

*к.т.н., доц. Кривенко С.В  
(ПГТУ, г. Мариуполь, Украина)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ОКОМКОВАНИЯ АГЛОШИХТЫ НА ОАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» НА ОСНОВЕ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ СЛОЯ**

*Розроблено систему автоматизованого регулювання огрудкування аглошихти. Система фіксує зовнішній вигляд покладеної в шар шихти і передає зображення в ЕОМ, що обробляє його по заданій програмі і видає результати в локальну систему регулювання витрати води. Дослідно-промислові іспити системи на "МК "Азовсталь" показали збільшення продуктивності агломашини до 4 %.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Качество окомкования агломерационной шихты существенно влияет на газопроницаемость и, следовательно, высоту спекаемого слоя, расход твердого топлива, качество агломерата и производительность агломашин. Для шихты определенного состава существует величина оптимальной влажности, изменяющаяся в довольно узких пределах. Отклонение от оптимума влечет за собой ухудшение газопроницаемости шихты и снижение производительности агломашин.

Задача экспрессного автоматического контроля влажности агломерационной шихты является сложной метрологической проблемой, не получившей до настоящего времени полного решения.

**Анализ исследований и публикаций.** Разработано и испытано много методов, датчиков и опытных устройств для измерения влажности шихты, но они не в полной мере удовлетворяют предъявляемым требованиям в отношении точности, надежности и быстродействия измерения.

Наилучшие результаты получены при применении нейтронного метода экспрессного контроля влажности – наиболее пригодного и точного для технических условий агломерационного производства и автоматических систем регулирования увлажнения шихты [1]. Влажность окомкованной шихты стабилизируется у заданного значения. В способе не обеспечивается подбор оптимальной влажности, соответствующей максимальной порозности слоя, зависящей от трудноизмеряемых в потоке гранулометрического состава комкуемого материала и его гигроскопических свойств.

Существует система автоматического регулирования увлажнения агломерационной шихты с фотометрическим датчиком качества окомкования, фиксирующим интенсивность прохождения светового потока от источника света через поток шихты [2]. Поглощение интенсивности светового потока шихтой является функцией ее гранулометрического состава. Обеспечение заданной крупности гранул не обеспечивает оптимальную влажность.

Одним из способов регулирования увлажнения по показателям качества окомкования является определение газопроницаемости окомкованной шихты. Наиболее просто такой контроль осуществляется с помощью пневматического зонда, погруженного в шихту. Разработана автоматизированная система управления окомкованием агломерационной шихты на основе устройства определения газопроницаемости слоя окомкованной аглошихты в непрерывном потоке в измерительном бункер [3].

Существующие способы автоматического управления качеством окомкования не нашли применения из-за ненадежности и периодичности измерений. Поэтому в производственных условиях расход воды, подаваемой в барабан-окомкователь, устанавливают по визуальным признакам.

**Постановка задачи.** Исследовать влияние на технологию производства агломерата разработанной системы автоматизированного регулирования окомкования агломерационной шихты при существующих условиях окомкования на ОАО «МК «Азовсталь».

**Изложение материала и его результаты.** На агломашине №1 в спекательном отделении цеха агломерации ОАО «МК «Азовсталь» установлена новая система автоматизированного регулирования окомкования агломерационной шихты (САРОА) [4], предназначенная для оценки качества окомкования агломерационной шихты и регулирования расхода воды, подаваемой в барабан-окомкователь (БО). Система работает во взаимосвязи с существующей системой автоматизации агломерационного цеха InTouch. Внедренная САРОА не меняет технологический цикл производства агломерата и изменение технологии не требуется. Режим функционирования САРОА – автоматический, непрерывный, круглосуточный.

Принцип работы системы заключается в постоянном контроле с помощью видеокамеры (датчика) внешнего вида шихты, уложенной на паллеты агломашин (рис.1). Датчик устанавливается перед слоем непосредственно на агломашине в специальном кожухе, обеспечивающем исключение его механического и термического повреждений. САРОА фиксирует внешний вид уложенной в слой шихты, кодирует это изображение для передачи по каналам связи в ЭВМ, которая обрабатывает

его по заданной программе и выдает результаты в удобном для агломератчика виде и в органы регулирования. В результате определяется порозность слоя и эквивалентный диаметр гранул, распределение гранулометрического состава окомкованной агломерационной шихты. Видеокамера устанавливается в специальный кожух, в который подается воздух для отвода пыли и пара и защиты ее от высокой температуры. Объектив видеокамеры защищен дополнительным сменным окном.

