

УДК 669.162.1

Мних Антон Сергійович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електротехніки та енергетичного менеджменту. Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя, Україна. Пр. Леніна, 226, м. Запоріжжя, Україна, 066 184-64-98; mnikh.anton@gmail.com; (<https://orcid.org/0000-0001-5421-9778>).

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ШАРІ БОКСИТОВОГО АГЛОМЕРАТУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СЕГРЕГАЦІЇ ПАЛИВА ТА ХІМКОМПОНЕНТІВ ПО ВИСОТІ

Проведено дослідження полідисперсної агломераційної шихти з метою встановлення хімічного складу окремих фракцій матеріалу. Отримані залежності, які дозволяють встановити кількість теплової енергії, що виділяється та споживається в одиничному об'ємі спікаємої шихти по висоті шару з урахуванням фракційного складу матеріалу.

Ключові слова: сегрегація, шихта, горизонт шару, тепловий режим.

Мных Антон Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електротехники и энергетического менеджмента. Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье, Украина. Пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина. 066 184-64-98; mnikh.anton@gmail.com; (<https://orcid.org/0000-0001-5421-9778>).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В АГЛОМЕРИРУЕМОМ СЛОЕ БОКСИТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЕГРЕГАЦИИ ТОПЛИВА И ХИМКОМПОНЕНТОВ ПО ВЫСОТЕ

Проведено исследование полидисперсной агломерационной шихты с целью определения химического состава отдельных фракций материала. Получены зависимости, позволяющие определить количество выделяемой и поглощаемой тепловой энергии в единичном объеме спекаемой шихты по высоте слоя с учетом фракционного состава материала.

Ключевые слова: сегрегация, шихта, горизонт слоя, тепловой режим.

Mnyh Anton Sergeevich, Cand. Eng. Sci., associate professor. The department of electrical engineering and energy management. Zaporozhye state engineering Academy, Zaporozhye, Ukraine. Lenina 226, Zaporozhye, Ukraine. 066 184-64-98; mnikh.anton@gmail.com; (<https://orcid.org/0000-0001-5421-9778>).

RESEARCH OF THERMAL PROCESSES IN THE LAYER OF BAUXITE AGGLOMERATE DEPENDING ON THE SEGREGATION OF FUEL AND CHEMICAL COMPONENTS BY HEIGHT

On the basis of the data obtained when investigating the chemical composition of the sinter charge in "Zaporizhia Abrasives" (Ukraine) dependences, allowing to determine the amount of released and absorbed thermal energy per unit volume of the sintered bauxite charge in the layer height from the mean diameter of the material particles have been obtained in this work.

The equations allowing to calculate the amount of heat energy released and absorbed in a unit volume of the charge as a result of the combustion of solid fuel particles and carrying exothermic and endothermic reactions in it have been presented.

The obtained results allow to approach closely to the issue of the thermal regime optimizing for the sintering mixture obtained by the author using the model based on the finite elements method, taking into account the internal heat release per unit volume, as well as the determination of the regularities for the polydisperse layer charge formation, in order to rational distribution of fuel and chemical components in agglomerated layer height.

Key words: segregation, charge, horizon layer, thermal regime.

Введение

Процесс агломерации, имеющий своей целью получение окускованного продукта, возник и получил широкое распространение применительно к железным рудам. Однако, на агломерационных машинах, помимо железорудных материалов, спекаются бокситы. Полученный агломерат используется для последующего производства нормального электрокорунда электрическим способом.

Основной целью агломерации бокситов, наряду с окускованием, является удаление гигроскопической и гидратной влаги, разложение карбонатов, удаление летучих и т. д. Работа электрод печей на агломератах позволяет сократить расход электроэнергии и организовать рациональный технологический процесс.

Особую группу сырья, куда входят гидралгилитовые и диаспоровые бокситы, составляют материалы, содержащие значительное количество (до 30–35 %)

гигроскопической и гидратной влаги. Особенность агломерации этих материалов выражается в низкой удельной производительности аглоустановки и высоком, превышающим в 3–4 раза, по сравнению со спеканием железорудной шихты, расходе твердого топлива.

