УДК 669.162.1

І.Г. Яковлєва, д-р техн. наук, професор, **А.С. Мних,** канд. техн. наук, доцент
Запорізька державна інженерна академія

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТВЕРДОГО ПАЛИВА У ШАРІ БОКСИТОВОЇ ШИХТИ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ СПІКАННЯ

В роботі проведений аналіз поточного стану питання моделювання агломераційного процесу й представлені результати моделювання спікання бокситової шихти на розробленій автором скінченно - елементній тепловій моделі.

Досліджено час вигоряння частинки твердого палива для умов технологічного процесу, що розглядається. Зроблено розрахунок раціонального розподілу коксової дрібноти, як по висоті, так і по ширині палети агломашини, з урахуванням акумуляції теплоти вищележачими шарами агломерату, тим самим забезпечивши вирівнювання значень максимальної температури зони горіння по висоті спеку.

Проведені дослідження дозволили встановити нерівномірний характер розподілу задаваємої потужності, що виділяється в одиничному об'ємі, як по ширині, так і по висоті пірогу, який має суттєве збільшення у прибортових зонах й поступове зменшення від верхніх к нижнім горизонтам спеку.

Результати моделювання дозволили зробити висновок, щодо можливості зниження вмісту палива в шихті при умові дотримання необхідної концентрації коксової дрібноти по горизонтам, що можливо при підсиленні сегрегації класів крупності матеріалу, що завантажується по висоті шару.

Ключові слова: сегрегація, імітаційна модель, метод скінчених елементів, тепловий режим, горизонт шару, шихта.

Вступ

На даний час всі агломераційні фабрики стикаються з проблемою постійного подорожчання енергоресурсів на фоні необхідності зниження або збереження на поточному рівні собівартості виробленої продукції. Це стосується і процесу агломерації бокситів, де основним енергоносієм виступає коксовий дріб'язок, скорочення обсягів споживання якого є вкрай актуальним питанням, з урахуванням збереження якості агломерату за фізико-хімічними показниками.

Для підвищення енергоефективності агломераційного процесу необхідні подальші дослідження питань завантаження матеріалу, розподілу хімкомпонентів і палива по висоті шару, а також теплових процесів, що протікають в шарі бокситової шихти, що спікається.

При дослідженні процесів, що протікають в ході здійснення даних операцій, широко використовується математичне моделювання, проте далеко не всі відомі моделі є достатньо точними, адекватними і зручними для проведення досліджень, спрямованих на оптимізацію теплового режиму розглянутого процесу.

Таким чином, розробка адекватної теплової моделі процесу агломерації бокситів для розв'язання завдань оптимізації режиму спікання, є актуальною науковою і практичною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням дослідження та моделювання теплових процесів в агломераційному виробництві присвячені роботи Є. Ф. Вегмана [1], А. А. Сігова [2] та ін., в яких при розробці моделі використовувався метод елементарних теплових балансів.

Застосування даного методу передбачає складання для кожного елементарного шару системи рівнянь з подальшим їх розв'язанням, однак тенденція до збільшення висоти матеріалу, що спікається обумовлює наявність великої кількості елементарних шарів, що призводить до необхідності розв'язання десятків систем рівнянь, тим самим ускладнюючи практичне застосування методу елементарних теплових балансів.

В роботі [3] представлений розгорнутий аналіз сучасних підходів до моделювання, що базуються на застосуванні спеціального програмного забезпечення для реалізації числових та імітаційних моделей агломераційного процесу.

Так в [4], математична модель являє собою залежність $Y = f(\mathrm{U},\mathrm{V},\mathrm{Z})$: U – вектор керуючих впливів; V – вектор контрольованих збурень; Z – вектор неконтрольованих збурень; Y – вихідний вектор об'єкта. Вид даної функції при описі процесу спікання залежить від часу і має суттєві обмеження

© І.Г. Яковлєва, А.С. Мних, 2015

на змінні. При описі функціонування системи зі складною внутрішньою структурою, аналітичний опис, запропонований Цапліним А.І., стає практично неможливим при забезпеченні достатньої точності моделі.

Модель, запропонована Калашниковим С. Н. [5], базується на методах формально-математичного опису фізико-хімічних явищ і реалізації обчислювального експерименту. Автором вказана необхідність створення гнучких і універсальних технологій математичного моделювання, що дозволяють вирішувати різні наукові та практичні завдання.