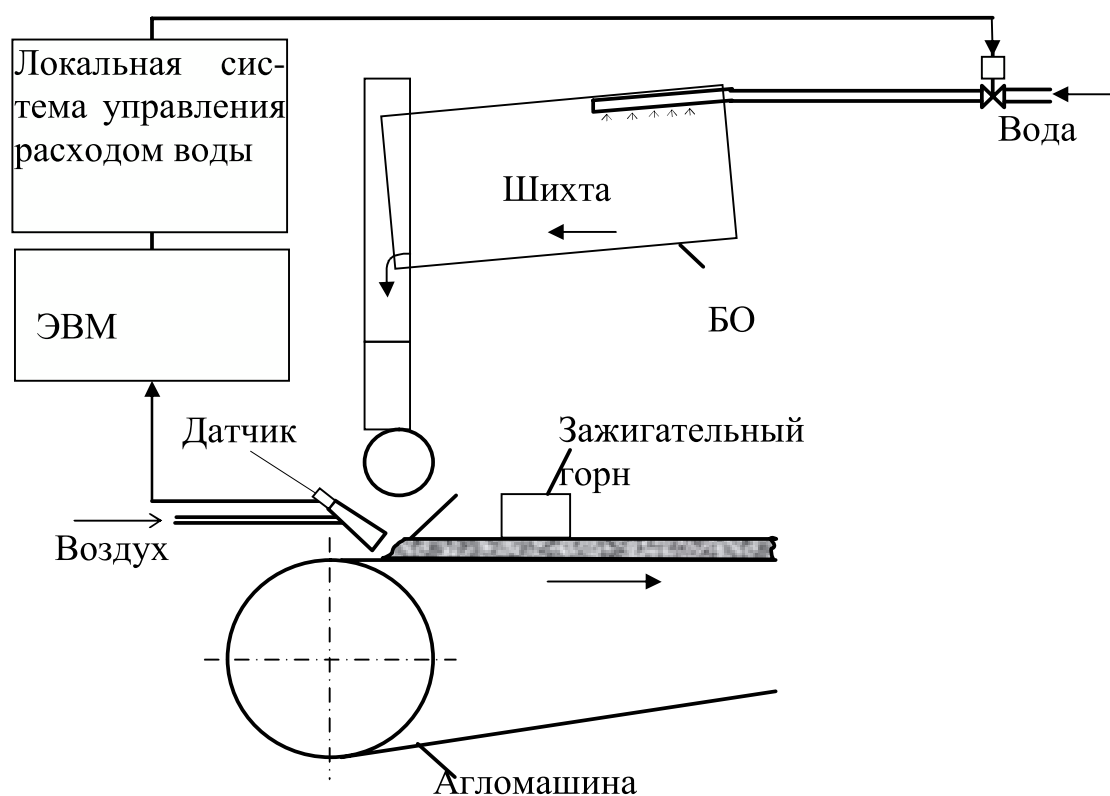


Рисунок 1 – Структурная схема САРОА

Критерий управления САРОА – обеспечение максимума порозности слоя шихты. ЭВМ формирует управляющее воздействие на основе изменения порозности и эквивалентного диаметра гранул для обеспечения максимума порозности слоя и оптимального эквивалентного диаметра гранул изменением расхода воды следующим образом. Если порозность слоя и эквивалентный диаметр гранул уменьшились относительно предыдущих усредненных значений, то влажность окомкованной шихты, т.е. расход воды на окомкование, необходимо увеличивать (т. В → т.А) (рис.2). Если порозность слоя и эквивалентный диаметр гранул увеличились относительно предыдущих усредненных значений, то влажность окомкованной шихты, т.е. расход воды на окомкование, также необходимо увеличивать (т.А → т.В). Если порозность слоя увеличилась, а эквивалентный диаметр гранул уменьшился относительно предыдущих усредненных значений, то влажность окомкован-

ной шихты, т.е. расход воды на окомкование, необходимо уменьшать (т.Д → т.С). Если порозность слоя уменьшилась относительно предыдущего усредненного значения, а эквивалентный диаметр гранул увеличился за допустимые пределы относительно предыдущего усредненного значения, то влажность окомкованной шихты необходимо уменьшать (т.С → т.Д).

