

6. Патент РФ № 24473921, G 01 R 31/34. Учебно-лабораторный стенд для изучения электрических машин и электроприводов. / Ю.С. Ройтбург, А.А. Сесин, Ю.П. Долгов, А.А. Прентсель, опубл. 27.01.2013.
7. Д. Н. Аминова, В. С. Мухамеджанов, В. П. Смирнов, М. Р. Халилова. Метод моделирования и библиотека моделей элементов схем вентильных преобразователей для АЦВК. Сборник Автоматизированный электропривод, Москва, Энергоатомиздат, 1983, 351с.
8. Кузьмин В.А., Мустафа Г.М., Миносян В.Л. Моделирование переходного процесса включения тиристора на АВМ. Электротехническая промышленность. Преобразовательная техника. 1978, вып. 3. - С. 6-13.
9. Нерретер В. Расчет электрических цепей на персональной ЭВМ, Москва, Энергоатомиздат, 1991. - 230 с.
10. Ю. Джозеф. Ядро Cortex-M3 компании ARM. Полное руководство. Серия «Мировая электроника». Издательский дом «Додека - XXI», Москва, 2012. - 552 с.
11. Иванушкин В.А. и др., Структурное моделирование электромеханических систем и их элементов / В.А. Иванушкин, В. Н. Сарапулов, П. Шымчак: Щецин, 2000. - 310 с.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.15

УДК 622.788: 005.591.6

Ю.С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В.Г. КУЧЕР, канд. техн. наук,  
В.Ю. БЕЛОНОЖКО, ст. преподаватель, Криворожский национальный университет

## **ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ВЛАЖНОСТИ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ**

Цель работы - исследование возмущающих факторов, снижающих эффективность работы системы автоматической стабилизации влажности шихты (САОВ), и разработка рекомендаций, направленных на уменьшение их вредного воздействия.

По мнению авторов работы наиболее перспективной САОВ шихты является система, предложенная коллективом Ново-Криворожского ГОКа. Рассматриваемая система реализует способ спекания шихты, особенность которого состоит в том, что при автоматическом регулировании законченности процесса спекания шихты одновременно регулируется ее влажность. При этом в качестве задающего импульса принимается скорость движения тележек агломерационной машины. Агломератчик вручную выбирает подачу необходимого количества воды для увлажнения шихты, которое связано с текущим содержанием в ней возврата, и включает в работу системы автоматической стабилизации высоты слоя шихты и температурно-теплового режима зажигания. После выхода на установившийся режим работы, когда текущие фактические параметры заданных величин соответствуют заданным значениям, включается работу система автоматической оптимизации влажности шихты САОВ.

В развитие этой системы предложена новая система автоматической оптимизации влажности агломерационной шихты (САОВ), в которой осуществляется коррекция задания регулятору по содержанию в шихте возврата. При этом достигается минимизация продолжительности процесса спекания шихты за счет изменения скорости движения агломерационной ленты, осуществляемой после стабилизации места окончания процесса спекания.

Использование предлагаемой авторами системы автоматической оптимизации влажности шихты САОВ позволяет обеспечить оптимальные условия для процесса спекания агломерата и за счет этого увеличить производительность агломерационных машин.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Получение агломерата высокого качества и обеспечение максимальной производительности агломерационной машины возможно лишь при использовании в производстве систем автоматического регулирования процесса спекания. Одним из перспективных направлений автоматизации процесса спекания шихты является использование систем оптимизации ее влажности (СОАВ).

Для увеличения газопроницаемости шихты, непосредственно влияющей на скорость спекания и производительность агломерационной машины, шихту увлажняют и подвергают обработке в смесителях и окомкователях. Зависимость газопроницаемости шихты от ее влажности имеет экстремальный характер, поэтому как недостаточная влажность шихты, так и избыток влаги в ней не желательны.

Для контроля влажности шихты используют разные методы: кондуктометрический, основанный на измерении электрической проводимости увлажненной шихты; тепловой, основанный на измерении теплопроводности шихты; нейтронный, основанный на контроле замедления быстрых нейтронов атомами водорода и др.

Если известна исходная влажность шихты и ее заданное значение, то количество воды, необходимое для доувлажнения шихты до заданного уровня, изменяется пропорционально расходу шихты и разности между заданным и исходным значениями ее влажности. Заданное значе-

ние дополнительного количества воды для каждого типа шихты различно и обусловлено физическими и химическими свойствами шихты.