В роботі [6] представлена комплексна математична модель, що відповідає вимогам адекватності реальних теплофізичних та фізико-хімічних процесів, що протікають в шарі при випалюванні залізорудних окатишів. Розроблена модель розглядає випалювальний агрегат в цілому і зачіпає лише деякі особливості процесу спікання. Використання даної моделі доцільно лише для розв'язання технологічних задач.

Математичні моделі в роботах [7,8] побудовані за блоковим принципом. Всі розглянуті процеси згруповані в підсистеми і базуються на методах статичної термодинаміки. Запропонована структурна схема процесу спікання побудована на основі загальної схеми технологічного об'єкта дослідження і є найбільш повною з усіх існуючих. Наведена блокова схема моделі не дозволяє поєднати результати розрахунків підмоделей, тим самим ускладнюючи перевірку її адекватності.

Варто додати, що до істотного недоліку наведених моделей відноситься відсутність аналізу сегрегаційних процесів, що протікають в завантаженому матеріалі, що обумовлює закономірність розподілу палива та хімкомпонентів по висоті шару шихти.

У роботах [9, 10] представлена модель, що базується на методі скінчених елементів, що дозволяє визначити раціональний розподіл компонентів шихти та твердого палива по висоті і ширині палети агломашини, тим самим, стабілізувати тепловий режим процесу спікання залізорудної шихти. Наведена модель перевірена на адекватність, помилка моделювання не перевищує 12,6%, та досить просто може бути модифікована для умов спікання на аглоленті з іншими технічними характеристиками та технологічними особливостями.

Мета роботи і постановка задачі

Метою даної роботи є проведення досліджень з моделювання теплового режиму процесу агломерації бокситової шихти з ціллю визначення раціонального розподілу твердого палива, що обумовлює стабілізацію температури зони горіння по висоті шару.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- модифікувати розроблену автором [10] модель процесу спікання агломераційної шихти для умов спікання бокситів;
- отримати математичні залежності коефіцієнтів теплопровідності і теплоємності бокситової шихти;
- провести моделювання процесу спікання з метою визначення умов, які забезпечують сталість максимальної температури зони горіння;
- визначити раціональний, для даного процесу, розподіл твердого палива по висоті шару.

Результати дослідження

Математичну модель теплового режиму процесу спікання бокситової шихти, реалізуємо на базі, раніше отриманої автором, перевіреної на адекватність [11] моделі, заснованої на методі скінчених елементів (МСЕ).

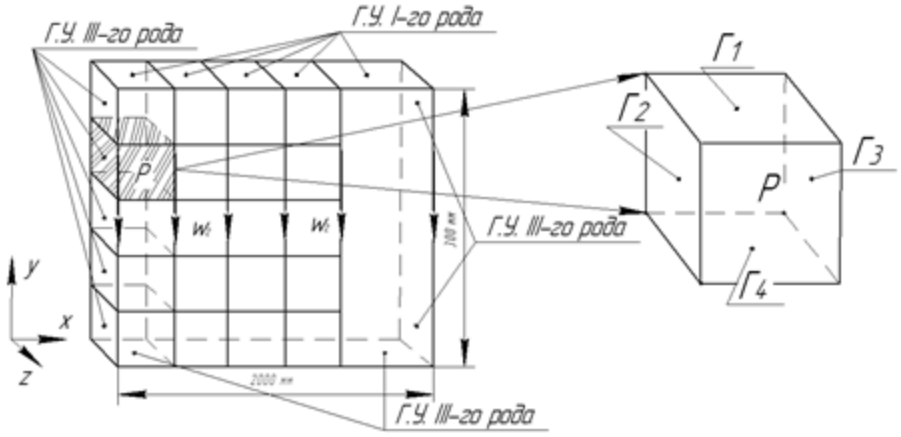

Рисунок 1 – Розрахункова схема шару шихти підготовленої до термічної обробки

Для побудови розрахункової області з урахуванням граничних умов використовуємо схему, представлену в [10], рис. 1. Таким чином, маємо вертикальний зріз шару бокситової шихти, підготовленої до спікання 2000х300х100 мм, який, в свою чергу, розбитий на одиничні об'єми [9].

Спеціалізоване програмне забезпечення ANSYS (Mechanical APDL), що використовується для моделювання процесу, яке базується на методі МСЕ, розіб'є кожен з вищевказаних одиничних об'ємів на скінченні елементи (СЕ). Для розв'язання об'ємної теплової задачі використаний вісьмивузловий тривимірний скінченний елемент, що має однин ступінь свободи - температура (TEMP). Це дозволяє СЕ приймати навантаження у вигляді теплового потоку. Рішенням задачі є безліч вузлових даних, що складаються з температури по всьому об'єму досліджуваного шару.

