

Рис. 3. Зависимость величины нагрева воздуха за 12 часов работы и потребляемой мощности от производительности вентилятора

Таким образом, аэродинамический нагрев воздуха в вентиляторах необходимо обязательно учитывать при проектировании нагревательных печей, работающих по режиму рециркуляции.

Список использованных источников

1. Термическое оборудование. Печь аэродинамических потерь [Электронный ресурс] / Официальный разработчик ОАО «Электромеханика». Продукция. Электр. дан.: Ржев: ОАО «Электромеханика», 2012. Реж. доступа: <http://www.el-mech.ru>.
2. Каменщиков В.А. Радиационные свойства газов при высоких температурах / Каменщиков В.А., Пластинин Ю.А., Николаев В.М., Новицкий Л.А. М.: «Машиностроение», 1971. 440 с.
3. Кудинов В.А. Техническая термодинамика : учеб. пособие / Кудинов В.А., Карташов Э.М. М.: Высшая школа, 2007. 261 с.
4. ГОСТ 10921-90. Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний. М.: ГК СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990. 35 с.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА ПРОЦЕССА СУШКИ ПРИ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Б.А. Боковиков, В.И. Клейн, 2012

ООО «НПВП ТОРЭКС», г. Екатеринбург,

© В.И. Матюхин, А.Ю. Петрышев, 2012

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

В начальный период агломерации металлургического сырья на конвейерной машине в слое формируются основные зоны. Этот период – последний в технологической цепочке, в рамках которого можно оперативно реагировать на входные возмущения. Он характеризуется взаимодействием внешнего (продуктов сгорания газообразного/жидкого топлива в горне) и внутреннего (твердого топлива шихты) источников тепла и переменными температурными и газодинамическими условиями теплообмена в слое.

Кратковременность процессов и трудность проведения экспериментальных измерений существенно усложняют анализ этого периода. Его изучению, разработке методик и моделей расчета посвящено большое число исследований. Условно их можно разделить на две группы, одна из которых посвящена процессам сушки шихты и конденсации влаги, усадки и газодинамике слоя, другая – собственно зажиганию топлива с формированием в слое зоны горения топлива, температурных полей и газовой среды. Ограничимся рассмотрением процессов первой группы [1].

В череде многочисленных процессов, составляющих технологию агломерации железорудных материалов, на начальной стадии наиболее важен процесс сушки шихты. Этот процесс довольно полно освещен в литературе [2–4]. Однако его анализ, как правило, проводится изолировано от других процессов, т.е. материальные потоки (газа и шихты) рассматриваются как независимые переменные. В реальном же процессе производительность агломашины определяется не по завершению процесса сушки, а по окончанию процесса спекания. В то же время интенсивность сушки и степень переувлажнения шихты влияют на газодинамику слоя, т.е. на величину скорости фильтрации, определяющую производительность машины. Такая сложная взаимосвязь тепломассообменных и газодинамических характеристик слоя вынуждает рассматривать агломерационный процесс в обязательной взаимосвязи всех явлений, т.е. проводить полный теплотехнический расчет агломашины.

Для исследования закономерностей сушки и переувлажнения слоя агломерационной шихты использовали теплофизическую математическую модель, в которой тепло- и массообмен в зоне сушки описан профессором Ф.Р. Шкляром наиболее точно [5] на основе данных Д.Б. Сполдинга [6]. Теплообмен по высоте слоя и физико-химические процессы, протекающие выше зоны сушки, в модели «НПВП ТОРЭКС» описаны с существенными уточнениями по сравнению с известной моделью Ю.А. Фролова [7]. В частности, в процессе горения углерода учтены полидисперсность топлива и возможность увеличения зоны горения за счет дожигания оксида углерода.