Эффективными системами автоматического регулирования и оптимизации влажности (CAOW) агломерационной шихты являются системы, в которых первоначально заданная влажность корректируется в зависимости от изменения производительности агломерационной машины. Недостатками таких CAOW является значительное время выхода процесса регулирования на оптимальное значение влажности, так как при этом не учитывается ряд факторов, влияющих на процесс.

**Постановка задачи.** Цель работы - исследование возмущающих факторов, снижающих эффективность работы CAOW шихты, и разработка рекомендаций, направленных на уменьшение их вредного воздействия.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросам изучения влияния возмущающих воздействий на работу CAOW шихты посвящены работы В.С. Абрамова, А.Д. Ищенко, А.П. Копеловича, В.И. Коротича, А.Е. Мостового, Г.С. Нестерова, Н.В. Федоровского и др. Так А.Д. Ищенко считает, что основной задачей системы автоматического регулирования (САР) является изменение расхода воды, пропорционально расходу шихты и разности между заданным и исходным значениями ее влажности [1]. По его мнению, исходная влажность шихты в большинстве случаев оказывается недостаточной для ее качественного окомкования. Вода, поступающая в барабанный окомкователь, обеспечивает добавочное увлажнение шихты на величину, которая определяется из уравнения

$$\Delta Q_{B=} \varphi_3 - \varphi_0,$$

где  $\varphi_0$  - исходная влажность шихты, определяемая из выражения  $\varphi_0 = Q_{ВШ} / Q_{Ш}$  ( $Q_{Ш}$  - расход шихты,  $Q_{ВШ}$  - расход содержащейся в ней влаги). При этом автор исходит из предположения, что при работе системы автоматического регулирования влажности шихты (CAOW) ее конечная влажность равна заданной. Однако, как показали исследования, максимальная газопроницаемость шихты и соответствующая ей влажность не являются оптимальными с точки зрения обеспечения максимальной производительности агломерационной машины. Основным недостатком таких систем заключается в том, что заданное значение влажности выбирается обслуживающим персоналом машины субъективно на основании своего опыта работы.

А.П. Копелович и А.Е. Мостовой предлагают для эффективного ведения процесса агломерации контролировать и регулировать содержание влаги в шихте путем поддержания ее заданного значения с использованием нейтронных влагомеров [2,3]. Недостаток таких систем регулирования такой же, какой отмечен выше - заданное значение регулируемого параметра выбирается обслуживающим персоналом машины.

На ряде зарубежных и отечественных агломерационных фабрик используются CAOW шихты, в основу которых положен принцип оптимального регулирования заданной газопроницаемости шихты [4,5]. Установлено, что для шихты с различным составом компонентов разница в газопроницаемости не зажженной шихты и оптимальной влажностью величина переменная. Это говорит о нецелесообразности использования этого параметра для достижения максимальной производительности агломерационной машины.

В ФРГ для регулирования влажности шихты используют замер газопроницаемости шихты для минимизации продолжительности процесса спекания, который основан на определении момента окончания процесса спекания и скорости движения тележек агломерационной машины [6]. Приведенная схема является наиболее эффективной по сравнению с системами, рассмотренными выше, в которых регулирование влажности шихты ведется по косвенным параметрам. Схема требует доработки для привязки к конкретной технологии и элементной базе средств автоматики.

По мнению авторов данной работы наиболее перспективной CAOW шихты является система, предложенная коллективом Ново-Криворожского ГОКа. Рассматриваемая реализует способ спекания шихты, особенность которого состоит в том, что при автоматическом регулировании законченности процесса спекания шихты одновременно регулируется ее влажность. При этом в качестве задающего импульса системы выбирается скорость движения тележек агломерационной машины [7]. Блок-схема алгоритма работы данной CAOW шихты приведена на рис. 1.

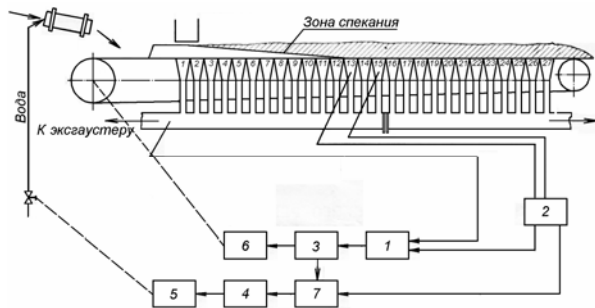


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы САОВ шихты Ново-Криворожского ГОКа по а.с. №196907

К недостаткам рассматриваемой САОВ шихты следует отнести то, что изменение места окончания процесса спекания зависит не только от влажности шихты, но и от ее состава, высоты слоя шихты на колосниковой решетке, от температурно-теплового режима процесса, температуры зажигания шихты.