Таким чином, при використанні зазначеного СЕ в розрахунковій області побудована сітка з 428 тисяч СЕ тетраедральної форми, рис. 2.

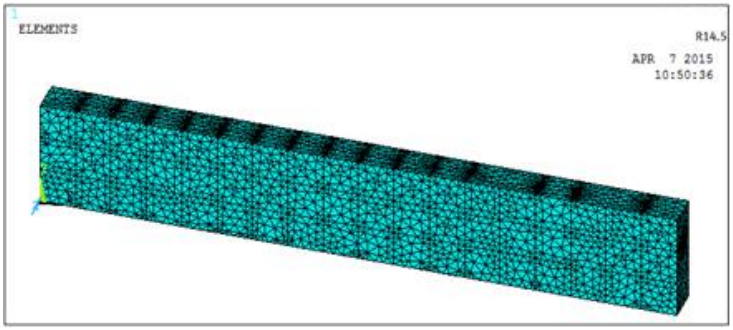

Рисунок 2 – Розрахункова область моделі з скінчено-елементною сіткою.

Для здійснення розрахунків вказані властивості матеріалу, такі як щільність, коефіцієнт теплопровідності, теплоємність і т.п. Щільність бокситів, залежно від марки коливається в діапазоні 1200-1600 кг/м³ [12].

Коефіцієнт лінійного температурного розширення бокситів в інтервалі температур 0-1200°С становить $1{,}0\times10^{-5},\text{К}^{-1}$. Середня теплоємність бокситу в інтервалі температур 20-1000°С може бути розрахована за наступною формулою [12]:

$$c_p\left(T\right)=0{,}85+0{,}000285T-0{,}00000212T^{-2},\ \text{кДж/(кг·К)}.$$

Коефіцієнт теплопровідності бокситу в великій мірі залежить від його щільності і вологості та в діапазоні температур 278-288 К може бути обчислений за формулою [12]:

$$\lambda\left(T\right)=aW^2+b,\ \text{Вт/(м·К)};$$

де W - вологість бокситу,%; значення коефіцієнтів a,b представлені в табл. 1.

Таблиця 1 - Значення коефіцієнтів для розрахунку коефіцієнту теплопровідності

Щільність, кг/м³	1200	1300	1400	1500	1579
a, Вт/м·К	0,0007	0,001	0,0015	0,00263	0,0037
b, Вт/м·К	0,26	0,3	0,34	0,39	0,45

Граничні умови, що накладаються на розрахункову область моделі являють собою Г.У. I-го та III-го роду [9].

$$\rho\left(T\right)c\left(T\right)\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\left(T\right)\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda\left(T\right)\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda\left(T\right)\frac{\partial T}{\partial z}\right)+q\left(x,y,z\right),\quad(1)$$

Н.У.: $t_0=0;\ T_i\left(x,y,z\right)=T_0,$

Г.У.: $y=y_0;\ T_i\left|_{\Gamma1}=T_{запал},\ t>0,\right.$

$$x=x_0;\ -\lambda\left(T\right)\frac{\partial T}{\partial x}\left|_{\Gamma2}=k_1\left(T\left(x,y,z\right)-T_{o.c.}\right),\ t>0,\right.$$

$$x=x_n;\ -\lambda\left(T\right)\frac{\partial T}{\partial x}\left|_{\Gamma3}=k_2\left(T\left(x,y,z\right)-T_{o.c.}\right),\ t>0,\right.$$

$$y = y_n;\ -\lambda(\mathrm{T})\frac{\partial T}{\partial y}|_{\Gamma 4} = k_3\left(T\ (x,y,z) - T_{o.c.}\right),\ t > 0,$$

$$z_0 = z_n = 1.$$

де T_i - температура в скінченному об'ємі, ºС; $T_{o.c.}$ - температура навколишнього середовища, ºС; $T_{запал}$ – температура запалювання, ºС; k - коефіцієнт тепловіддачи, Вт/(м² ºС); λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м ºС); ρ - щільність матеріалу, кг/м³; c – питома теплоємність Дж/(кг ºС); q - потужність внутрішніх джерел Вт/м³; t – час, с.

Потужність внутрішніх джерел енергії, що обумовлює згоряння частинок твердого палива та хімічних процесів в шарі шихти, що спікається вибирали методом підбору (проб), з метою забезпечення сталості максимальної температури зони горіння, на основі досліджень проведених у [13], та розрахованою за формулою:

$$q = \frac{Qm\varepsilon}{V\rho\Delta t};$$

де: Q - теплота, що виділяється в одиничному елементі, встановлюється з теплового балансу, кДж; m - маса одиничного елементу, кг; V - об'єм одиничного елементу, м³; ρ - щільність матеріалу, кг/м³; Δt - час спікання, с.

