

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ШАРОВЫХ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ ДЛЯ ТЭС

Евгений Пистун, Владимир Заграй, Григорий Николин

Рассмотрена автоматизированная система регулирования шаровых барабанных мельниц для тепловых электрических станций, реализованная на новом самонастраивающемся регуляторе-оптимизаторе. Экономический эффект от внедрения системы на одной мельнице за счет прямой экономии электрической энергии составляет от 20 до 80 тысяч долларов США в год в зависимости от типа мельницы и вида размалываемого материала.

**Т**ехнологические процессы измельчения материала с помощью шаровых барабанных мельниц (ШБМ) весьма важны для многих отраслей промышленности. Особое значение они имеют для тепловых электрических станций (ТЭС), работающих на твердом топливе – угле, измельчение которого осуществляется с помощью ШБМ. Это связано с тем, что такие углеразмалывающие мельницы являются крупными потребителями электроэнергии на ТЭС, так как процессы измельчения весьма энергоемки. Так, расход электрической энергии на пылеприготовление на ТЭС составляет около 25% от общего расхода электрической энергии на собственные нужды, или, что то же самое, около 2% от общей выработки электрической энергии.

И все же технологические процессы измельчения шаровыми барабанными мельницами слабо автоматизированы. Это связано, с одной стороны, с тем, что отсутствовали методы измерения основных параметров процесса измельчения, например, количества угля в ШБМ, производительности ШБМ и осо-

бенно определения предаварийного состояния мельницы, при котором ШБМ настолько загружена размалываемым материалом, что это влечет за собой резкое снижение ее производительности и завал мельницы. Чтобы не допустить аварийного состояния мельницы, обслуживающий персонал значительно снижает ее производительность путем уменьшения подачи угля в мельницу и тем самым увеличивает энергоемкость размола. С другой стороны, отсутствовали надежные методы поиска оптимальной загрузки мельницы, при которой достигается максимально возможная ее производительность, так как превышение оптимальной загрузки мельницы вызывает ее аварийное состояние – завал мельницы размалываемым материалом.

Тем не менее, многочисленные исследователи, ставя перед собой задачу автоматизации ШБМ, проводили серьезные, в основном экспериментальные, исследования ШБМ и устанавливали взаимосвязи основных технологических параметров процесса измельчения с рядом косвенных показателей. На базе этих исследований были предложены

схемы автоматизации ШБМ по температуре аэросмеси на выходе мельницы, по перепаду давления на барабане мельницы, по акустическому сигналу мельницы. Однако все эти системы не могли обеспечить максимально возможную производительность мельницы, не предотвращали возможности завала мельницы. Следует отметить, что максимально возможная производительность зависит от характеристик угля (зерновой состав, коэффициент размалывающей способности, концентрация породы, влажность и др.), от характеристик пылесистемы (сушильная, вентиляционная и размалывающая возможности), от степени загрузки мельницы углем, от характера подачи угля в мельницу. Опыт эксплуатации разработанных ранее систем поставил задачу их усовершенствования в плане создания новых алгоритмов расчета действительных значений основных технологических параметров процесса измельчения, включая реализацию нового способа измерения количества угля в мельнице. Кроме того, ставилась задача разработки новых алгоритмов оптимизации работы мельницы как в штатных условиях ее работы,

так и при ограничениях по сушильной и вентиляционной возможностям пылесистемы. Необходимо было также предусмотреть дополнительные меры по защите мельницы и отработке аварийных ситуаций. В результате поиска современных технических средств для создания интеллектуального регулятора-оптимизатора, реализующего все перечисленные задачи, выбор пал на промышленные компьютеры серии MicroPC, производимые фирмой Octagon Systems (США). Выполненное нами моделирование ШБМ показало, что максимально возможная производительность мельницы в зависимости от характеристик угля и пылесистемы достигается при различных уровнях загрузки мельницы размалываемым материалом на уровне 80-95% максимально возможной загрузки.

