

6. Ялдин І.В. Ресурсно-компетентнісний підхід до організації управління життєдіяльністю інтегрованих структур бізнесу [Електронний ресурс] / І.В. Ялдин. – Режим доступу : [www.nbuv.gov.ua/portal/soc...2/.../6.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/portal/soc...2/.../6.pdf).
7. Востряков О.В. Стратегічне управління підприємством: бізнес-курс : навч. посіб. [Електронний ресурс] / О.В. Востряков, О.М. Гребешкова. – К.: КНЕУ, 2014. – 211 с.
8. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия / И. Ансофф. ; пер. с англ. И. Ансофф при содействии Э. Дж. Макдонелла. – СПб. и др.: Питер, 1999. – 414 с.
9. Томпсон А.А. Стратегический менеджмент. Искусство разработки и реализации стратегии: [учебник для вузов] / А. А. Томпсон, А. Дж. Стрикленд.; пер. с англ. под ред. Л. Г. Зайцева и М. И. Соколовой. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 576 с.
10. Економіка підприємства: навч. посіб. студ. вищ. навч. закл. / За ред. А.А. Фастовець. – К.: ТМЦ «Укоопосвіта», 2000. – 572 с.
11. Борзенкова К.С. Оценка экономического потенциала предприятия и повышение эффективности его использования: автореф. дисс... канд. экон. наук / К.С. Борзенкова. – Белгород, 2003. – 24 с.
12. Файоль А. Общее и промышленное управление / А. Файоль. — М.: Контроллинг, 1992 – 487 с.

Рукопись поступила в редакцию 25.04.14

УДК 669.162.1

А.С. МНЫХ, канд. техн. наук, доц., Запорожская государственная инженерная академия

## СИНТЕЗ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ

Приводится разработанная конечно-элементная трехмерная модель для расчета распределения температур по высоте слоя агломерационной шихты в программном комплексе ANSYS. Анализ теплового режима процесса спекания агломерата позволил сделать вывод о существовании оптимальной температуры зоны горения для агломерационной шихты, при которой образуется мелкопористый, легковосстановимый агломерат с достаточной прочностью.

Проведенный анализ адекватности синтезированной модели показал высокий уровень сходимости с результатами лабораторных спеканий, без сегрегации топлива по высоте слоя, других исследователей. Погрешность модели составила не более 8,73%, что подтверждает возможность ее использования в вычислительных исследованиях тепловых режимов агломерационного процесса.

Научная ценность представленной модели заключается в возможности установления функциональных зависимостей сегрегации химических компонентов и топлива по высоте слоя, обусловленных мощностью внутренних источников энергии в каждом единичном объеме. Последнее позволит сформулировать рекомендации к условиям формирования слоя агломерационной шихты с целью обеспечения в каждом горизонте агломерируемого материала температуры, являющейся оптимальной для производства высококачественного агломерата.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** На сегодня основным источником сырья для доменного производства является агломерат железной руды. Следует отметить, что общемировая потребность в стали растет из года в год.

Для обеспечения конкурентоспособности, выпускаемой отечественными металлургическими предприятиями продукции, на фоне общего подорожания энергетических ресурсов, необходимо детальное изучение и совершенствование теплового режима процесса производства агломерата. Последнее позволит изучить закономерности и факторы, влияющие на распределение химических компонентов и топлива по высоте пирога, проанализировать температурный режим агломерации отдельных горизонтов спекаемой шихты и разработать рекомендации, направленные на повышение энергоэффективности аглопроцесса.

**Анализ исследований и публикаций.** В последнее время широкое распространение при изучении физических объектов и тепловых процессов, протекающих в них, получило конечно-элементное моделирование [1-4].

Современный уровень развития компьютерной техники, а так же численно-аналитических методов решения инженерных задач позволяет реализовать наиболее точную картину ввода и последующего перераспределения теплоты при агломерации в трехмерной модели, разработанной на основе экспериментальных и расчетных данных. Для расчета используется метод конечных элементов (МКЭ) [5], реализованный в программно-методическом комплексе ANSYS.

**Постановка задачи.** Для моделирования тепловых процессов, протекающих в спекаемом слое, необходимо решить следующие задачи:

Разработать трехмерную модель процесса спекания агломерационной шихты.

Получить математические зависимости коэффициента теплопроводности и теплоемкости нагреваемой шихты от температуры.

Промоделировать процесс спекания шихты с учетом полученных зависимостей.