Результати моделювання теплового режиму спікання бокситової шихти представлено на рис. 3.

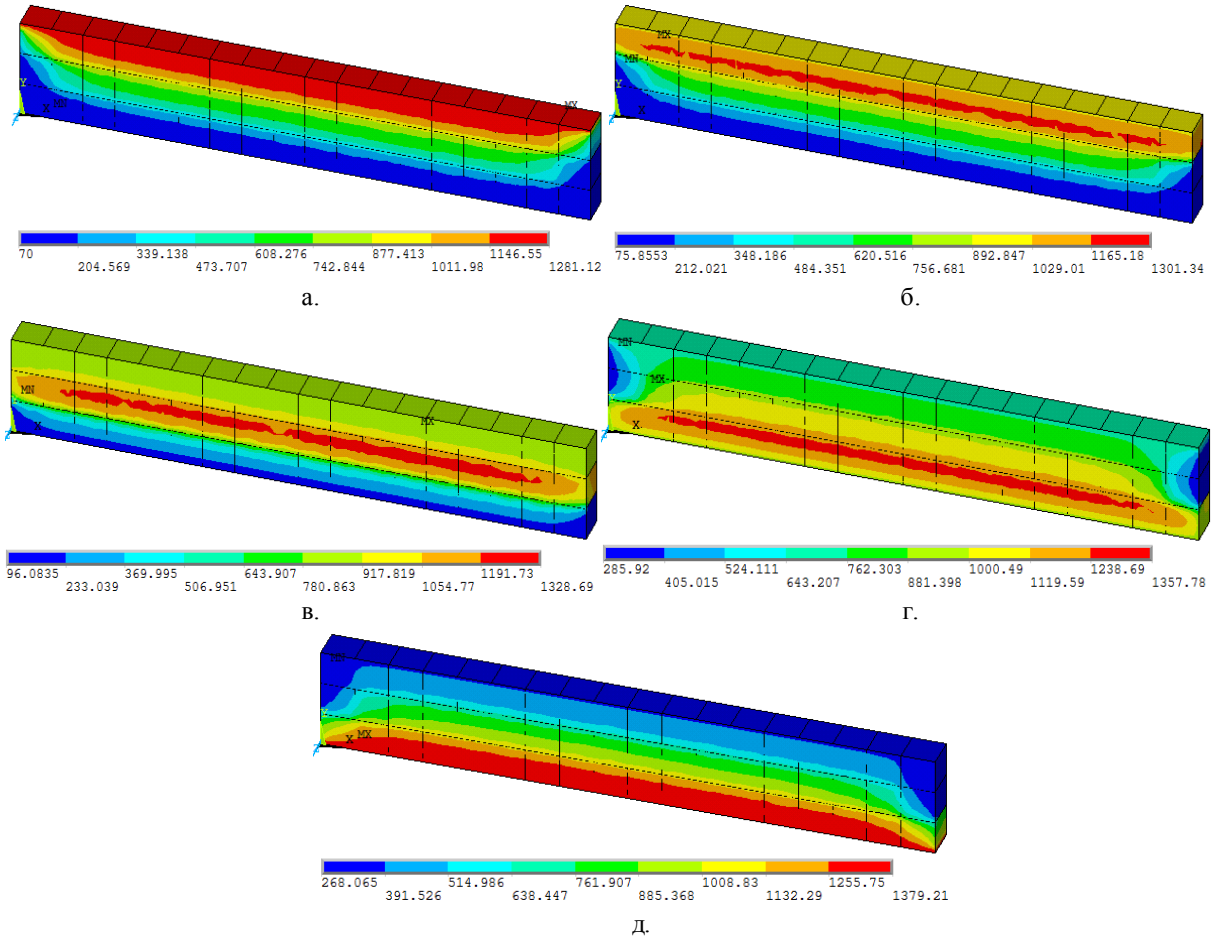

Рисунок 3 – Розподіл температур по горизонтам шару шихти, що спікається: а - горизонт 1, б - горизонт 2, в - горизонт 3, г - горизонт 4, д - горизонт 5.