В условиях реальной эксплуатации максимальная производительность иногда ограничивается сушильной или вентиляционной возможностями пылесистемы. Недостаток первой может возникать из-за большой влажности размалываемого материала относительно номинального значения или понижения температуры сушильного агента. Низкая сушильная возможность пылесистемы, как правило, характеризуется уменьшением температуры аэросмеси за мельницей ниже минимально допустимого значения. Недостаток вентиляционной возможности может возникнуть из-за завалов входной или выходной горловины барабана ШБМ (при этом перепад давления на барабане ШБМ превышает максимально допустимое значение).

Особо важное значение при эксплуатации ШБМ имеет недопущение превышения максимально допустимого значения температуры аэросмеси, что может привести к взрыву пылесистемы. В связи с этим в регуляторе-оптимизаторе реализованы механизмы, препятствующие перегреву аэросмеси. Кроме того, предусмотрена сигнализация предаварийной ситуации с возможностью отключения подачи греющего агента.

С учетом защиты пылесистемы в разработанном регуляторе принимаются меры предосторожности, не допускающие выхода температуры за пределы заданного диапазона, а также превышения максимально допустимого значения перепада давления на барабане мельницы.

Благодаря разработанному специальному алгоритму регулятор автоматически самонастраивается под соответствующую пылесистему, размалывающую

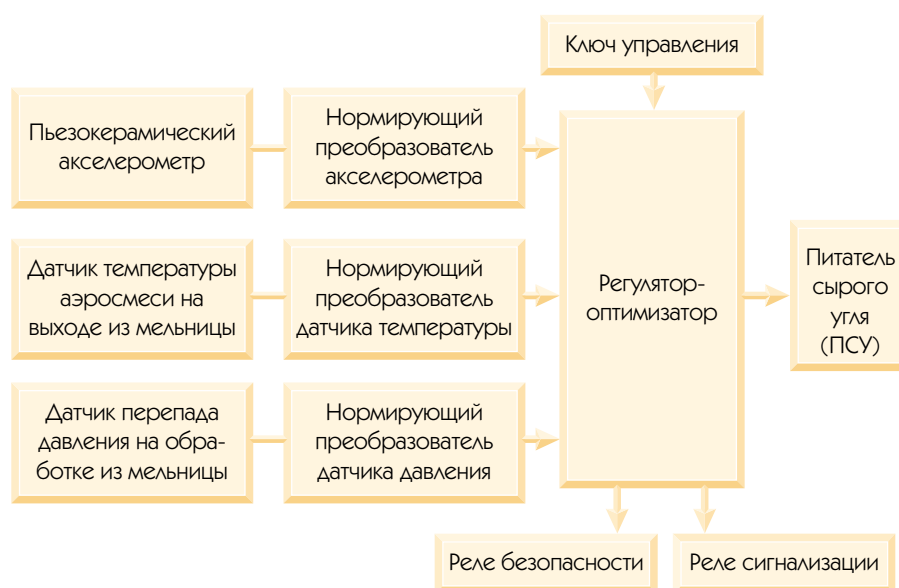


Рис. 1. Структурная схема системы регулирования и оптимизации ШБМ

способностью мельницы, а также под качественные характеристики размалываемого материала. При изменении этих параметров регулятор сам изменяет свои настройки, изменяя подачу размалываемого материала в мельницу таким образом, чтобы производительность была всегда максимальной. При ограничениях же пылесистемы по сушке, вентиляции или максимальной температуре аэросмеси за мельницей подача материала производится таким образом, чтобы температура аэросмеси за мельницей находилась в заданных пределах, а перепад давления не превышал максимально допустимого значения.

Структурная схема системы регулирования и оптимизации ШБМ показана на рис.1.

Пьезокерамический акселерометр устанавливается на переднем подшипнике мельницы и служит для измерения виброускорения подшипника мельницы, которое непосредственно коррелирует с нагрузкой мельницы углем. Учет взаимосвязи между этими параметрами реализуется как блоком преобразования, так и регулятором-оптимизатором. В качестве датчика температуры аэросмеси может использоваться термометр сопротивления или любой другой датчик, сигнал от которого поступает на соответствующий нормирующий преобразователь. Для измерения перепада давления на барабане мельницы может использоваться любой датчик перепада давления с соответствующим нормирующим преобразователем. Все нормирующие преобразователи имеют унифицированные выходные сигналы 0... 5 мА, которые поступают на соответствующи-