Рост цен на энергоносители, высокий выход мелочи при агломерации бокситов, обуславливают необходимость исследования сегрегационных и теплофизических процессов, протекающих в слое спекаемого агломерата с целью повышения его энергоэффективности.

Анализ исследований и публикаций

Вопросу агломерации бокситов посвящено значительно меньше публикаций [1–3], чем окускованию железорудного сырья. Однако, подходы, направленные на повышение производительности этих процессов, схожи.

Мероприятия, направленные на повышение производительности аглофабрик, работающих на шихте с высоким содержанием концентратов, ориентировались на повышение высоты спекаемого слоя [4–7]. Это позволило, в некоторой степени, снизить расход твердого топлива, однако последнее часто влекло за собой некоторое снижение производительности агломашин при неизменном содержании мелочи в агломерате.

Высокий выход мелочи при грохочении спека, вызван неудовлетворительной подготовкой шихты, нарушениями при ее укладке на паллеты агломашин, что влечет за собой отсутствие либо недостаточную сегрегацию материала по высоте слоя, тем самым обуславливая неравномерность температурного поля по сечению пирога. Полученный в результате недостаток в верхних и переизбыток тепла в нижних горизонтах значительно снижают производительность агломашин по годному.

Исходя из того, что сегрегация классов крупности материала существенным образом влияет на химсостав горизонтов загружаемого материала [8], и как следствие на тепловой режим процесса спекания [9], вопрос прогнозирования физико-химического состава шихты по горизонтам паллеты является актуальным.

Температура зоны горения в каждом элементарном слое зависит от передачи теплоты вышележащими слоями, а так же от тепла выделяющегося при горении частиц твердого топлива и экзо- и эндотермических реакций в единичном объеме спекаемого материала [10].

Определение влияния фракционного и химического состава материала на количество тепловыделения единичного объема горизонта слоя, является важной научной задачей.

Постановка задачи

Целью данной работы является определение сегрегации фракций материала и ее влияние на химсостав горизонтов слоя шихты, подготовленной к спеканию, а так же в установлении количества выделяемой и поглощаемой энергии в единичном объеме слоя в зависимости от крупности частиц шихты.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- исследовать сегрегационные процессы в слое бокситовой шихты, загруженной на паллеты;
- провести анализ химсостава фракций материала;
- методом элементарных тепловых балансов получить зависимость количества выделяемой и поглощаемой энергии единичным объемом материала от среднего диаметра d_{cp} гранулы шихты.

Изложение результатов исследования

В спекательном отделении аглофабрики Запорожского абразивного комбината загрузка шихты ведется барабанным питателем без использования отражательного листа либо загрузочных лотков. Для анализа и совершенствования процесса формирования слоя шихты с заданным распределением физико-химических компонентов проведены экспериментальные исследования по определению фракционного состава горизонтов материала, подготовленного к спеканию.

В результате проведено три серии опытов по отбору проб шихты. Забор проб производился механическим пробоотборником, высотой 300 мм, который устанавливался

под поток загружаемого материала. После заполнения, пробоотборник извлекался, слой делился на участки, высотой 50 мм, которые аккуратно срезались и рассеивались на ситах.

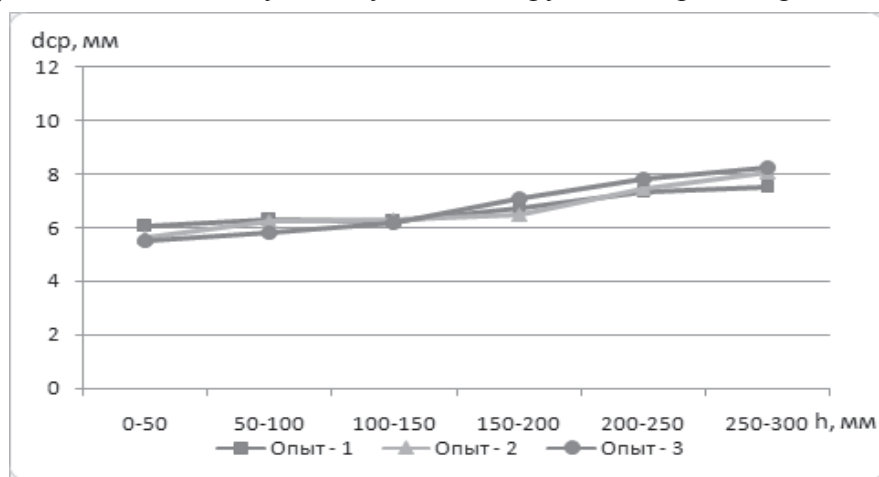
Результаты одного из экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Фракционный состав шихты для условий ЗАК