Проверить адекватность полученной модели распределения температурных полей по сечению спекаемой шихты.

**Изложение материалов и результаты.** Для построения расчетной области с учетом граничных условий используем схему, представленную в [5].

Будем рассматривать вертикальный срез слоя агломерационной шихты  $2500 \times 400 \times 100$  мм, находящейся на паллете, который в свою очередь, разбит на единичные объемы рис. 1.

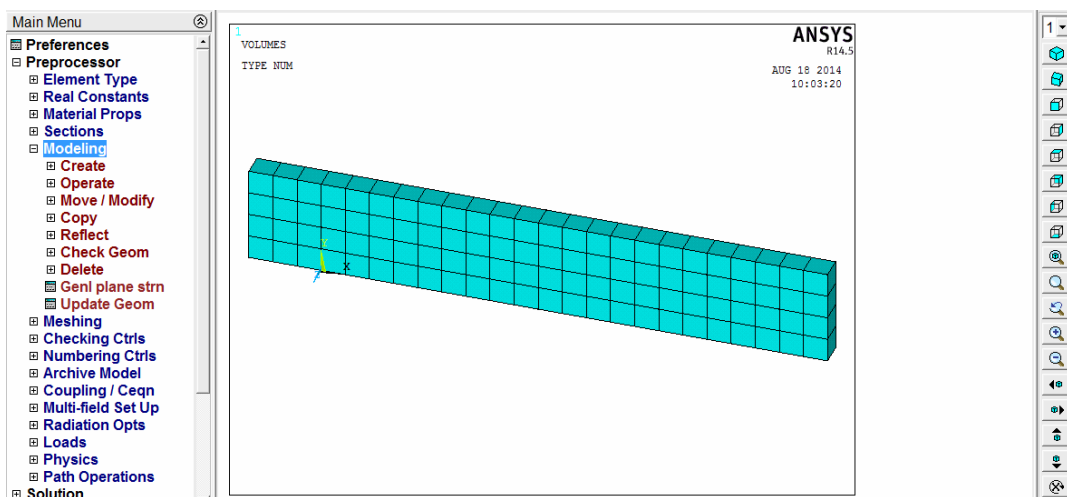


Рис. 1. Расчетная область модели

Каждый из единичных объемов ANSYS разобьет на конечные элементы (КЭ).

При решении объемной тепловой задачи воспользуемся восьми-узловым трехмерным конечным элементом SOLID 70. Данный элемент обладает одной степенью свободы - температурой (TEMP), что позволяет принимать нагрузку в виде теплового потока.

Решением является множество узловых данных, состоящее из температуры по всему объему исследуемого слоя.

Таким образом, при использовании указанного КЭ в расчетной области построена сетка из 564 тыс. ячеек тетраэдральной формы, рис. 2.

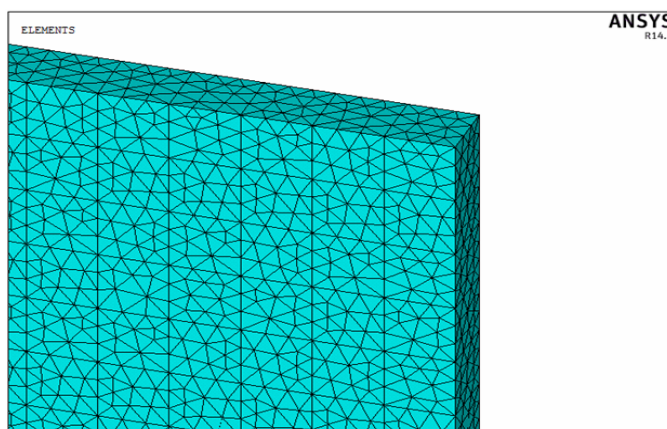


Рис. 2. Конечно-элементная сетка

Для осуществления расчетов необходимо указать свойства материала, такие как плотность, коэффициент теплопроводности, удельную теплоемкость и т.д.

На основании представленных в [6] теплофизических характеристик агломерационных шихт аглофабрики «Запорожсталь», получены зависимости теплоемкости и теплопроводности от температуры, рис .3.