В расчетах принята в качестве базы агломашина Абагурской аглофабрики площадью спекания 90 м^2 с высотой слоя 300 мм, длиной горна 6 м и с содержанием углерода в шихте 3,4 % (на сухую массу). Температура газа на входе в слой принята над 1-й вакуум-камерой 500°C (на длине 1 м) и далее под горном в диапазоне $1050\text{--}980^\circ\text{C}$ (на основании экспериментальных данных).

При расчетных исследованиях процесса сушки варьировали входные параметры в следующих пределах:

- для газа:
 - скорость фильтрации $0,20\text{--}0,30 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$ (постоянная по длине машины);
 - влагосодержание 3,5–10,0 % по объему (на влажную массу);
- для шихты:
 - влажность 6,4–8,7 % (на сухую массу);
 - начальная температура $25\text{--}65^\circ\text{C}$.

Основная особенность методики расчетов заключалась в том, что при любом значении входных параметров всегда подбирали величину производительности машины (скорости движения тележек) так, чтобы верхняя граница зоны горения топлива в конце машины находилась на определенном расстоянии от границы «слой-постель», что соответствует условиям нормального ведения технологического процесса. Кроме этого следует учитывать то, что при варьировании таких параметров шихты, как влажность и температура, скорость фильтрации оставалась постоянной, т.е. возможные изменения газодинамического сопротивления слоя не учитывали и анализировали изменение только тепломассообменных условий процесса. По этой же причине не рассматриваем пока и влияние высоты слоя.