| Опыт - 2 | | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|----------------------|
| h, мм | Φ (-3) | Φ(3-5) | Φ(5-8) | Φ(8-12) | Φ(+12) | Сумм, % | d _{cp} , мм |
| 0-50 | 28,6 | 22,3 | 24,8 | 13,1 | 11,2 | 100 | 5,643 |
| 50-100 | 24,4 | 19 | 25,7 | 18,1 | 12,8 | 100 | 6,2065 |
| 100-150 | 25,2 | 16,9 | 25,8 | 18,4 | 13,7 | 100 | 6,2835 |
| 150-200 | 21,8 | 17,8 | 26,3 | 21,4 | 12,7 | 100 | 6,476 |
| 200-250 | 12,7 | 15,9 | 27 | 28,3 | 16,1 | 100 | 7,424 |
| 250-300 | 9,2 | 17,5 | 21,1 | 29,2 | 23,5 | 100,5 | 8,026866 |

Изменение d_{cp} шихты для действующих условий загрузки материала представлено на рис. 1.

Рис. 1. Изменение d_{cp} шихты по высоте слоя

Из рис. 1 видно, что используемый узел загрузки в виде барабанного питателя не обеспечивает необходимого [9] разделения классов крупности материала по высоте слоя. Последнее может быть причиной, существующей для данного производства, проблемы неравномерного теплового режима спекания, перегрева колосников и высокого выхода мелочи.

Из-за отсутствия отечественных бокситов с высоким кальциевым модулем для выплавки нормального электрокорунда, применяют импортные бокситы месторождений Греции, Гвинеи, Боснии и Герцеговины, химический состав которых приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав импортных бокситов

| Страна | Месторождение | Массовая доля, % | | | | | | | |
|--------|---------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------|-------|-------------------|------|
| | | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | п.п.п | MSiO ₂ | MCaO |
| Греция | Парнас | 58,1 | 2,9 | 24,25 | 2,55 | 0,3 | 11,9 | 20 | 194 |
| | | 56,9 | 2,8 | 25,3 | 2,9 | 0,27 | 11,8 | 20,3 | 211 |
| | Хеликон | 56,8 | 3,1 | 25,4 | 2,8 | 0,22 | 11,7 | 18,3 | 258 |
| | | 55,7 | 2,4 | 27,8 | 2,6 | 0,18 | 11,3 | 23,2 | 306 |

| | | Продолжение таблицы 1 | | | | | | | |
|----------------------|-----------|-----------------------|------|------|-----|------|------|------|-----|
| Босния и Герцеговина | Крушево | 47,2 | 4,6 | 22,4 | 3,4 | 0,32 | 22,1 | 10,3 | 148 |
| | | 45,1 | 5,1 | 23,9 | 2,9 | 0,29 | 22,7 | 8,8 | 156 |
| | Власеница | 53,8 | 3,7 | 28 | 2,6 | 0,11 | 11,8 | 14,5 | 489 |
| | | 53,1 | 4,5 | 28,5 | 2,5 | 0,08 | 11,3 | 11,8 | 664 |
| Гвинея | Дебеле | 48,5 | 3,15 | 21,8 | 2,9 | 0,05 | 23,1 | 15,4 | 970 |
| | | 47 | 2,55 | 23,3 | 2,8 | 0,05 | 24,3 | 18,4 | 940 |

Топливом для спекания бокситового агломерата в настоящее время является малозольный антрацит, гранулометрический состав которого представлен в табл. 3.