Математическую зависимость удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности от температуры выразим в виде степенных полиномов

$$c(T) = 0.000145T^2 + 0.003147T + 0.9591;$$

$$\lambda(T) = 0.0000785T^2 - 0.00039T + 0.3253.$$

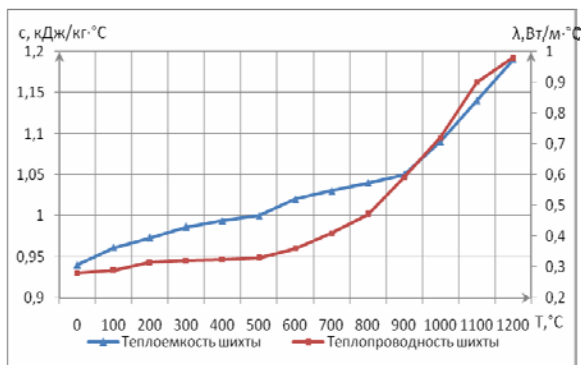


Рис. 3. Зависимость  $\lambda$  и  $c$  шихты от температуры

Граничные условия, накладываемые на расчетную область модели представляют собой Г.У. I-го и III-го рода [5].

Мощность внутренних источников энергии (HEAT GENERATOR), обуславливающую сгорание частичек топлива в слое шихты, выберем с учетом отсутствия сегрегации углерода по высоте слоя.

Результаты вычислений распределения температуры по слоям спекаемой шихты пред-

ставлено на рис. 1-2.

Расчеты, полученные с использованием трехмерной конечно-элементной модели, достаточно хорошо согласуются с результатами лабораторных спеканий представленных на рис. 4-5.

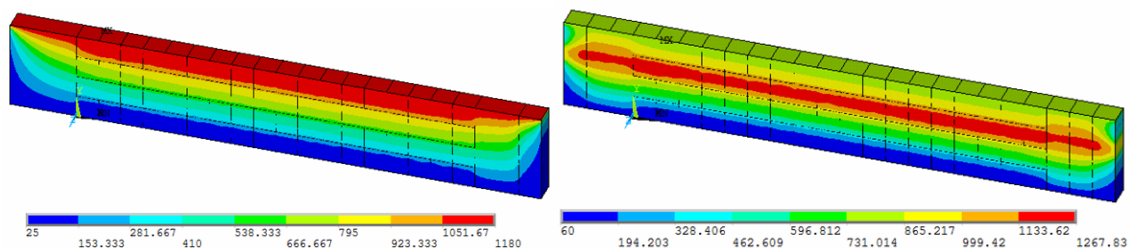


Рис. 4. Распределение температур в слое спекаемой шихты

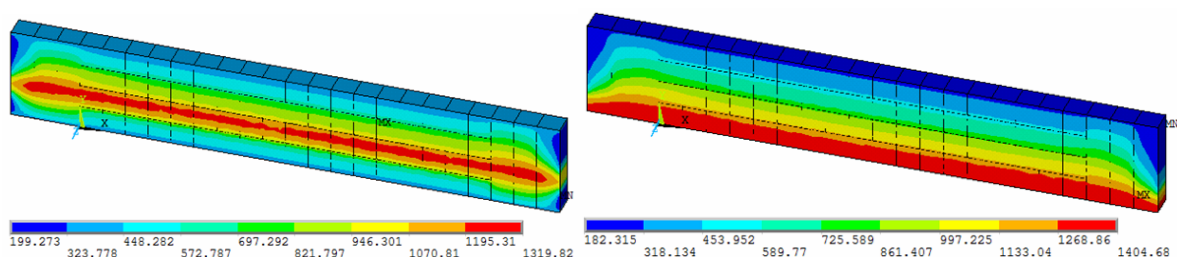


Рис. 5. Распределение температур в слое спекаемой шихты

Из представленного на рис. 6. распределения температур, четко прослеживается характерный тепловой режим спекания шихты при отсутствии сегрегации топлива по высоте слоя.

В начальный период агломерации наблюдается недостаточный приход тепла, вследствие слабой регенерации последнего, температура в зоне горения низка, а скорость охлаждения расплава велика.

В результате расплав агломерата застывает в виде аморфного хрупкого стекла, которое не выдерживает перегрузки, тем самым обуславливая значительное образование возврата и как следствие, низкую производительность агломашин.

Иная картина наблюдается в слоях шихты, прилегающих к колосниковой решетке. Здесь, кроме теплоты сгорания коксовой мелочи, присутствует регенерированное тепло вышележащих слоев.