е аналоговые входы регулятора-оптимизатора. Ключ управления осуществляет перевод системы в состояние ручного управления «Дистанция» или в состояние автоматического управления «Автомат». Подача угля в мельницу осуществляется с помощью ПСУ, которым непосредственно управляет регулятор-оптимизатор. Реализация управляющего действия регулятора-оптимизатора осуществляется путем включения-выключения ПСУ или изменением положения ножа ПСУ. В системе предусмотрено управляющее реле, которое включается регулятором-оптимизатором при превышении температуры аэросмеси ее максимально допустимого значения для обеспечения безопасности пылесистемы, а также реле сигнализации для световой сигнализации резкого изменения (уменьшения) производительности ПСУ.

Значение температуры аэросмеси на выходе из мельницы, перепад давления на барабане мельницы и относительное значение степени загрузки мельницы углем постоянно выводятся на переднюю панель регулятора-оптимизатора (рис. 2). На эту же панель выводятся допустимые границы изменения температуры аэросмеси и перепада давления на барабане мельницы, а также информация о текущем состоянии регулятора-оптимизатора.

На жидкокристаллическом дисплее приняты следующие обозначения:

Pm – параметр;  
T(С) – температура аэросмеси на выходе из мельницы (°С);  
ΔP(Pa) – перепад давления на барабане мельницы (Па);

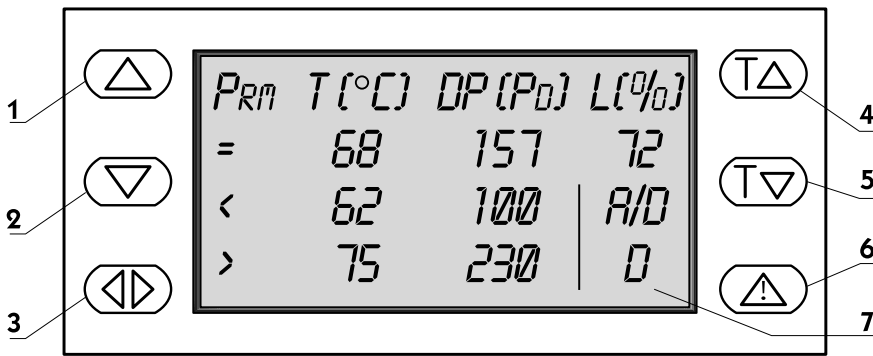


Рис. 2. Передняя панель регулятора-оптимизатора

- 1 – табло сигнализации открытия подачи угля в мельницу;
- 2 – табло сигнализации закрытия подачи угля в мельницу;
- 3 – табло сигнализации ограничения вентиляционной возможности мельницы;
- 4 – табло сигнализации превышения максимально допустимого значения температуры;
- 5 – табло сигнализации ограничения сушильной возможности мельницы;
- 6 – табло сигнализации наличия предаварийной ситуации;
- 7 – жидкокристаллический дисплей.

$L (%)$  – относительная степень загрузки мельницы углем (%);

A/D – состояние ключа управления регулятором (A – автоматическое, D – дистанционное);

= – текущие значения измеряемых параметров (для примера, представленного на рис. 2,  $T=68$ ,  $DP=157$ ,  $L=72$ );

< – минимальное значение параметра ( $T_{min}=62$ ,  $DP_{min}=100$ );

> – максимальное значение параметра ( $T_{max}=75$ ,  $DP_{max}=230$ ).

Минимальные и максимальные значения температуры аэросмеси и перепада давления на барабане мельницы ( $T_{min}$ ,  $T_{max}$ ,  $DP_{min}$ ,  $DP_{max}$ ) задаются для каждого типа мельницы и конкретной реализации системы пылеприготовления индивидуально.

Основным режимом работы регулятора-оптимизатора является обеспечение подачи в мельницу такого количества сырого угля, при котором достигается максимально возможная производительность мельницы.

При наличии ограничений по сушильной или вентиляционной возможностям мельницы, а также при возникновении предаварийных ситуаций регулятор-оптимизатор переходит в другие режимы работы.