З представленого на рис. 2 розподілу температур видно, що за результатами моделювання досягнуто усунення, притаманної для даного процесу, нестачі теплоти у верхніх горизонтах шару і його надлишку, за рахунок акумуляції регенерованої теплоти, у вищерозташованих шарах. Температура зони горіння у шарі бокситового агломерату у виробничих умовах, за рахунок відсутності сегрегації шихти, і як наслідок,

рівномірного розподілу твердого палива, досягала 1450-1500 °С. Останнє неприйнятно у зв'язку з переоплавленням нижніх горизонтів шихти і передчасним руйнуванням колосників агломераційної машини.

Результати моделювання свідчать про стабілізацію температури зони горіння в діапазоні 1290-1380 °С, що покликане виключити переоплавлення нижніх горизонтів і недопік верхніх шарів шихти, що спікається, і тим самим підвищити вихід годного. Проведені дослідження дозволили встановити нерівномірний характер розподілу заданої потужності, що виділяється в одиничному об'ємі, як по ширині, так і по висоті пирога, який має суттєве збільшення в прибортових зонах і поступове зниження від верхніх до нижніх горизонтів спеку. Останнє свідчить про значні втрати теплоти через стінки палети з газами через нещільність і підвищену порозність шару шихти, в першому випадку, і про істотний рівень акумуляції теплової енергії, у другому.

Таким чином, отримавши необхідний розподіл температур по горизонтах і знаючи потужність внутрішніх джерел в кожному елементарному об'ємі шару, можна вирішити завдання з визначення раціонального розподілу палива по висоті і ширині палети, з урахуванням теплових ефектів і акумуляції теплоти у спеку. Так як потужність внутрішніх джерел енергії задається в кВт, знайдемо кількість теплоти, що виділяється в елементарному об'ємі шару. Для цього необхідно встановити час, протягом якого у вказаному об'ємі відбувається горіння частинки палива.

Враховуючи, що час горіння частинки залежить від її розміру, проведені дослідження по встановленню середнього діаметра частинок палива, що подається в відділення, що спікає для умов «Запорізького абразивного комбінату». $d_{ср}$ частинки твердого палива склав 1,86 мм.

Для визначення часу горіння частинки коксового дріб'язку відомого розміру, використані результати досліджень Карабасова Ю.С. [14], про вплив розміру часток різних сортів твердого палива на час їх вигоряння, які дали можливість встановити час вигоряння зерен коксового дріб'язку для умов аглофабрики підприємства в діапазоні 42-46 с.

Враховуючи, що досягнення необхідної температури зони горіння в кожному елементарному шарі відбувається не тільки за рахунок теплоти, що виділяється при горінні твердого палива, але і завдяки екзотермічним реакціям і акумуляції теплоти вищерозташованими горизонтами, на базі результатів отриманих в [13], встановлено процентне співвідношення теплоти, яке вноситься кожною складовою у загальний прихід тепла у розглянутий одиничний об'єм по висоті шару шихти. Встановлено, що сумарна теплота екзотермічних реакцій, теплота, що вноситься повітрям і шихтою, враховуючи коефіцієнт акумуляції теплової енергії $\vartheta = (0{,}01 \div 0{,}5)$, змінюється в широкому діапазоні 7-36% за висотою шару. Виключивши цю складову з загальної витрати теплоти в одиничному об'ємі шару, що спікається можна визначити вміст твердого палива в кожному з розрахункових об'ємів. Для цього скористаємося формулою:

$$c_{ш} = \frac{q_c}{a_{co} q_{co} + a_{co2} q_{co2}} \ ;$$

де $c_{ш}$ - вміст твердого палива в шихті, кг; $a_{co} a_{co2}$ - частка вуглецю, що згорає до CO и CO_2, %; q_c - теплота згоряння коксику, кДж/кг; $q_{co} q_{co2}$ - теплота згоряння вуглецю до CO и CO_2 відповідно, кДж/кг.

Процентний вміст вуглецю по висоті і ширині шару визначимо з формули:

$$c_{\%} = \frac{c_{ш} \cdot 100\%}{V \rho_{ш} (1 - \varepsilon)};$$

де V - об'єм елементарного об'єму (скінченного елемента), м³; $\rho_{ш}$ - щільність шихти, кг/м³; ε - порозність шару, %.

Таким чином, раціоальний розподіл твердого палива по висоті і ширині палети, що забезпечує сталість максимальної температури в зоні горіння, представлено на рис.4.

Сумарний вміст палива в шихті за результатами розрахунків склав 5,582%.

Існуючий на комбінаті і раціональний розподіл палива по горизонтах шару при використанні барабанного живильника представлено на рис. 5.

З рис.5 видно, що існуюча схема завантаження бокситової шихти на палети агломашини не забезпечує необхідного розподілу твердого палива по висоті шару.