Таблица 3

Гранулометрический состав топлива

| Топливо | d _{cp} , мм | Содержание фракции, % | | | | | |
|----------|----------------------|-----------------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|
| | | 6-5, мм | 5-3,5, мм | 3,5-2, мм | 2-1, мм | 1-0,5, мм | 0,5-0, мм |
| Антрацит | 6 | 5,5 | 23,9 | 23,9 | 16,7 | 10,8 | 19,2 |
| | 5 | — | 25,3 | 25,3 | 17,7 | 11,4 | 20,3 |
| | 3,5 | — | — | 33,8 | 23,7 | 15,3 | 27,2 |

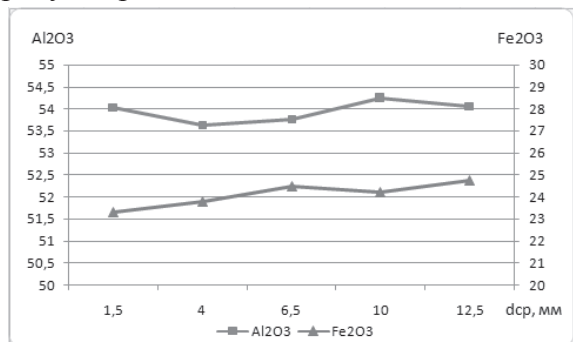
В качестве добавок при производстве бокситового агломерата используются шлифовальные материалы электрокорунда нормального разных номеров зернистости. не имеющих сбыва и выполняющих роль обогатителя. Химический состав обогащающих добавок приведен в табл. 4.

Таблица 4

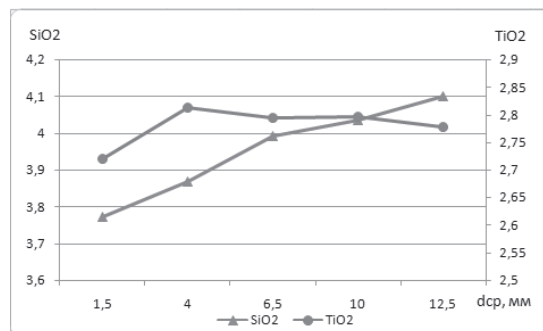
Химический состав шлифзерна в составе добавок

| Материал | Содержание компонента, % | | | | |
|----------|--------------------------------|------------------|---------|--------------------------------|------------------|
| | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ |
| Ш.М. ЭН | 93,5-94,5 | 0,8-1 | 0,6-0,8 | 0,5-1,2 | 2,8-3,2 |

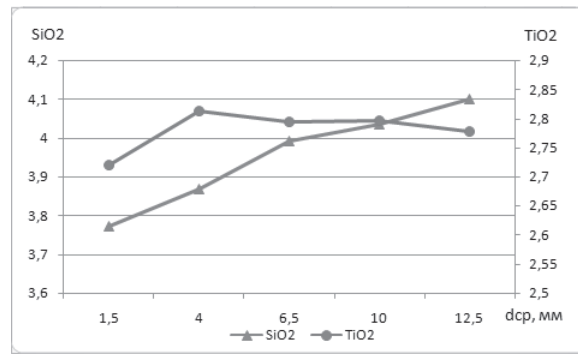
Для анализа распределения твердого топлива и химических компонентов по высоте слоя, совместно со спектральной лабораторией комбината, каждая из фракций материала исследовалась на химсостав. В результате обработки полученных результатов, сделан вывод, что компоненты Al₂O₃ и CaO равномерно распределены во всех фракциях, концентрация Fe₂O₃ и SiO₂ монотонно возрастает по мере увеличения d_{cp}. Содержание TiO₂ имеет минимум при d_{cp}=1,5 мм, а концентрация твердого топлива уменьшается по мере роста d_{cp} гранулы, рис. 2.



а)



б)



в)

Рис. 2. Содержание компонентов шихты в зависимости от d_{cp} :
 а – содержание Al_2O_3, Fe_2O_3 ; б – содержание CaO, C ;
 в – содержание SiO_2, TiO_2

С использованием пакета MathLab получены функциональные зависимости содержания химкомпонентов в различных фракциях бокситовой шихты для условий ЗАК.

Учитывая, что температура зоны горения слоя шихты зависит от распределения топлива и ее компонентов по высоте паллеты, в работе поставлена задача определения количества выделяемой и поглощаемой энергии в единичном, расчетном объеме слоя шихты в зависимости от d_{cp} .