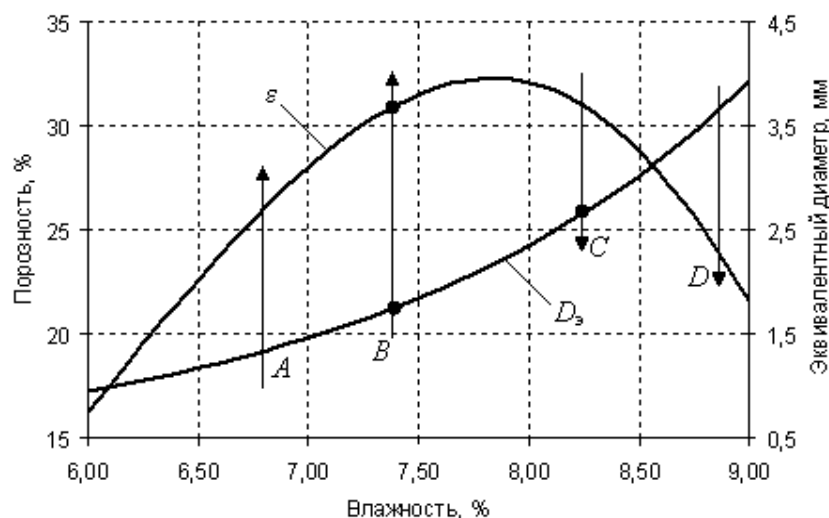


Рисунок 2 – Зависимость порозности и эквивалентного диаметра гранул от влажности шихты

Фотографирование слоя окомкованной аглошихты осуществляется автоматически по мере обработки фотографий. Рассчитанные данные сохраняются в базе данных. На основе заданных оператором периодов времени обработки рассчитываются усредненные значения порозности слоя и эквивалентного диаметра гранул шихты. Средние значения порозности слоя и эквивалентного диаметра гранул рассчитываются за одинаковые периоды времени, которые задаются вручную в пределах 0...600 сек. Допустимый предел отклонения порозности слоя задается вручную в пределах 0...5%. Допустимый предел отклонения эквивалентного диаметра гранул задается вручную в пределах 0,1...0,3 мм.

При отклонении рассчитанных усредненных значений порозности и эквивалентного диаметра за допустимые диапазоны рассчитывается новый расход воды с помощью функции регулирования:

$$Q_в = Q'_в + [K_1 \Delta \varepsilon + K_2 \Delta D_э] \cdot Q_{ин}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

где  $Q'_в$  – установленный расход воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$\Delta \varepsilon$  – изменение порозности, %;

$\Delta D_э$  – изменение эквивалентного диаметра, мм;

$K_1$  – коэффициент влияния порозности;

$K_2$  – коэффициент влияния  $D_3$ ;

$Q_{ш}$  – расход шихты,  $t/ч$ .

Значение рассчитанного нового расхода воды на окомкование  $Q_в$  передается в локальную систему управления расходом воды InTouch в качестве нового заданного значения расхода воды и отображается в окне АРМ агломератчика.

САРОА также измеряет гранулометрический состав окомкованной аглошихты. Выходная информация выдается в виде гистограммы и файла, содержащих данные о распределении гранулометрического состава окомкованной аглошихты.

Разработанное программное обеспечение «ОКО-М» позволяет работать с базой данных, просматривать и редактировать данные в табличном виде и просматривать тренды параметров.

Для исключения «разноса» регулирования САРОА текущий установленный расход воды в барабан-окомкователь из InTouch используется в качестве обратной связи. Кроме того, для обеспечения лучшего качества регулирования САРОА использует текущий расход шихты в барабан-окомкователь из InTouch.

В связи с тем, что «ОКО-М» работает на отдельной станции, то данные передаются на автоматизированное рабочее место агломератчика по локальной сети EtherNet. Файлы фотографий слоя окомкованной агломерационной шихты после обработки автоматически удаляются с жесткого диска.

После подбора и монтажа оборудования, разработки программного обеспечения осуществлено опытно-промышленное испытание САРОА и исследовано ее влияние на технологию производства агломерата. При существующих условиях окомкования (расход шихты в барабан-окомкователь – 170  $t/ч$ ; частота вращения БО – 5,5 об/мин, время пребывания шихты в БО – 1,27 мин) подобраны экспериментально настройки регулятора: текущее время усреднения – 50 с; предыдущее время усреднения – 50 с; влияние порозности –  $K_1 = 40 \text{ м}^3/(ч \cdot \%)$ ; влияние эквивалентного диаметра –  $K_2 = 0 \text{ м}^3/(ч \cdot \text{мм})$ ; нечувствительность по порозности – 0 %; нечувствительность по эквивалентного диаметру – 0 мм; нечувствительность по расходу воды – 0,2  $\text{м}^3/ч$ . Среднее время получения фотографий слоя – 2 с.