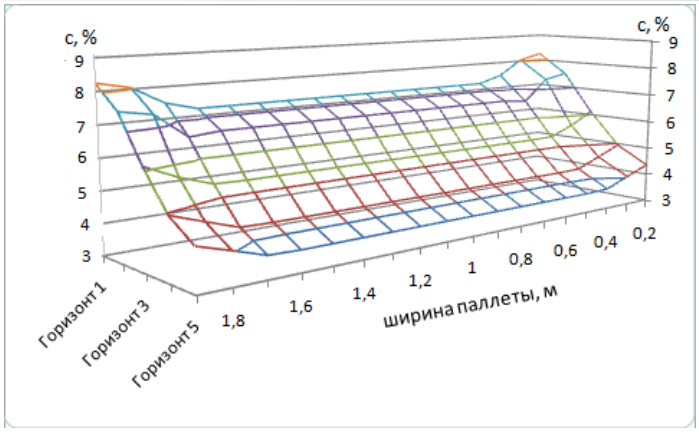

Рисунок 4 – Раціональний розподіл твердого палива по висоті і ширині палети.

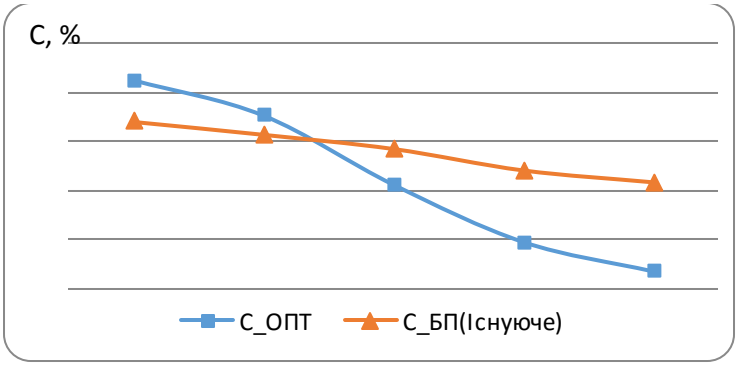

Рисунок 5 – Існуючий і раціональний розподіл палива по горизонтах.

Висновки

В роботі реалізована теплова модель процесу агломерації бокситів, яка розроблена на базі методу скінченних елементів. Проведені дослідження агломерації бокситів дозволили встановити нерівномірний характер розподілу потужності внутрішніх джерел, що виділяється в одиничному об'ємі, як по ширині, так і по висоті палети.

Представлені результати моделювання, свідчать про можливість стабілізації температури зони горіння в діапазоні 1290-1380°С, що дозволить виключити переоплавлення нижніх горизонтів й недопікання верхніх шарів шихти, що спікається, й тим самим підвищити вихід годного.

Отримані в роботі залежності, характеризують раціональний розподіл коксової дрібноти, в результаті чого, в верхній частині шару буде зосереджена потрібна кількість дрібних фракцій, які є основними носіями твердого палива, тим самим компенсуючи дефіцит теплоти в цих горизонтах. У свою чергу, зниження концентрації палива в нижніх горизонтах, за рахунок концентрації там крупних фракцій, усуне переоплавлення агломерату.

Система завантаження, що використовується для умов даного виробництва, у вигляді барабанного живильника, не забезпечує потрібного розподілу твердого палива по висоті шару, тим самим роблячи актуальним питання вибору типу та розрахунку характеристик завантажувального пристрою агломашини, з метою забезпечення максимально близького до розрахованого розподілу палива у підготовленій до спікання бокситовій шихті.

Список Літератури

1. Вегман, Е. Ф. Процесс агломерации [Текст] / Е. Ф. Вегман. – М.: Металлургия, 1963. – 153 с.
2. Сигов, А. А. Агломерационный процесс [Текст] / А. А. Сигов, В. А. Шурхал – Киев.: Техника, 1969. – 232 с.
3. Савельев, С. Г. Математическое моделирование в исследовании процессов производства окускованного сырья. [Текст] / С. Г. Савельев, Я. А. Стойкова // Вісник КрНУ (збірник наукових праць). – 2012. - №34 – С. 44-47.
4. Цаплин, А. И. Моделирование теплофизических процессов и объектов в металлургии [Текст] / А. И. Цаплин, И. Л. Никулин – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2011. – 203 с.

5. Калашников, С. Н. Математическое моделирование тепло-массообменных процессов в металлургических агрегатах на основе объектно-ориентированной технологии [Текст]: дисс. … д. т. н. / С. Н. Калашников – Новокузнецк, 2002. – 278с.