Технологический процесс агломерации бокситов сопровождается непрерывным выделением и поглощением значительных объемов тепловой энергии. Процессы, входящие в состав приходной и расходной частей тепловой энергии, выделяющейся в единичном объеме P спекаемого слоя, представлены на рис. 3.

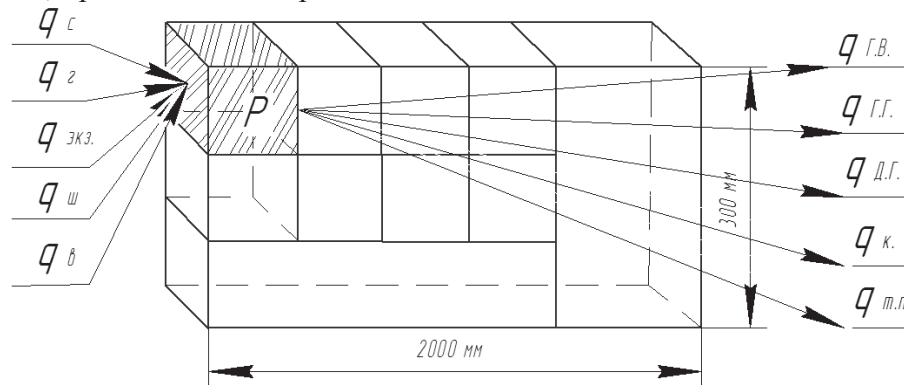


Рис. 3. Единичный расчетный объем агломерационного слоя

Основным источником тепловой энергии выделяемой в единичном объеме, является теплота сгорания твердого топлива. Пользуясь формулой, представленной в [11], определим количество теплоты, выделяющейся в результате горения коксовой мелочи:

$$q_c = V \rho_{ш} (a_{co} c_{ш} q_{co} + a_{co2} c_{ш} q_{co2}) (1 - \varepsilon), \tag{1}$$

где V – объем расчетного элемента, m^3 ;

$\rho_{ш}$ – плотность шихты, kg/m^3 ;

a_{co}, a_{co2} – доля углерода, сгорающего до CO и CO_2 , %;

$c_{ш}$ – концентрация углерода в шихте, %;

q_{co}, q_{co2} – теплота сгорания углерода до CO и CO_2 соответственно 9210 кДж/кг, 32815 кДж/кг; ε – порозность слоя, %.

Тепло, вносимое шихтой, можно определить следующим образом:

$$q_{и} = V \rho_{и} c_{и} t_{и} (1 - \varepsilon) \mathcal{G}, \quad (2)$$

где $c_{и}$ – теплоемкость руды и флюса, кДж/(кг·°C);

$t_{и}$ – температура руды и флюса, °C;

\mathcal{G} – коэффициент аккумуляции тепловой энергии (0,01÷0,5).

Количество тепла, вносимого воздухом, определим из выражения:

$$q_{в} = S_{п} \omega_{в} \tau \varepsilon c_{в} t_{в} \rho_{в}, \quad (3)$$

где $S_{п}$ – площадь единичной поверхности элемента, м²;

$\omega_{в}$ – скорость воздуха, м/с;

τ – время нагрева, с;

$c_{в}$ – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°C); $t_{в}$ – температура воздуха, °C;

$\rho_{в}$ – плотность воздуха, кг/м³.

Теплоту экзотермических реакций образования двухкальциевого силиката и оксида титана в расчетном объеме агломерируемого материала рассчитаем по уравнению:

$$q_{экс} = a_{к.с} \Delta H_{к.с} + a_{о.т.} \Delta H_{о.т.}, \quad (4)$$

где $a_{к.с}$, $a_{о.т.}$ – содержание двухкальциевого силиката и оксида титана, кг;

$\Delta H_{к.с}$, $\Delta H_{о.т.}$ – теплота на разложение двухкальциевого силиката и оксида титана соответственно, кДж/кг.

Для единичных объемов, составляющих верхний горизонт спекаемого материала, необходимо учесть теплоту зажигания горном:

$$q_{з} = \frac{q_{зажиг}}{S_{п}}, \quad (5)$$

где $q_{зажиг}$ – количество теплоты, получаемой слоем при прохождении под зажигательным горном.

