладки в центре печи.
6. Расположение датчиков в угловой зоне печи должно обеспечивать определение граничных условий для двумерной расчётной зоны. Вертикальное сечение угловой зоны приведено на Рисунке 2. По мере износа лещади печи границей расчётной зоны могут становиться линии H0, H1 и H2. На этих линиях должны располагаться по три датчика, сгруппированных для расчёта толщины боковой стенки. Определение используемой границы производится в зависимости от толщины кладки, вычисленной вдоль оси V0. Линии H3 и V1 используются для сегментирования прямоугольной расчётной зоны с целью повышения точности вычислений. Для формирования линий Н3 и V1 датчики должны располагаться на линии H3 от V0 до V1 и на линии V1 от Н0 до Н3 на расстоянии не более 0,5 м друг от друга, это обусловлено возможностью эрозии горна по профилю "слоновьей ноги". При формировании линий H4, V2, H3 (от V1 до V2) и V1 (от Н3 до Н4) частое расположение датчиков не требуется, так как в этих зонах эрозия кладки маловероятна и она будет обнаружена на начальных этапах развития за счёт датчиков в расчётной зоне, ограниченной линиями V0, H3, V1 и Н0.



Рисунок 2. Вертикальное сечение угловой зоны горна

1. расчетная модель

Датчики для расчета нумеруются от периферии печи к центру (Рисунок 3). По каждому лучу необходимо рассчитать тепловое распределение и определить координаты точки разгара кладки (Т = 1150 градусов С). Для этого необходимо рассчитать реальную теплопроводность футеровки во время нагрева доменной печи (3 месяца). А затем найти решение уравнения теплопроводности первого и второго порядка (для боковой зоны). Точка разгара может быть, как внутри футеровки (разгар), так и вне (гарнисаж – в этом случае необходимо рассчитать коэффициент теплопроводности шихты доменной печи).

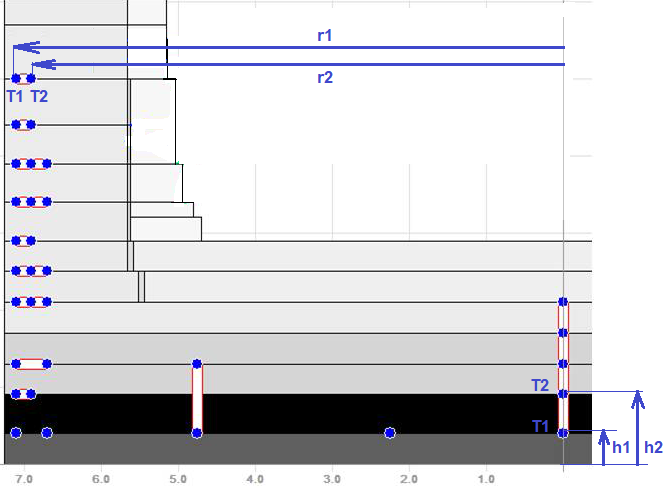


Рисунок 3. Вертикальное сечение горна (расчет)

* 1. Проверка входных данных

Входные данные должны подвергаться проверке по нескольким условиям, в случае несоответствия необходимо делать запись об ошибке в базу и производить замену. Ошибки с текущей датой необходимо выделять яркой индикацией.

Условия возникновения ошибки:

* ;
* ;
* .

Алгоритм замены:

1. Определяем к какой группе относится датчик (с леткой или без);
2. В группе датчика ищем валидный датчик ;
3. Считываем начальные данные для обоих датчиков ;
4. Рассчитываем значение датчика для замены ошибочного ;
5. Производим замену.
   1. Расчет вертикальной группы

Расчет вертикальной группы производится для поясов датчиков, расположенных начиная с верхней границы лещади доменной печи. Для каждого отдельного луча расчет производится отдельно.

* + 1. Расчет эффективного коэффициента теплопроводности

Для проведения расчётов необходимо выполнение следующих условий:

1. В кладке должны быть материалы, которые полностью занимают пространство между крайними датчиками хотя бы одной расчётной группы (на Рисунке 4 материалы Б и В идентичные, а Г и А – любые);
2. для остальных материалов должны найтись расчётные группы, между датчиками которых находится искомый материал и материал, удовлетворяющий пункту 1 или исследованный в паре с материалом, удовлетворяющим пункту 1 (на Рисунке 4 материал Б или В исследованный материал, а Г и А – любые).



Рисунок 4. Расположение датчиков между слоями кладки

Для эффективной теплопроводности различных групп материалов составляется следующая закономерность:

, где

* + 1. Расчет коэффициента распределения теплового потока

Исходные данные для расчета:

* Tдатч 1– температура с датчика 1, градусов С (пункт 2.1);
* Tдатч 2– температура с датчика 2, градусов С (пункт 2.1);
* – расстояние от центра печи до датчика 1, мм (const);
* – расстояние от центра печи до датчика 2, мм (const);
* – теплопроводность слоя футеровки между датчиками (пункт 3.2.1).

В случае трех датчиков на луче коэффициента распределения теплового потока рассчитывается отдельно для 1 и 2, 2 и 3, а затем усредняется:

* + 1. Расчет распределения температур

Исходные данные для расчета:

* – температура с датчиков текущая, градусов С (пункт 2.1);
* – расстояние от центра печи до датчика 1, мм (const);
* – теплопроводность слоя футеровки(пункт 3.2.1);
* - расчет коэффициента распределения теплового потока (пункт 3.1.1).