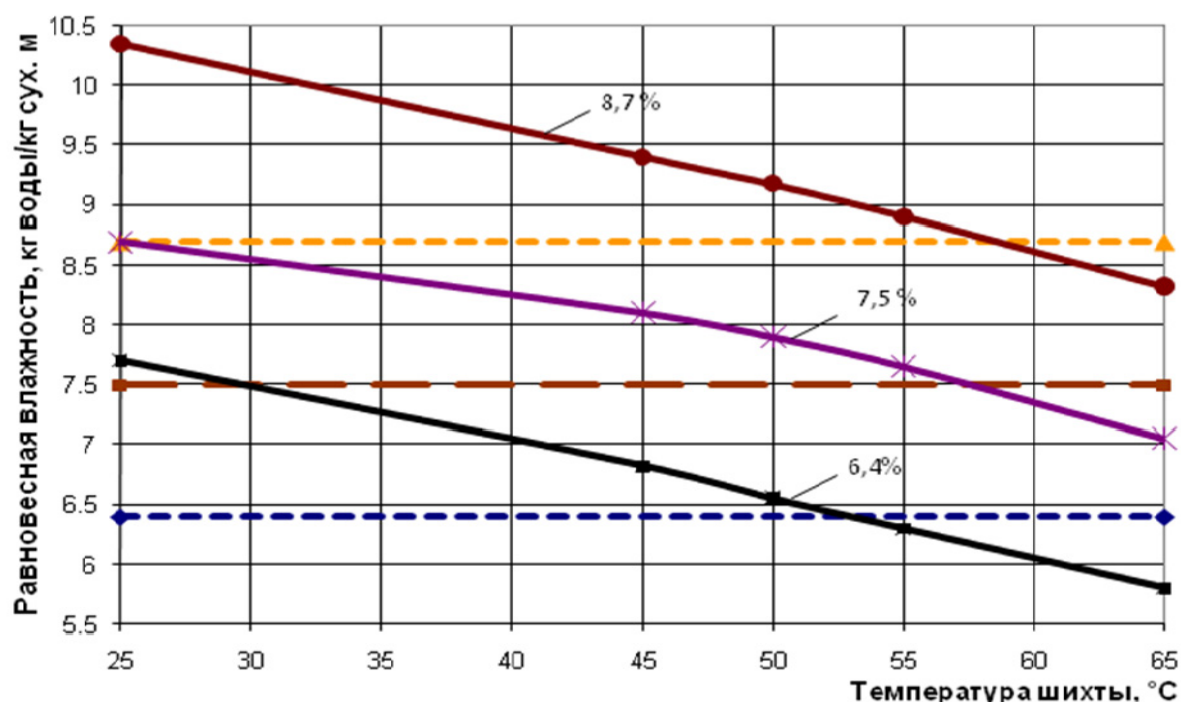


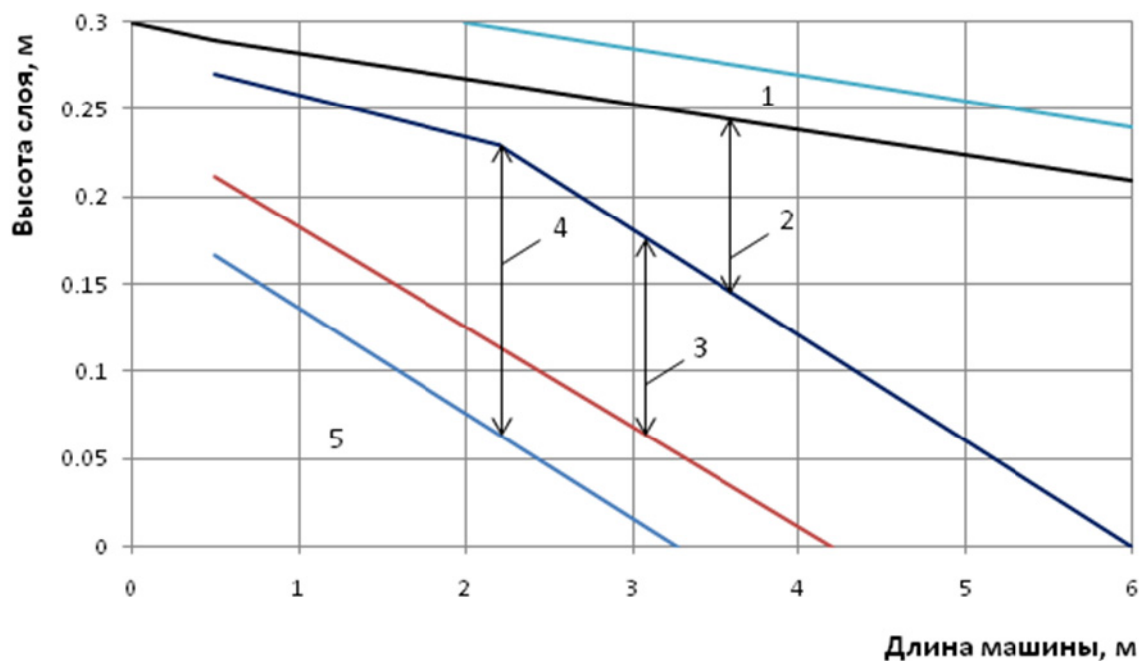
Рис. 1. Зависимость уровня равновесной влажности материала от температуры и влажности шихты на входе в машину

Результаты моделирования получали в графическом виде (кроме полей численных значений переменных), как это показано на рис. 1, где для примера приведены данные по зависимости уровня равновесной влажности материала от температуры и влажности шихты на входе в машину (на графиках подписи у кривых – влажность на сухую массу). На этих графиках видно, что равновесная влажность шихты может быть как выше начальной влажности (при $t_{\text{ш}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$), так и ниже (при $t_{\text{ш}} = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$). В первом случае на начальном этапе процесса имеется переувлажнение шихты более одного процента (за счет конденсации), а во втором случае после небольшой подсушки шихты устанавливается равновесная влажность ниже начального значения примерно на 0,5 %.