К расходным статьям, связанным с поглощением тепла из элементарного объема шихты, отнесем теплоту на испарение гигроскопической влаги:

$$q_{Г.В.} = W c_w (t_{исп} - t_{и}) + W Q_{исп}, \quad (6)$$

где W – количество влаги в шихте, кг;

c_w – теплоемкость воды, кДж/(кг·°C);

$t_{исп}$ – температура испарения воды, °C; $t_{и}$ – температура шихты, °C;

$Q_{исп}$ – теплота испарения воды (2284 кДж/кг).

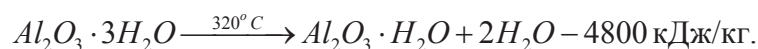
Теплоту на разложение гиббсита, дегитратацию бемита и диаспора, при условии, что соотношение гидралгилитовых и диаспоровых бокситов для условий ЗАК составляет 1:2 соответственно, рассчитаем следующим образом:

$$q_{д.г.} = a_{г} \Delta H_{г} + a_{б.д.} \Delta H_{б.д.}, \quad (7)$$

где $a_{г}$, $a_{б.д.}$ – содержание гиббсита и бемита с диаспором соответственно, кг;

$\Delta H_{г}$, $\Delta H_{б.д.}$ – теплота на разложение гиббсита и бемита с диаспором, кДж/кг.

Дегитратация гиббсита проходит по реакции:



Дегитратация бемита и диаспора:



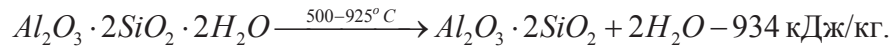
Теплота на разложение гидрогематита:

$$q_{г.г.} = a_{г.г.} \Delta H_{г.г.} \quad (8)$$

В бокситах содержится определенное количество каолинита, разложение которого происходит с поглощением тепловой энергии:

$$q_{к.} = a_{к.} \Delta H_{к.} \quad (9)$$

Разложение проходит по реакции:



Для прибортовых единичных объемов, будут присутствовать тепловые потери теплопроводностью через стенки паллеты агломашины:

$$q_{m.n.} = \frac{S_{II}(t_n - t_g)}{K} \quad (10)$$

где t_n – температура поверхности паллеты, °С.

$$K = a_n + \frac{\lambda_m}{\delta_m}$$

где λ_m – коэффициент теплопроводности металла паллеты, Вт/ м°С;

δ_m – толщина стенки паллеты, м; $\alpha_n = \alpha_k + \alpha_l$.

$$\alpha_k = 0,216 \beta_\phi \text{Re}^{0.6} \lambda_g / S_{II}$$

где α_k – коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/м²°С;

β_ϕ – коэффициент учитывающий угол обдувания паллеты;

Re – критерий Рейнольдса;

λ_g – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м°С.

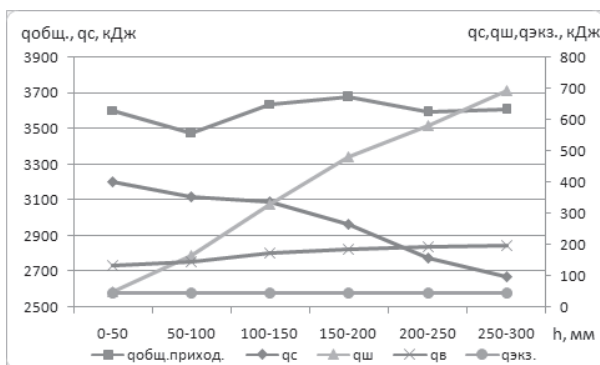
$$\alpha_l = \frac{\varepsilon_n c_0 \left(\frac{t_n + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_g + 273}{100} \right)^4}{(t_n - t_g)}$$

где α_l – коэффициент лучистой теплоотдачи, Вт/м²°С;

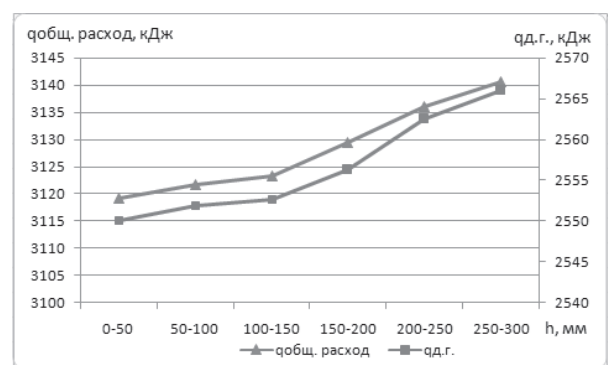
ε_n – степень черноты поверхности паллеты;

c_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м² · К⁴).