Для анализа работы САРОА сравнивались параметры работы агломашины за периоды времени, незначительно разделенные во времени, т.е. с одинаковым исходным составом шихты.

В зависимости от способа управления расходом воды на окомкование шихты были определены периоды работы агломашины (табл.1):

положительный («+»), когда расход воды регулировался САРОА; отрицательный («-»), когда расход воды регулировался вручную.

Таблица 1 – Разделение времени испытаний на периоды

Тип	Характеристика	Параметр			
		Порозность, %	Экв. диаметр, мм	Рекомендуемый расход воды, л/(ч·м)	Текущий расход воды, л/(ч·м)
«+»	$\bar{\varepsilon}$	53,25	1,306	44,45	44,45
	$\sigma(\varepsilon)$	1,13	0,140	5,46	5,46
	$r$	-	-	0,9936	
«-»	$\bar{\varepsilon}$	44,07	2,400	48,18	48,17
	$\sigma(\varepsilon)$	4,402	0,649	4,72	4,69
	$r$	-	-	0,9753	

Стабильность параметров оценивалась с помощью среднеквадратичного отклонения ( $\sigma(\varepsilon)$ ). При этом выделены две пары незначительно разделенных во времени периодов «+» и «-».

Установлено, что для периодов «+» средняя порозность  $\bar{\varepsilon}$  больше на  $\approx 10\%$ , чем для соответствующих «-». Это указывает на то, что гранулометрический состав для хорошо окомкованных шихт более равномерный, с более благоприятным соотношением крупных и мелких фракций. В плохо окомкованных шихтах – повышенное количество крупных фракций, не соответствующее оптимальному, между которыми располагаются мелкие, и в результате порозность ниже.

Средний эквивалентный диаметр гранул для периодов «+» меньше на  $\approx 0,8$  мм, чем для соответствующих «-». Это также указывает на большее содержание крупных фракций в шихте за счет переувлажнения шихты. Такое увеличение эквивалентного диаметра гранул при уменьшении порозности слоя способствует снижению газопроницаемости слоя. Также возможно ухудшение качества агломерата за счет повышенного количества крупных фракций в шихте.

Среднеквадратичное отклонение порозности слоя для периодов «+» меньше на  $\approx 4\div 6\%$ , чем для соответствующих «-». Среднеквадратичное отклонение эквивалентного диаметра гранул для периодов «+» меньше в  $\approx 4\div 10$  раз, чем для соответствующих «-». Это указывает на меньшее изменение гранулометрического состава окомкованной шихты

во времени и лучшее качество регулирования окомкованием для «+», чем для «-».

Из табл.1 видно, что рекомендуемый и установленный расходы воды почти совпадают в обоих периодах. Это обусловлено тем, что в результате усреднения значений повышенный и меньший расходы воды усреднились относительно установленного значения.

Поэтому совпадение установленного расхода воды с рекомендуемым оценивалось с помощью коэффициента корреляции  $r$  (см. табл.1). По результатам измерений установлено, что для каждой из пар периодов для «+» коэффициент корреляции выше соответствующего периода «-».

При управлении расходом воды САРОА не в рекомендательном режиме, а с использованием системы автоматизированного регулирования расхода воды, рекомендуемый расход воды и установленный будут зависеть и совпадать, следовательно, регулирование будет более качественным за счет правильной обратной связи.

С помощью САРОА фиксировались текущие значения порозности слоя, уложенного на агломашину; эквивалентного диаметра гранул окомкованной шихты; установленного агломератчиком расхода воды на окомкование; рекомендуемого САРОА расхода воды на окомкование; частота вращения тарельчатого питателя шихты. Кроме того, с помощью существующей системы контролировались температура газов в коллекторе; разрежение в коллекторе; скорость движения аглоленты; высота слоя; температуры в вакуум-камерах №10 - 13; разрежение в вакуум-камерах № 1 - 13; соотношение кокс/руда; соотношение возврат/руда; количество возврата (табл.2).