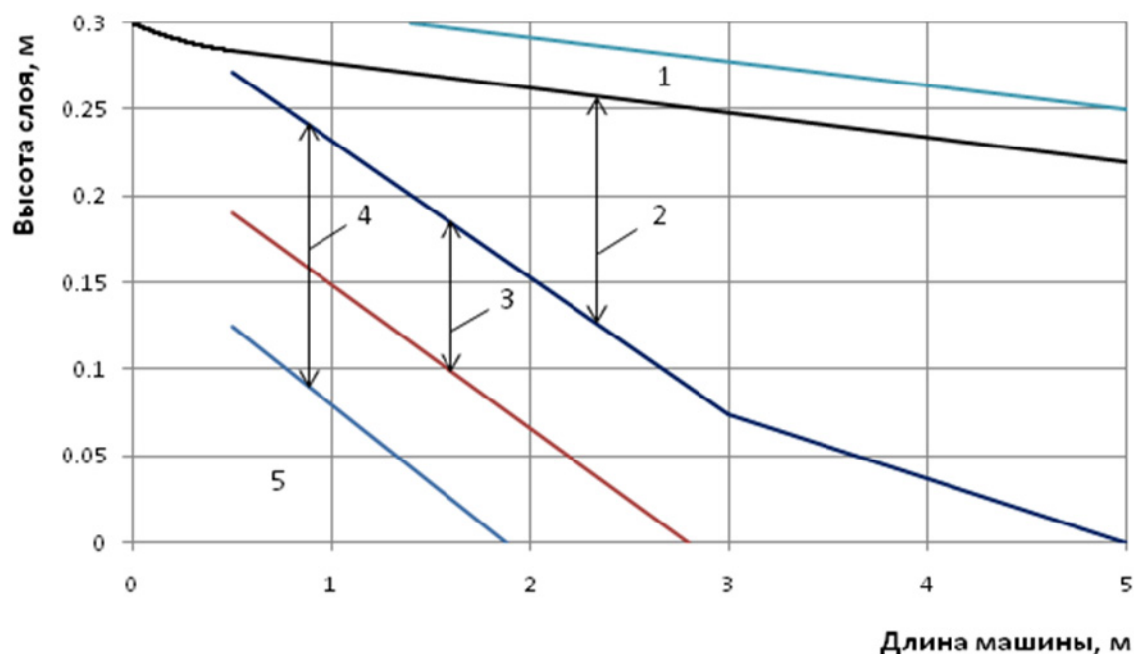
Под равновесной влажностью понимаем величину влажности шихты, устанавливающейся при достижении равновесной температуры шихты и газа, которую можно приближенно вычислить путем сопоставления теплового и материального баланса зоны сушки.

Обработка расчетных полей переменных (температур и концентраций) по длине машины и по высоте слоя позволила представить общую картину распределения границ отдельных зон в слое аглошихты. На рис. 2а приведены эти данные для следующих условий: $W_0 = 0,25\text{ м/с}$; $U_{\text{ш}} = 6,4\text{ \%}$; $t_{\text{ш}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Как видно на этих графиках, толщина зоны сушки составляет около 30 мм, а скорость ее продвижения по высоте слоя (при скорости движения тележек 1,58 м/мин) равна $\sim 17\text{ мм/мин}$. Следует отметить, что скорость движения верхних границ зон сушки и равновесной влажности очень близка к скорости продвижения зоны горения (скорости спекания). Под верхней границей зоны сушки понимаем горизонт слоя, на котором расчетная влажность шихты приближается к нулю. Однако следует заметить, что формирование стабильных зон горения и сушки продолжается главным образом под горном, примерно на длине 6–8 м в течение 5–6 мин., т.е. пока в слое существует зона конденсации.

Средняя скорость продвижения зоны конденсации при $t_{\text{ш}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 3–4 раза превышает скорость спекания. Границы зоны конденсации находили по расчетным полям переменных, определяя период времени повышения влажности шихты на каждом горизонте слоя и участок снижения влагосодержания газа по высоте слоя.