При понижении температуры ниже минимально допустимого значения независимо от степени загрузки мельницы или перепада давления на барабане мельницы регулятор-оптимизатор закрывает подачу сырого угля в мельницу. На передней панели регулятора-оптимизатора при этом загорится табло «ТΔ», которое сигнализирует, что  $T < T_{min}$ . Запрет на подачу сырого угля в мельницу и сигнализация по темпера-

туре действуют до тех пор, пока значение  $T$  не превысит  $T_{min}$  на  $2^{\circ}C$ .

Запрет на подачу угля в мельницу также возникает при превышении максимально допустимого значения перепада давления на барабане мельницы ( $DP > DP_{max}$ ), при условии, что значение температуры аэросмеси за мельницей находится в допустимых границах ( $T_{min} < T < T_{max}$ ). В этой ситуации загорается табло 3 «<>». При снижении перепада давления на барабане мельницы до допустимого уровня ( $DP < DP_{max} - 30$ ) гасится табло «<>» и снимается запрет на подачу угля в мельницу.

Предаварийная ситуация возникает при неисправности каналов измерения

температуры или перепада давления, а также при наличии высокой температуры аэросмеси на выходе из мельницы в условиях большой степени загрузки  $L > 80\%$ ,  $T > (T_{max} - 3)^{\circ}C$ . В таких случаях, независимо от значений температуры аэросмеси, перепада давления на барабане мельницы или степени загрузки мельницы, регулятор-оптимизатор запрещает подачу сырого угля в мельницу. Отмена запрета на подачу угля в мельницу возможна лишь при условии устранения причин, которые послужили причиной возникновения предаварийной ситуации.

Кроме того, на щит машиниста выводится сигнализация резкого уменьшения производительности питателя сырого угля (недостаточное открытие ножа, попадание инородных предметов). Эта сигнализация и сигнализация выхода измерительных параметров за допустимые границы осуществляется постоянно, независимо от режима работы регулятора-оптимизатора.

При повышении температуры аэросмеси более максимально допустимого значения загорается табло «ТΔ» и регулятор-оптимизатор подает управляющий сигнал на прикрытие шибер горячего воздуха. Уменьшение температуры аэросмеси ниже максимально допустимого значения на  $2^{\circ}C$  снимает управляющий сигнал на шибер и гасит табло «ТΔ».

При выходе системы из ограничивающих условий регулятор-оптимизатор переходит в режим динамической оптимизации в поиске оптимального значения степени загрузки мельницы углем.