Для нахождения распределения температур по горизонтали выполняется цикл с предусловием – пока выполнять:

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

* 1. 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.

* + 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.

* + - 1. С1 - расчет коэффициента распределения теплового потока на поясе №1

Исходные данные для расчета:

* Tдатч 1.1– температура с датчиков 1 радиуса 1 пояса, градусов С (пункт 2.1);
* Tдатч 2.1– температура с датчиков 2 радиуса 1 пояса, градусов С (пункт 2.1);
* – расстояние от центра печи до датчика 1 радиуса 1 пояса, мм (const);
* – расстояние от центра печи до датчика 2 радиуса 1 пояса, мм (const);
* – теплопроводность полуграфитового слоя (пункт 4.2).

Коэффициента распределения теплового потока:

* + - 1. T3.1 - температура в нижней боковой точке

Исходные данные для расчета:

* Tдатч 1.1– температура с датчиков 1 радиуса 1 пояса, градусов С (пункт 2.1);
* Tдатч 2.1– температура с датчиков 2 радиуса 1 пояса, градусов С (пункт 2.1);
* – расстояние от центра печи до датчика 1 радиуса 1 пояса, мм (const);
* – расстояние от центра печи до датчика 2 радиуса 1 пояса, мм (const);
* – теплопроводность полуграфитового слоя (пункт 4.2).

Для нахождения необходимо численно решить следующее уравнение (пункт 2.7):

* + - 1. Т\_10390,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 3.2.2);
* Tдатч 3.3– температура с датчиков 3 радиуса 3 пояса, градусов С (пункт 2.1);
* Tдатч 3.3– температура с датчиков 3 радиуса 4 пояса, градусов С (пункт 2.1);
* Tдатч 3.4– температура с датчиков 3 радиуса 5 пояса, градусов С (пункт 2.1);
* Tдатч 3.5– температура с датчиков 3 радиуса 6 пояса, градусов С (пункт 2.1);
* – начальная вертикальная координата сетки координат.

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

Если j<166:

Иначе, если j<221:

Иначе, если j<276:

* + 1. Т\_101,j – расчет левой границы сетки (вертикали №2)

Исходные данные для расчета:

* – рассчитанная температура 2 радиуса, градусов С (пункт 3.1.2);
* – высота относительно основания печи, мм (пункт 3.1.2);
* – высота линии разгара, относительно основания печи, мм (пункт 3.1.2);
* –вертикальная координата сетки координат (пункт 3.2.1.3).

Если :

Если :

* + 1. Т\_10j,276 – расчет верхней границы сетки (пояс №6)

Исходные данные для расчета:

* – рассчитанная температура 6 пояса, градусов С (пункт 2.10);
* – расстояние относительно центра печи, мм (пункт 2.10);
* – расстояние до линии разгара, относительно цетра печи, мм (пункт 2.10);
* – начальная горизонтальная координата сетки координат.

Расчет производится в цикле, для j от 1 до 390:

Расчет если :

Если :

* + 1. Т\_10i,j – определение теплового распределения методом прогонки

Исходные данные для расчета:

* – распределения температур правой границы, градусов С (пункт 3.2.1.3);
* – начальный прогоночный коэффициент;
* – начальный прогоночный коэффициент;
* – начальный прогоночный коэффициент;
* – прогоночный коэффициент, рассчитывается в цикле горизонтальной прогонки (пункт 3.2.3);
* –координаты двумерной сетки.

Для осуществления прогонки, необходимо в прямом цикле рассчитать прогоночные коэффициенты . Затем в обратном цикле рассчитываются . Прогонка производится горизонтально и вертикально.

Горизонтальная прогонка.

Для i от 2 до 389:

Для i от 389 до 1:

Вертикальная прогонка.

Для j от 2 до 275:

Для i от 389 до 2, j от 275 до 1:

Рассчитанные температуры записываются в базу.

1. dX-Расчет величины разгара/гарнисажа/остаточной толщины

Исходные данные для расчета:

* – начальное расстояние от основания печи до внутренней границы футеровки, мм (const);
* – расстояние от основания печи до линии разгара, мм (пункт 3.1.2,3.2.3);
* – начальное расстояние от центра печи до внутренней границы футеровки, мм (const);
* – расстояние от центра печи до датчика, мм (const);
* – расстояние от центра печи до линии разгара, мм (пункт 2.10).

Расчет для горизонтали, если , то ее – это величина разгара, иначе гарнисажа:

Остаточная толщина определяется по формуле: .

Расчет для вертикали, если , то ее – это величина гарнисажа, иначе разгара:

Остаточная толщина определяется .

* 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.
   1. 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» c помощью гарнисажа, следовательно, изменение ее коэффициента теплопроводности.

* + 1. Керамический слой

|  |  |
| --- | --- |
| Температура(OX) | Теплопроводность(OY) |
| 20 | 7,5 |
| 400 | 6,5 |
| 800 | 5,7 |
| 1000 | 5,3 |
| 1100 | 5 |

* + 1. Микропористый слой

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

* + 1. Муллитовый слой

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

* + 1. Полуграфитовый слой

|  |  |
| --- | --- |
| Температура(OX) | Теплопроводность(OY) |
| 20 | 6,67 |
| 300 | 10,07 |
| 600 | 12,24 |
| 800 | 12,53 |