6. Боковиков, Б. А. Математическая модель обжиговой конвейерной машины как инструмент для оптимизации тепловой схемы агрегата. [Текст]/ Б. А. Боковиков, В. В. Брагин, В. М. Малкин и др. // Сталь. – 2010. - №9. – С. 84-87.

7. Фролов, Ю. А. Теплотехническое исследование процесса агломерации и совершенствование технологии и техники для производства агломерата [Текст] : автореф. дисс. … д. т. н. / Ю. А. Фролов – Екатеринбург, 2005. – 49с.

8. Елисеев, А. А. Исследование тепло-массообменных процессов при агломерации шихты [Текст]: дисс. канд. техн. наук / А. А. Елисеев - Череповец., 2006. – 165с.

9. Мных, А. С. Решение задачи распределения температуры в единичном объеме агломерационного слоя методом конечных элементов с учетом внутреннего источника тепла [Текст] / А. С. Мных // Збірник наукових праць ДДТУ. – 2014. – №2(25). – С 47-51.

10. Мных, А. С. Синтез трехмерной модели теплового режима процесса спекания агломерационной шихты [Текст] / А. С. Мных // Вісник КрНУ. – 2014. - №38 – С. 44-47.

11. Мных, А.С. Анализ адекватности конечно-элементной модели процесса агломерации железорудной шихты[Текст] / А. С. Мных, М. Ю. Пазюк. И. М. Мних // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. - №1 (21). – С. 22-25.

12. Бабошин, В. М., Теплофизические свойства топлив и шихтовых материалов черной металлургии. Справочник. [Текст] / В. М. Бабошин, Е. А. Кричевцов, Е. М. Абзалов и др.- М.: Металлургия, 1982. 152 с.

13. Мных, А.С. Исследование тепловых процессов в агломерируемом слое бокситов в зависимости от сегрегации топлива и химкомпонентов по высоте [Текст] / А. С. Мных // Энергетика. Энергосбережение. Энергоаудит. – 2015. - №6(136). – С. 23-27.

14. Карабасов, Ю. С. Использование топлива в агломерации [Текст]/ Ю. С. Карабасов, С .М. Валавин. - М.: Металлургия, 1976. – 264 с.

I.G. Yakovleva, A.S. Mnyh
Zaporozhe state engineering academy

THE APPLICATION OF MODEL OF BAUXITE CHARGE SINTERING THERMAL REGIME TO DETERMINE THE OPTIMUM DISTRIBUTION OF SOLID FUELS

The problem of constant energy prise rising necessitates further researches about material loading and fuel and chemical component distribution along pallets, as well as thermal processes in the layer of sintered bauxite charge.

The analysis of current state of the sintering process modeling problem suggests the need for adequate thermal model of the bauxite agglomeration process for sintering process optimization tasks solving.

This paper contains results of bauxite charge sintering process modeling on finite element thermal model developed by author. Simulation results achieved to eliminate inherent to this process, lack of heat in the upper horizons of the layer and its excess, due to the accumulation of recovered heat in the lower layers.

Conducting researches revealed uneven character of transmitted power distribution, which is released per unit volume, both with weight and height of the cake, which has a substantial increase in areas near the edge and a gradual decrease from the upper to the lower horizons of the cake.

It was investigated combustion time of solid fuel particles for the conditions of considered process. Also was performed the calculation of optimal distribution of coke breeze, both with height and width of sinter pallets, with the accumulation of heat overlying agglomerate horizons. This ensures the alignment of the maximum temperature of the combustion zone in horizons of layer.

The simulation results led to the conclusion about the possibility of reducing the amount of fuel in the charge, subject to the required concentration of coke breeze in the horizon, which is possible in amplification of size fractions segregation of the feed material with height of pallets.

Conclusions. *In this paper was implemented the thermal model of bauxite agglomeration process, which was developed on the basis of the finite elements method. The research allowed to establish uneven distribution pattern of the transmitted power, which is released per unit volume, both with width and height of pallets.*

The presented simulation results indicate the possibility to stabilize the combustion zone temperature in the range of 1290-1380 ° C, which is intended to avoid undermelting of lower layers and undersintering of upper layers of the charge, and thus increase the valid production.

Dependences, which were obtained in this paper, characterize an optimal distribution of coke breeze. As a result, the required amount of fine fractions (which are the main carrier of solid fuels) will be concentrated in the upper part of the layer. This will eliminate the lack of heat in these horizons. In turn, the reduction of fuel in the lower layers, due to the concentration of large fractions, eliminates the appermelting of agglomerate.