а)



б)

Рис. 2. Расположение границ зон в слое шихты при начальной температуре шихты
а) – 25 °С; б) – 45 °С

1 – зона сушки; 2 – зона равновесной влажности; 3 – зона совмещения равновесной влажности и конденсации; 4 – зона конденсации; 5 – зона исходной шихты

На рис. 2б приведено расположение границ зон в агглюмерате при начальной температуре шихты $t_{ш} = 45^\circ\text{C}$. Из графика видно, что при повышении температуры шихты зона конденсации в слое становится значительно короче по длине машины, как и зона исходной шихты, а скорость продвижения зоны конденсации превышает скорость спекания в 5–7 раз. В этом случае процесс термообработки агглюмерата на каждом горизонте начинается с некоторой подсушкой слоя (эту область условно назовем «сушка 1»), затем устанавливается равновесная влажность шихты с последующей основной сушкой («сушка 2»). Как видно из рис. 2а и 2б, при более высокой температуре скорость продвижения зон сушки и горения по высоте слоя при этом немного больше (18 против 17 мм/мин. при $t_{ш} = 25^\circ\text{C}$), а зона существования шихты с исходной влажностью сокращается примерно в два раза. Следует отметить, что зона шихты с равновесной влажностью при начальной температуре шихты

45 °С и 25 °С занимает около 30 % от общего объема аглослоя. Но при $t_{ш} = 25$ °С газодинамическое сопротивление слоя будет значительно больше за счет большего переувлажнения шихты в зоне конденсации.

Из приведенных данных следует, что протекание начального периода процесса сушки имеет сложный характер и зависит главным образом от начальной температуры шихты. Этот период сушки может влиять и на формирование зоны горения топлива, а, следовательно, в некоторой степени на развитие теплообмена по всей высоте слоя и на скорость спекания, т.е. производительность агломашины.

Список использованных источников

1. *Фролов Ю.А., Конопляник В.В., Исаенко Г.Е.* Анализ процессов сушки, конденсации и газодинамики слоя в начальном периоде агломерации // *Сталь*. 2008. № 6. С. 5–13.
2. *Коротич В.В.* Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке. М.: Металлургия, 1978. 205 с.
3. *Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездержский Г.Н.* Агломерация рудных материалов. Екатеринбург, 2003. 400 с.
4. *Базилевич С.В., Вегман Е.Ф.* Агломерация. М.: Металлургия, 1967. 368 с.
5. *Раева М.В., Шкляр Ф.Р., Фролов Ю.А.* Модель тепло- и массообмена при сушке пористого слоя // *Металлургическая теплотехника : темат. отр. сб.* 1974. № 2. С. 154–162.
6. *Сполдинг Д.Б.* Конвективный массоперенос. М.: Энергия, 1965. 384 с.
7. *Фролов Ю.А.* Теплотехническое исследование процесса агломерации и совершенствование технологии и техники для производства агломерата : дис. ... докт. техн. наук. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 53 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТАХ

© **И.С. Бугрин, М.А. Денисов, 2012**

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

Способ контактного измерения температуры поверхностей (способ мягкого теплового контакта) предложен для ведения исследовательских работ по экономии ресурсов в металлургии [1]. Способ использует свойство волокнистых материалов обеспечивать идеальный (без воздушного зазора) тепловой контакт их поверхности с поверхностью, температура которой измеряется. Способ измерения реализуется термопарой, рабочий спай и прилегающие к спаю электроды которой прижимаются к измеряемой поверхности узкой полоской волокнистого огнеупора.

В работе испытана конструкция контактной термопары, корпус которой состоит из огнеупорных обкладок между которыми размещена согнутая полоска из уплотненной каолиновой ваты и термопара ТХА [2]. Определены недостатки прибора, связанные с нестабильным состоянием контактной поверхности и отсутствием необходимых исследований погрешностей измерения. Недостатки конструкции усложнили использование прибора, сделав необходимым последовательное выполнение градуировки и измерений прибором на одном агрегате.

В данной работе выполнены сравнительные исследования конструкций контактных измерителей, предназначенных для исследования процессов в высокотемпературных агрегатах металлургии. Предложен ряд вариантов конструкции прибора: Пироконт-К