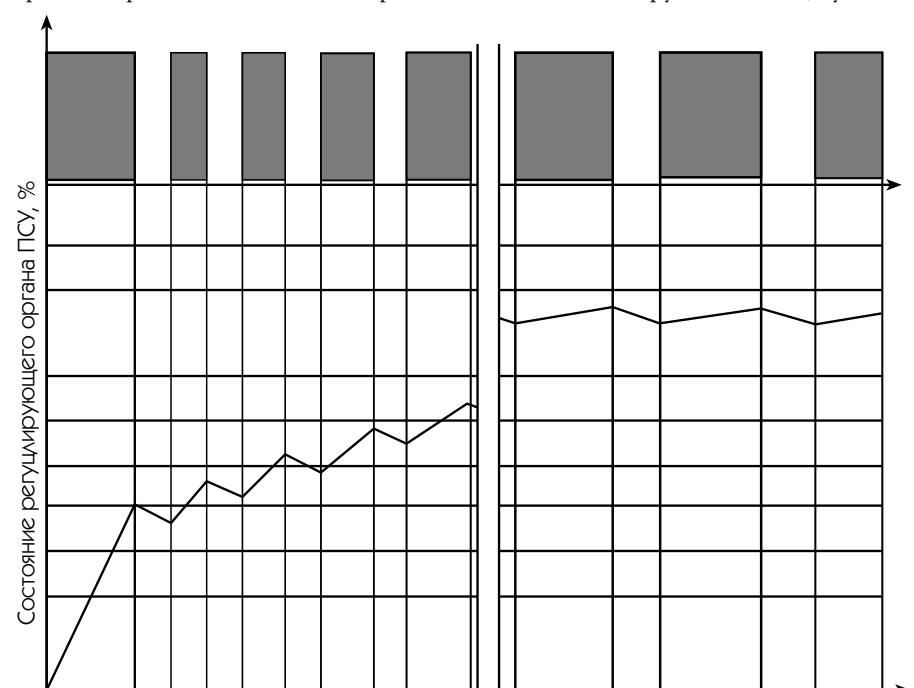


Рис. 3. Циклограмма работы регулятора-оптимизатора

При отсутствии ограничений по сушьной и вентиляционной возможностям мельницы и при отсутствии предаварийной ситуации режим работы регулятора-оптимизатора определяется относительной степенью загрузки мельницы. Так, при относительной степени загрузки мельницы менее 40% уголь подается в мельницу непрерывно с максимально возможной производительностью ПСУ. В других случаях подача угля в мельницу осуществляется по специальному алгоритму до достижения оптимального значения степени загрузки углем (рис. 3).

При достижении оптимального значения загрузки мельницы, когда пылесистема работает с максимально возможной производительностью, регулятор-оптимизатор поддерживает это значение до тех пор, пока не изменятся условия технологического процесса.

Основным условием обеспечения нормальных условий протекания технологического процесса измельчения в мельнице является достаточная производительность ПСУ, которая должна превышать размалывающую возможность мельницы в 1,5-2 раза.

При недостаточной производительности ПСУ регулятор-оптимизатор работает в нестандартном режиме, характеризующемся заниженной степенью загрузки мельницы. Это, в свою очередь, приводит к неэффективной работе пылесистемы.

Ограничивающими факторами для достижения максимально возможной производительности мельницы являются также недостаточные сушильная и вентиляционная возможности мельницы. При возникновении таких ограничений оптимизация работы мельницы возможна в пределах указанных ограничений.

На рис. 4 представлены общий вид регулятора-оптимизатора, блок нормирующих преобразователей и пьезокерамический акселерометр, на рис. 5 – их вид без кожуха, а на рис. 6 – ПСУ.

Рассматриваемая система регулирования и оптимизации ШБМ обеспечивает выполнение следующих функций:

- измерение и расчет действительных значений трёх основных технологических параметров: степени загрузки шаровой барабанной мельницы размалываемым материалом, температуры аэросмеси на выходе из мельницы и перепада давления на барабане мельницы;
- оптимизацию процесса измельчения, включающую непрерывный поиск и стабилизацию, путем управления по-

дачей размалываемого материала в мельницу, такого значения степени загрузки шаровой барабанной мельницы, при котором обеспечивается максимально возможная производительность мельницы;

- непрерывное определение сушильной и вентиляционной возможностей пылесистемы, а в случае их снижения до критических значений – оптимизацию работы мельницы в пределах указанных ограничений;
- динамическую оптимизацию процесса измельчения при переводе системы из режимов с указанными ограничениями или из выхолощенного состояния мельницы в режим оптимальной загрузки;
- визуализацию в удобной для оператора форме режимов работы регулятора, текущих значений степени загрузки мельницы, температуры аэросмеси за мельницей и перепада давления на барабане мельницы, а также минимальных и максимальных допустимых значений температуры аэросмеси и перепада давления на мельнице;
- сигнализацию открытия и закрытия подачи размалываемого материала в мельницу, возникновения ограничений по сушильной и вентиляционной возможностям пылесистемы, превышения максимального допустимого значения температуры аэросмеси, а также наличия предаварийных ситуаций;



Рис. 4. Регулятор-оптимизатор и блок нормирующих преобразователей



Рис. 5



Рис. 6. Питатель сырого угля тепловой электрической станции

- безударный переход с ручного управления загрузкой мельницы на автоматическое;
- формирование управляющих сигналов при превышении температурой аэросмеси её максимально допустимого значения для обеспечения защиты пылесистемы, а также при резком снижении производительности питателя мельницы;
- предотвращение завала мельницы размалываемым материалом;
- гарантию безопасной работы пыле-

системы в автоматическом режиме. Внедрение системы обеспечивает существенное повышение производительности шаровой барабанной мельницы независимо от качественных характеристик размалываемого материала и состояния пылесистемы, а также снижение расхода электроэнергии на единицу веса размалываемого материала. Достижимая выгода от внедрения на одной мельнице за счет прямой экономии электрической энергии составляет от 20 до 80 тысяч долларов США в год в

зависимости от типа мельницы и вида размалываемого материала. ●