Следует отметить, что необходимым условием эффективной работы шихты САОВ является наличие системы автоматической стабилизации (САС) основных параметров процесса спекания. При наличии указанных систем неучтенными возмущающими факторами этой системы являются только изменения состава шихты. Поэтому, определение и учет конкретных параметров шихты, оказывающих максимальное воздействие на работу САОВ, а соответственно и на производительность агломерационной машины, является важной задачей, не решенной до настоящего времени.

**Изложение материала и результаты.** Для определения степени влияния отдельных компонент (параметров) шихты на производительность агломерационной машины авторами данной работы проведен пассивный эксперимент, включающий обработку технологических карт производственной деятельности цеха №2 агломерационной фабрики НКГОКа за полугодие, в течение которого проходили опытно-промышленные испытания САОВ шихты, которая реализует способ спекания по авторскому свидетельству №196907 [7]. В результате обработки технологических карт с помощью теории корреляционного анализа получено линейное уравнение множественной регрессии в стандартизированном масштабе. Уравнение связывает производительность агломерационной машины  $Q$  с содержанием железа  $Fe_{ж.ч}$  и руды  $P$  в железорудной части шихты, содержанием активной извести  $CaO$  углерода  $C$  и возврата  $B$  в шихте, а также с влажностью  $W$  шихты [8]. В первом приближении зависимости между технологическими параметрами в рабочем диапазоне можно считать линейными. Для влаги  $W$  и возврата  $B$  рабочими считались участки до их максимального значения, соответственно 6,4-7,0 % и 13,0-30,0 %.

Приблизительно линейный характер парных зависимостей определил линейную форму совокупной зависимости

$$Q=0,461Fe_{ж.ч}+0,655 P+0,157 CaO-0,130C+0,627B+0,626W.$$

Совокупный коэффициент корреляции  $R=0,68$ .

Коэффициенты при входных величинах в уравнении показывают то, на какую часть среднеквадратического отклонения возросло бы значение параметра  $Q$  при увеличении определенной входной величины на среднеквадратическое отклонение при неизменном значении остальных. Анализ полученной зависимости показал, что решающее влияние на производительность агломерационной машины оказывают содержание возврата  $B$  в шихте и ее влажность  $W$ . В производственных условиях влажность шихты постоянно контролируется и корректируется вручную технологическим персоналом. В то же время, проведенные авторами в условиях агломерационной фабрики НКГОКа исследования основных возмущающих воздействий САОВ шихты, показали, что 48,4 % отказов в работе системы вызваны изменениями содержания в шихте возврата  $B$  [9]. Исследования, проведенные Н.В. Федоровским и Е.М. Дементьевой, показали, что «в промышленном агломерационном производстве природа возмущающих воздействий такова, что поддерживать длительное время содержание возврата в шихте на вычисленном оптимальном уровне не представляется возможным из-за ограниченных размеров бункеров возврата [10]. Работниками Южного ГОКа (г. Кривой Рог) установлено, что изменения количества возврата в шихте требует корректировки большинства входных параметров высоты слоя шихты, температуры зажигания, скорости движения спекательных тележек и влажности шихты [11].

Поскольку в предлагаемой САОВ шихты высота слоя и температурно-тепловой режим зажигания стабилизируется локальными подсистемами, а скорость движения спекательных тележек является обратной связью в САОВ шихты, то неучтенным фактором является лишь фактор изменения возврата в шихте. Указанный фактор предлагается использовать для коррекции заданного значения влажности шихты.

Блок-схема алгоритма работы предлагаемой системы оптимизации влажности шихты приведена на рис. 2. Реализация предложенного алгоритма в производственных условиях осуществляется следующим образом.