Результаты расчетов количества тепла, выделяющегося и поглощаемого в единичном объеме P , за счет горения твердого топлива и химических реакций, протекающих в слое в зависимости от расположения расчетного элемента по высоте паллеты, представлены на рис. 4.



а)



б)

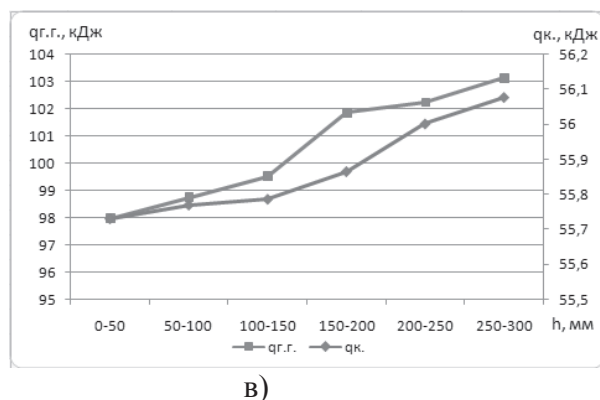


Рис. 4. Количества тепла, выделяющегося и поглощаемого в единичном объеме P :
 а – общий приход тепла, приход тепла от топлива, шихты, воздуха, экзотермических реакций; б – общий расход тепла, расход на дегитратацию;
 в – расход тепла на разложение гидротематита и каолинита

Выводы

В результате проведенных исследований сделан вывод, что используемая на предприятии система загрузки шихты не обеспечивает сегрегацию фракций материала по высоте слоя. Установлено, что размер частицы шихты существенно влияет на содержание топлива в грануле. Таким образом, отсутствие сегрегации материала, подготовленного к спеканию по крупности, не обеспечивает заданное неравномерное распределение топлива по горизонтам слоя, что обуславливает появление дефицита тепла в верхних и переизбыток в нижних слоях при спекании агломерата.

По результатам исследований установлены зависимости содержания топлива и химических компонентов шихты от d_{cp} , позволяющие рассчитать количество выделяемой и поглощаемой тепловой энергии в единичном расчетном объеме спекаемого слоя.

Полученные результаты обуславливают возможность оптимизации теплового режима процесса спекания бокситового агломерата на полученной автором тепловой модели [9], учитывающей внутреннее тепловыделение в единичном объеме, а так же определения условий формирования слоя полидисперсной шихты, с целью достижения рационального распределения твердого топлива по высоте агломерируемого слоя.

Список использованной литературы:

1. Утков В. А. Высокоосновные бокситовые агломераты [Текст]/ В. А. Утков, Б. З. Кудинов, С. В. Иванова и др. // Сталь. – 1966. – № 3. – С. 212–215.
2. Ломака Н. Ф. Производство высокоосновных бокситовых агломератов и использование их в доменной печи [Текст]/ Н. Ф. Ломака, Баев С. А., Бычин А. И. и др. // Сталь. – 1974. – № 9. – С. 40–43.
3. Кашин В. В. Теоретические и технологические основы подготовки шихты и формирования агломератов из железных, хромовых и бокситовых руд. // Диссертация на соискание ученой степени докт. техн. наук. Екатеринбург. 2000. – 300 с.
4. Петрушов С. Н. Формирование слоя шихты на агломашине [Текст]/ С. Н. Петрушов // Курс лекций. – Алчевск: ДонГТУ, 2006. – 187с.
5. Machida Satoshi. Optimization of coke breeze segregation in sintering bed under high pizolite ore ratio/ Satoshi Michida, Takahide Higuchi, Nobuoki Oyama etc.// ISIJ Int. – 2009. – № 5. – P. 667–675.
6. Mashida Satishi. Optimization of coke segregation in sintering bed corresponding to determination in iron ore quality/ Matishi Mashida, Koichi Tamiura, Takahide Higuchi etc.// The 5 International Congress on the Science and Technology of Ironmaking, Shanghai, Oct. 19-23, 2009. – Technical Program Beijing: Chin. Soc. Metals. – 2009. – P. 217–212.
7. Mitra Debanuc. Use of raw petroleum coke in sinter plants/ Mitra Debanuc, Korane Vipul, Ambastha Rabesh etc.// ISIJ Int. – 2009. – № 5. – P. 676–680.
8. Мных А. С., Исследование влияния фракционного состава агломерационной шихты на распределение химических компонентов слоя материала для условий комбината «Запорожсталь». [Текст]/ А. С. Мных, В. Д. Ашихмин // Теория и практика металлургии. – 2014. – № 3–6. – С. 35–38.