При сравнении периодов «+» и «-» видно, что особенно различны разрежения в первых вакуум-камерах: на  $10 \div 30$  мм.вод.ст. Далее разрежение примерно выравнивается. Кроме того, общее разрежение в коллекторе для «+» ниже на  $\approx 10$  мм.вод.ст. При этом необходимо учитывать, что высота слоя при «+» выше на 15 мм, чем при «-». Все указывает на более высокое качество окомкования для периода «+».

Температура в последних вакуум-камерах для «+» ниже на  $\approx 30 \div 40$  °С, чем для «-». Это также показывает, что газопроницаемость слоя лучше, и процесс спекания завершился раньше для периода «+». Это позволит увеличить скорость движения паллет агломашины, следовательно, увеличить производительность, или дополнительно поднять высоту спекаемого слоя, снижая расход топлива и повышая прочность агломерата. Температура газов в коллекторе также снизилась в связи с тем, что за счет повышения газопроницаемости большее количество воздуха проходит через спекаемый слой.

При использовании САРОА за счет увеличения высоты спекаемого слоя при неизменной скорости движения ленты производительностью агломерационной машины повысилась на 3,95 %.

Таблица 2 – Технологические параметры работы агломашины

Параметр	Среднее значение за период	
	+	-
1	2	3
Температура газов в коллекторе, °С;	92	102
Разрежение в коллекторе, мм.вод.ст.;	890	900
Скорость движения аглоленты, м/мин;	1,9	1,9
Высота слоя, мм	380	365
Температура в вакуум-камере № 10	141	172
11	184	220
12	227	270
13	72	80
Разрежение в вакуум-камере № 1	830	840
2	835	845
3	840	850
4	850	860
5	920	920
6	900	900
7	910	910
8	920	920
9	910	910
10	900	900
11	675	660
12	850	850
13	750	750



Качество агломерата практически не изменилось. Барабанная проба агломерата для периода «+» выше, чем для «-», на 0,055 %; проба на истирание выше на 0,225 %. Основность агломерата для «+» ниже, чем для «-», на 0,09. Известно, что увеличение высоты спекаемого слоя за счет улучшения газопроницаемости способствует улучшению качества агломерата и снижению негативного влияния изменения химсостава агломерационной шихты.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Испытание системы автоматизированного регулирования равномерности окомкования агломерационной шихты доказало ее работоспособность. Новый способ управления окомкованием агломерационной шихты позволит значительно увеличить газопроницаемость слоя. Оптимизация расхода воды на окомкование увеличила производительность агломашин на  $\approx 4$  %. В перспективе разработанную систему возможно для управления сегрегацией аглошихты при загрузке на агломашину и определения ее гранулометрического состава.

*Разработана система автоматизированного регулирования окомкования аглошихты. Система фиксирует внешний вид уложенной в слой шихты и передает изображение в ЭВМ, которая обрабатывает его по заданной программе и выдает результаты в локальную систему регулирования расхода воды. Опытные-промышленные испытания системы на «МК «Азовсталь» показали увеличение производительности агломашин до 4 %.*

*The system of the automated adjusting of pelletizing mix is developed. The system fixes original appearance of put charge in layer and passes the image in COMPUTER, which processes him on the set program and gives out the results in the in-plant system of adjusting an expense of water. The experimental-industrial tests of the system on «МС «Azovsteel» showed the increase of productivity of sintering machine about 4 %.*

#### **Библиографический список.**

1. Смоляк В.А. Опыт нейтронной влагометрии в черной металлургии / В.А. Смоляк, Б.В. Щербицкий, Н.Т. Евсеева – М.: Атомиздат, 1974.

2. А.с. СССР: 506636, МКИ С 22 В 1/14. Способ измерения крупности гранул шихты / А.В. Дримбо, М.Л. Фишман, А.Д. Ищенко - №2445071/22; Заявлено 12.01.77; Опубл.05.11.78; Бюл. №41. – 2с.

3. Русских В.П. Исследование газопроницаемости слоя аглошихты / В.П. Русских, С.В. Кривенко, О.В. Кривенко// Придніпровський науковий вісник - 1998. - № 96(163).-С.6-8.

*4. Патент України: 76045, МКІ С22В 1/100 Спосіб керування огрудуванням шихти / С.В. Кривенко, О.В. Кривенко – № 20041209972; Заявл. 06.12.2004; Опубл. 15.06.2006 Бюл. №6 – 9 с.*

*Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Томаш А.А.*