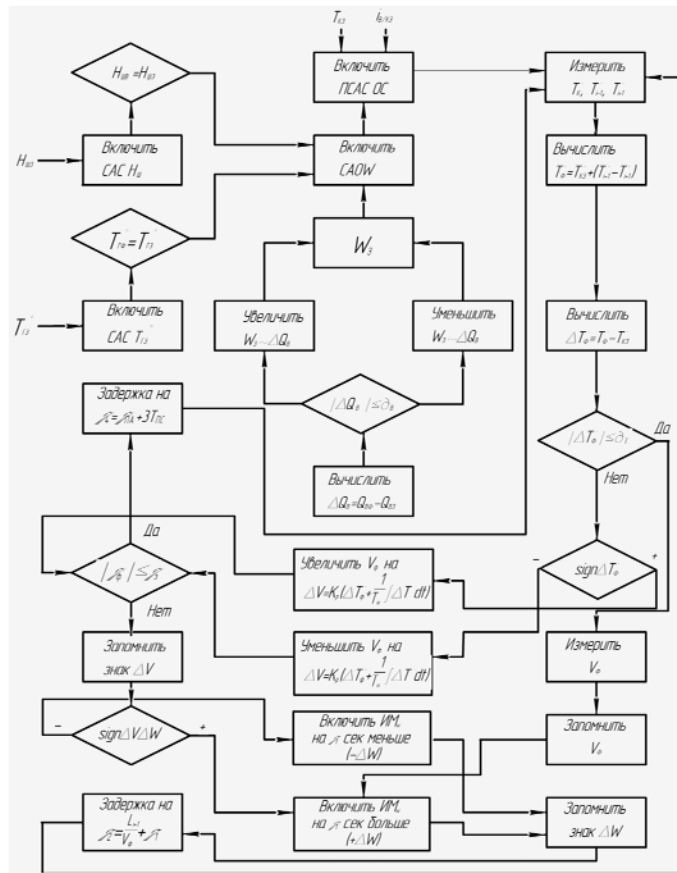


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы усовершенствованной САОВ шихты Ново-Криворожского ГОКа по а.с. №196907

Агломератчик вручную выбирает подачу необходимого количества воды для увлажнения шихты  $W_3$ , которое связано с текущим содержанием в ней возврата, и включает в работу системы автоматической стабилизации высоты слоя шихты  $CACH_{ш}$  и температурно-тепловой режим зажигания  $CACT_2^0$ . ( $T_2^0$  - температуры в горне). После выхода на установившийся режим работы  $CACH_{ш}$  и  $CACT_2^0$ , когда текущие фактические параметры заданных величин соответствуют заданным значениям  $H_{шф} = H_{шз}$  и  $T_{эф}^0 = T_{з3}^0$ , включается работу система автоматической оптимизации влажности шихты САОВ. Первым этапом работы этой системы является стабилизация заданного места окончания процесса спекания с помощью подсистемы ПСАС ОС по сумме температуры коллектора  $T_{кз}^0$  и разности температур в вакуум-камерах, расположенных по обе стороны от заданного места -  $i$ -й вакуум-камеры. При стабилизации места окончания процесса спекания, когда разность температур  $T_{i=1}^0$  и  $T_{i+1}^0$  равна или больше допустимого значения  $\delta$  включается в работу контур регулирования влажности шихты, выдающий импульс на изменение количества воды, подаваемой в окомкователь. Изменение влажности шихты вызовет изменение вертикальной скорости спекания и перемещение места окончания процесса в ту или другую сторону от  $i$ -й вакуум-камеры. Подсистема ПСАС ОС, изменяя скорость движения спекательных тележек  $V_{ф}$  на определенную величину  $\Delta V$ , вернет место окончания процесса спекания в район  $i$ -й вакуум-камеры. После стабилизации новых значений влажности шихты  $W_{ф} + \Delta W$  и скорости движения спекательных тележек  $V_{ф} + \Delta V$  подсистема САОВ выдаст следующий импульс на изменение количества воды, подаваемой на доувлажнение шихты. Сигнал на изменение количества воды  $\Delta W$  поступает только после стабилизации места окончания процесса спекания. Постепенно влажность шихты будет приближаться к оптимальному значению, обеспечивающему максимальную производительность агломерационной машины для данного состава шихты. При изменении содержания возврата в шихте и выходе его за установленные пределы -  $|\Delta Q_B| \leq \delta_Q$ , система САОВ скорректирует заданное ранее задание  $W_3$  в ту или другую сторону, при увеличении количества возврата - в сторону увеличения, а при уменьшении - в сторону уменьшения с учетом времени транспортного запаздывания потока шихты с возвратом.

**Выводы.** Использование предлагаемой авторами системы автоматической оптимизации влажности шихты САОВ с коррекцией заданного значения влажности в зависимости от изменения количества возврата позволяет обеспечить оптимальные условия для процесса спекания агломерата и за счет этого увеличить производительность агломерационных машин.