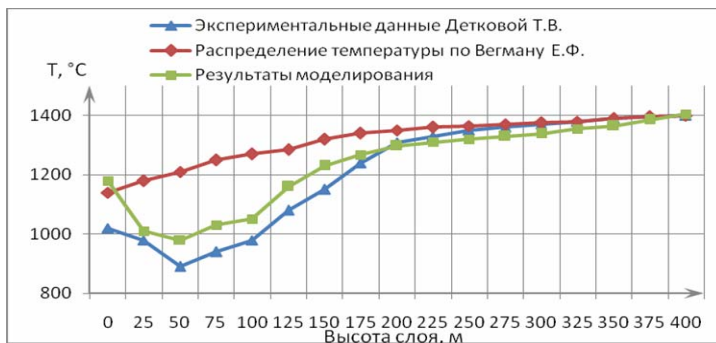


Рис. 6. Распределение температур по высоте спекаемого слоя

В итоге получается избыток тепла и температура достигает максимальных значений.

Однако, излишний перегрев зоны горения является нежелательным, поскольку переоплавленный агломерат имеет монолитную структуру с малой прочностью, т.е. обладает пониженной восстановимостью.

Проверка математической модели на адекватность проводилась по методике [7] путем сравнения результатов моделирования с данными, полученными Вегманом Е.Ф. [4] и результатами лабораторных спеканий без сегрегации топлива по высоте слоя, полученными Детковой Т.В. [9].

Погрешность модели составила не более 8,73 %, что подтверждает возможность ее использования в вычислительных исследованиях тепловых режимов агломерационного процесса.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Разработана конечно-элементная модель для расчета распределения температуры по высоте спекаемого агломерационного слоя.

Проведен анализ адекватности модели, что подтверждает возможность ее использования для вычислительных исследований тепловых процессов агломерации.

Полученные результаты расчетных исследований хорошо согласуются с экспериментальными данными других исследователей [8,9].

Анализ теплового режима процесса спекания агломерата позволяет сделать вывод, что для агломерационной шихты есть оптимальная температура зоны горения 1280-1340 °C, при которой образуется мелкопористый, легковосстановимый агломерат с достаточной прочностью.

Основной целью дальнейших исследований на базе разработанной модели, является установление функциональных зависимостей сегрегации химических компонентов и топлива по высоте слоя, обусловленных мощностью внутренних источников энергии в каждом единичном объеме, что позволит сформулировать рекомендации к условиям формирования слоя агломерационной шихты с целью обеспечения в каждом горизонте агломерируемого материала температуры, являющейся оптимальной для производства высококачественного агломерата.

### Список литературы

1. Свет Е.В. Нестационарная задача теплопроводности в трехмерной постановке для многослойных пластин сложной формы. // Вісник НТУ «ХПІ», 2013. - №63 (1036). - С. 122-131.
2. А.А. Фефелов Оценка квазисингулярных интегралов при численной реализации метода граничных элементов в трехмерных неосимметричных задачах теплопроводности // Вестник РГРТУ, 2008. - Вып 23. - С. 41-46.
3. Румянцев А.В. Метод конечных элементов в задачах теплопроводности.: Учебн. пособие / Калининград. ун-т., Калининград, 1995. - 170 с.
4. А. Г. Масловская, А. В. Сивунов. Применение метода конечных элементов для моделирования эволюционных процессов теплопроводности в облученных электронными пучками полярных диэлектриках // «Компьютерные исследования и моделирование», 2012. №4. - С. 767-780.
5. Мных А.С. Решение методом конечных элементов задачи о распределении температур в единичном объеме агломерационного слоя при заданных граничных условиях. // 36. наук. праць ДДТУ(технічні науки). - 2014. №2(25). - С.47-51.
6. Теплофизические свойства топлив и шихтовых материалов черной металлургии. Справочник. Бабошин В.М., Кричевцов Е.А., Абзалов Е.М., Шелоков Я.М.- М.: Металлургия, 1982. 152 с.
7. Лукомский Ф.И. Теория корреляции и ее применение к анализу производства. - М.: Госстатиздат, 1958. - 120 с.
8. Окусование руд и концентратов. Вегман Е.Ф. Учебник для техникумов - 3-е изд. перераб. и доп. М.: Металлургия, 1984. - 256 с.
9. Деткова Т.В. Разработка новых интенсивных методов зажигания шихты и совершенствование технологии агломерации: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - М., 1993. -32с.

Рукопись поступила в редакцию 17.04.14