9. Мных А. С. Определение оптимального распределения твердого топлива в слое загружаемой шихты для выравнивания теплового режима агломерационного процесса [Текст] / А. С. Мных // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – 2014. – № 6. – С. 47–51.
10. Лисиенко В. Г. Теплофизика металлургических процессов [Текст] / В. Г. Лисиенко, В. И. Лобанов, Б. И. Китаев // Учебник для вузов. – М.:Металлургия, 1982. – 240 с.
11. Мных А. С. Исследование количества тепловыделения в слое агломерационной шихты [Текст] / А. С. Мных // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 6. – С. 31–35.

References:

1. Utkov, V. A. (1966). "Highly basic bauxite agglomerates" ["Visokoosnovnie boxitovie aglomerati"], Stal, No 3, P. 212-215.
2. Lomaka N. F. (1974). "The production of highly basic bauxite agglomerates and their use in blast furnace". [Proizvodstvo visokoosnovnih boxitovih aglomeratov i ih ispol'zovanie v domenih pechah], Stal, No 9, P. 40–43.
3. Kashin V. V. (2000). Theoretical and technological bases of preparation of the charge and the formation of agglomerates of iron, chromium and bauxite ores [Teoreticheskie i tehnologicheskie osnovy podgotovki shihty i formirovaniya aglomeratov iz zheleznyh, hromovyh i boxitovyh rud], Dis. d.t.n., Ekaterinburg, 300 p.
4. Petrushov S. (2006). Forming a layer of charge on the sintering machine. [Formirovanie sloya shihty na aglomashine], DonSTU, Alchevsk, 182 p.
5. Machida Satoshi. (2009), "Optimization of coke breeze segregation in sintering bed under high pizolite ore ratio", ISIJ Int. No. 5. – P. 667–675.
6. Mashida Satishi. (2009), Optimization of coke segregation in sintering bed corresponding to determination in iron ore quality, The 5 International Congress on the Science and Technology of Ironmaking, Shanghai, – Technical Program Beijing: Chin. Soc. Metals. – P. 217–212.
7. Mitra Debanuc. (2009), "Use of raw petroleum coke in sinter plants", ISIJ Int. No. 5. – P. 676–680.
8. Mnyh A. (2014), "Study of the influence of the fractional composition of agglomeration charge on the distribution of chemical components of the material layer for the conditions of the plant "Zaporizhstal" [Issledovanie vliyaniya frakcionnogo sostava aglomeracionoj shihty na raspredelenie himicheskikh komponentov dlya uslovij kombinata "Zaporozstal"], Teoriya i praktika metalurgii, No 3–6, P. 35–38.
9. Mnyh A. (2014), "Determination of the optimal distribution of the solid fuel layer downloadable charge to align the thermal regime of the sintering process". ["Opredelenie optimal'nogo raspredeleniya tverdogo topliva v sloe zagruzjaemoj shihty dlya viravnivaniya teplovogo regima aglomeracionogo procesa"], Tehnicheskaya teplofizika i promishlenaya teploenergetika, No. 6, P. 47–51.
10. Lisenko M. (1982), Thermal metallurgical processes. [Teplofizika metalurgicheskikh procesov], Metalurgiya, Moscow, 240 p.
11. Mnyh A. (2014), "The study of the amount of heat dissipation in the layer sintering mix". ["Issledovanie kolichestva teplovideleniya v sloe aglomeracionnoj shihty"], East-European journal innovate technologies, No 6, P. 31–35.

Поступила в редакцию 25.04 2015 г.