## Список литературы

1. **Ищенко А.Д.** Статические и динамические свойства агломерационного процесса. – М.: Metallurgiya, 1972. – 320 с.
2. **Копелович А.П.** Комплексная автоматизация процесса производства агломерата / Бюллетень ЦНИИЧМ. Серия 3. 1961.
3. **Копылов В.Г., Мостовой Л.Е.** Измерение влажности аглошихты нейтронным влагомером.- Metallurg, 1974. - №7.
4. **Клиновицкий М.Д., Копелович А.П.** Автоматический контроль и регулирование в черной металлургии. Справочник. - М.: Metallurgiya, 1967. – 250 с.
5. **Крижевский А.З., Кучер В.Г.** Газопроницаемость как параметр регулирования производительности агломерационной установки / Автоматизация агломерационного и доменного производства. – К.: Техніка, 1969. – 206 с.
6. **Савицкая Л.И.** Развитие агломерационного производства в странах Западной Европы / Ин-т Черметинформация. Серия «Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу». – М.: 1982.
7. **Мигуцкий Л.Р., Рудь Ю.С., Кучер В.Г.** и др. Способ спекания шихты. А.С. СССР, №196907.
8. **Федоровский Н.В., Рудь Ю.С., Кучер В.Г.** и др. Исследование основных параметров регулирования процесса спекания агломерата. В ст. «Теория и практика автоматизации агломерационного процесса», Киев, 1971, с. 126-133 (256 с.).
9. **Кучер В.Г.** Исследование основных возмущающих воздействий систем автоматического регулирования процесса спекания агломерата. - Проблемы автоматизации агломерационного производства. - Материалы Всесоюзной конференции. - К., 1973. - 376 с.
10. **Федоровский Н.В., Дементьева Е.М.** К вопросу создания структурно-алгоритмической части АСУТП в агломерационном производстве. - Проблемы автоматизации агломерационного производства. - Материалы Всесоюзной конференции. - К., 1973. - 376 с.
11. **Новак С.Б.** и др. Теория и практика управления агломерационным процессом. ЮГОК / Под редакцией **В.А. Мартыненко.** - Кривой Рог, 2006. –121 с.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.15

УДК 622.647.2: 681.518.54

М.М. КОНДРАТЕНКО, ст. викладач, Криворізький національний університет

### **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПУСКОВИХ РЕЖИМІВ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ АНАЛІЗУ СТАНУ РОЛИКООПОР І БАРАБАНІВ**

З метою зменшення витрат на ремонти, міжремонтне обслуговування конвеєрів, а також для своєчасного виявлення і заміни зношених роликкоопор запропонований метод діагностики стану роликів і барабанів. Він ґрунтований на експрес-аналізі динамічних навантажень, що виникають в електроприводі в пусковому режимі, оцінці енерговитрат на ці процеси. Дослідження витрат електроенергії на динамічні процеси, що виникають при несправності роликів або барабанів, можливо на основі математичної моделі для процесів пуску з урахуванням мас роликів і їх стану. Оцінка динамічних характеристик конвеєра виконується шляхом моделювання залежностей, що зв'язують швидкості, шлях переміщення стрічки на головних і допоміжних барабанах, роликах, динамічне зусилля в стрічці з величиною і характером зміни рушійного зусилля, що розвивається електроприводом під час діагностики і при еталонних випробуваннях. Діагностика по запропонованому методу виконується в період часу, коли по черзі залучаються до обертання роликів вантажної гілки конвеєра. У момент початку обертання стрічкою хвостового барабана буде отримана повна інформаційна картина стану елементів вантажної гілки, що обертаються, а можливість діагностики за цим методом припиниться.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Відомо, що витрати на ремонт і міжремонтне обслуговування машин в середньому за рік складають від 10-15 до 25% вартості устаткування [1]. Для машин, працюючих в особливо важких умовах, таких як в гірській, вугільній, будівельній промисловості, витрати тільки на капітальні ремонти сягають 50 % їх вартості.

Більша частина деталей машин (80-85%) виходить з ладу внаслідок інтенсивного зношування. Це вказує на те, що при проектуванні і експлуатації машин і механізмів далеко не завжди використовують найбільш ефективні засоби зменшення тертя і зношування [2]. Крім того, значний вплив на процес тертя справляє характер матеріалу, що транспортується.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Особливості транспортування крупнокускових матеріалів, вплив їх вантажопотока на довговічність елементів описувалися в роботах [3-5].

Для своєчасного виявлення і заміни зношених роликів потрібна постійна їх діагностика [6,7].

При експлуатації стрічкових конвеєрів існує можливість експрес-аналізу стану роликів і барабанів на підставі аналізу динамічних навантажень, що виникають в електроприводі в пусковому режимі, і оцінки енерговитрат на ці процеси [8].