Charge loading system, which has form of a drum feeder, does not provide the required distribution of solid fuel in height of layer. This creates the prerequisites for choosing the type and characteristics of boot device of sintering machine, in order to ensure as close as possible to the estimated distribution of fuel in prepared to sintering bauxite charge.

Key words: *segregation, imitation model, the finite elements method, thermal regime, horizon layer, charge.*

References

1. Vegman E.F. Process aglomeracii // Moscow: Metallurgiya, 1963. – 153 p.
2. Sigov A. A., Shurhal V. A. Aglomeracioniy process. Kiev: Tehnika, 1969. – 232 p.
3. Savel'ev S.G., Stojkova Ya.A. Matematichskoe modelirovanie v isledovanii processov proizvodstva okuskovanogo syr'ya// Visnyk KrNU, #4, 2012. – P. 44-47.
4. Caplin A.I. Modelirovanie teplofizicheskih procesov I ob'ektov v metalurgii// Perm': Izdatelsvo PGTU, 2011. – 203 p.
5. Kalashinikov S. N. Matematicheskoe modelirovanie teplo-massoobmenih procesov v metalurgicheskih agregatah na osnove ob'ektno-orientirovanoj tehnologii**.** Dis. g.t.n. Novokuznetsk. 278.
6. Bokovikov B. A. Matematicheskaya model objigovoj konveernoj mashini rfr instrument dlya optimizacii teplovoj shemi agregata. Stal. 9, 2010. P. 84-87.
7. Frolov U. A. Teplotehnicheskoe issledovanie processa aglomeracii I sovershenstvovanie tehnologii I tehniki proizvodstva aglomerata. Avtoref. dis. … d.t.n. Ekaterinburg. 2005. 49 p.
8. Eliseev A. A. Issledovanie teplo-massoobmenih procesov pri aglomeracii shihty. Dis. k.t.n. Cherepovec. 2006. 165 p.
9. Mnyh A. S. Reshenie zadachi raspredeleniya temperaturi v edinichnom ob'eme aglomeracionogo sloya motodom konechnih elementov s uchetom vnutrenih istochnikov tepla. Zbirnyk naukovih prac DDTU (tehnichni nauky). 2(25), 2014. P. 47-51.
10. Mnyh A. S. Sintez trehmernoy modeli teplovogo regima procesa spekaniya aglomeracionoy shihty. Visnyk KrNU (zbirnyk naukovih prac). 38, 2014. – P. 44-47.
11. Baboshin V. M. Teplofizicheskie svojstva topliv I shihtovih materialov chernoj metalurgii// Moscow: Metallurgiya, 1982. – 152 p.
12. Mnyh A. S. Issledovanie teplovih processov v aglomeriruemom sloe boksitov v zavisimosti ot segregacii topliva I himkomponentov po visote// Energetika. Energosberegenie. Energoaudit, # 6(136), 2015. – P. 23-27.

УДК 669.162.1

И.Г. Яковлева, д-р техн. наук, профессор, **А.С. Мных,** канд. техн. наук, доцент
Запорожская государственная инженерная академия

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В СЛОЕ БОКСИТОВОЙ ШИХТЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА СПЕКАНИЯ

В работе проведен анализ текущего состояния вопроса моделирования агломерационного процесса и представлены результаты моделирования процесса спекания бокситовой шихты на разработанной автором конечно-элементной тепловой модели.

Исследовано время выгорания частички твердого топлива для условий рассматриваемого технологического процесса. Сделан расчет оптимального распределение коксовой мелочи, как по высоте, так и по ширине паллеты агломашины, с учетом аккумуляции теплоты вышележащими горизонтами агломерата, тем самым обеспечив выравнивание значений максимальной температуры зоны горения по горизонтам спека.

Проведенные исследования позволили установить не равномерный характер распределения задаваемой мощности, выделяемой в единичном объеме, как по высоте так и по ширине пирога, имеющей существенно увеличение в прибортовых зонах и постепенное уменьшение от верхних к нижним горизонтам слоя.

Результаты моделирования позволили сделать вывод о возможности снижения содержания топлива в шихте при условии соблюдения требуемой концентрации коксовой мелочи по горизонтам, что возможно при усилении сегрегации классов крупности загружаемого материала по высоте паллеты.

Ключевые слова: сегрегация, имитационная модель, метод конечных элементов, тепловой режим, горизонт слоя, шихта.

Надійшла 12.04.2015
Received 12.04.2015