

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕЛЬНИЦ-ВЕНТИЛЯТОРОВ

В статье рассматриваются различные технологии регулирования вентиляционной производительности мельниц-вентиляторов, в том числе разработанные авторами и защищенные патентами РФ. Предлагается методика расчета экономичности одной из новых технологий. Дана качественная оценка экологической эффективности этой технологии.

Ключевые слова. Пылесистема, мельница-вентилятор, вентиляционная производительность, размольная производительность, технологии, шибер, дросселирование, сушка топлива.

В настоящее время большинство специалистов-теплоэнергетиков считает, что шлакующиеся бурые угли типа Канско-Ачинских КАУ целесообразно сжигать при низких температурах (менее 1280 °С). Такой подход реализуется, в частности, в совместном проекте Сибирского отделения ВТИ и АО «Сибэнергомаш» опытно-промышленного котла со ступенчатым сжиганием КАУ для Минусинской ТЭЦ. Низкотемпературное горение в котельных агрегатах сравнительно просто может быть обеспечено при использовании пылесистем прямого вдувания, оборудованных мельницами-вентиляторами (МВ) с газовой сушкой топлива.

Преимущества и недостатки пылесистем с МВ анализировались нами в работе [3], где отмечалось, что увеличение расхода вентиляционных газов выше оптимального значения ведет к негативным последствиям: росту температуры аэросмеси до взрывоопасных пределов; ухудшению работы котла из-за повышения тепловых потерь q_2 - q_4 и затрат электроэнергии на собственные нужды. Оптимальное значение указанного параметра должно определяться при наименьшей сумме вышеуказанных тепловых потерь и затрат электроэнергии и обычно соответствует минимальному расходу, необходимому для сушки топлива. Поскольку МВ при проектировании выбираются с

запасом производительности, при условии работы всех пылесистем приходится существенно ограничивать их вентиляционную производительность (ВП) при номинальной нагрузке котла.

В последние годы для регулирования ВП были предложены несколько технологий, и в настоящее время известны следующие способы: дросселирование напорного и всасывающего газоходов поворотными шиберами, изменение частоты вращения ротора МВ с помощью гидромуфт или электропривода, дросселирование напорной части корпуса МВ лопатками сепаратора и рециркуляция газов из напорного во всасывающий газоход и дросселирование верхней части сечения входа газов в МВ с помощью телескопического полуцилиндра.

Наиболее существенный недостаток всех указанных способов – недостаточная глубина регулирования вентиляционной производительности, которая ограничена минимальной скоростью аэросмеси в пылепроводах (не менее 14 м/с). Кроме того, внедрение способа изменения частоты вращения ротора МВ требует существенных дополнительных капитальных вложений, а дросселирование, как известно, связано с необратимыми потерями энергии. С учетом этого на практике применяют одновременно несколько мероприятий: какой-либо из используемых в кон-

* - автор, с которым следует вести переписку.

кретном случае способов дросселирования тракта пылесистем дополняют присадкой «холодных» дымовых газов во всасывающий газоход МВ. При условии сохранения минимальной скорости аэросмеси такая присадка позволяет заменить «горячие» газы, забираемые из топки, на «холодные» – из «хвоста» котла, что обеспечивает снижение температуры аэросмеси до безопасных значений (не более 220 °С).

Таким образом, применение существующих способов регулирования связано с потерями энергии в пылесистемах, а ВП остается завышенной, что приводит к дополнительным потерям тепла и энергии по котлу в целом.

Наиболее полно решить проблемы регулирования нагрузки котлов с МВ позволит внедрение рассмотренной ранее технологии [3]: «Способ регулирования мощности котельного агрегата» [1]. Наибольший эффект, по нашему мнению, может быть достигнут при применении предлагаемого способа на котлах паропроизводительностью до 420 т/ч, имеющих небольшое число МВ (до 4-х). При использовании предлагаемого способа регулирование ВП будет необходимо лишь в узком диапазоне нагрузок, когда число МВ постоянно. При этом могут применяться любые известные способы, упомянутые выше.

Для уменьшения необратимых потерь энергии при, собственно, регулировании ВП в этом узком диапазоне на кафедре ПТЭ БрГУ разработана оригинальная технология «Способ регулирования вентиляционной производительности мельницы-вентилятора. Устройство для его осуществления» [2].

Способ заключается в том, что дросселирование всасывающего тракта вентилятора осуществляют топливом, количество которого меняют на наклонном участке топливопровода перед МВ в обратной зависимости от расхода топлива. На рис.

1 представлено устройство для реализации способа.

На наклонном участке всасывающего тракта 2 устанавливается поворотный шибер 1. Шибер создает с нижней стороны газохода угол α , величина которого может меняться в зависимости от потребности в газах. Через вершину регулируемого угла проходит ось вращения 3 шибера, связанная с электроприводом.

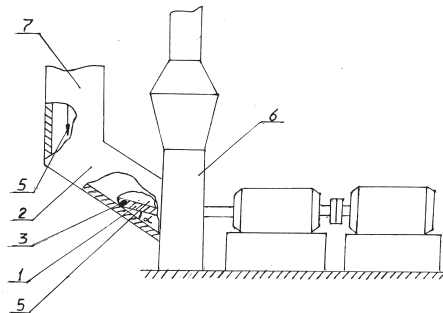


Рис. 1. Способ регулирования вентиляционной производительности мельницы-вентилятора и устройство для его осуществления: 1 – поворотный шибер; 2 – всасывающий тракт; 3 – ось вращения шибера; 5 – топливо; 6 – мельница-вентилятор; 7 – газоход.

Устройство работает следующим образом. При большом расходе топлива регулируемый угол равен нулю, и шибер не задерживает топливо 5, стекающее по наклонному топливопроводу на поверхность шибера и далее в МВ 6, поскольку угол наклона топливопровода на практике делают больше угла естественного откоса топлива. Расход газа при этом максимален. При малом расходе топлива регулируемый угол может быть увеличен вплоть до 90 градусов, высота находящегося на нем слоя топлива возрастает, а расход газов уменьшается. При этом из-за накопления топлива на шибере с увеличением угла поворота наибольшая часть сечения топливопровода будет перекрываться топливом, и время его пребывания во всасывающем (сушильном) газоходе 7 возрастает.

Увеличение времени движения топлива к МВ обеспечит его более глубокую сушку перед размолотом и улучшит условия работы МВ. Затраты энергии на дросселирование будут частично компенсированы уменьшением расхода электроэнергии на размол в мельнице и увеличением срока ее межремонтного обслуживания. Таким образом, предлагаемый способ является более экономичным сравнительно с дросселированием любыми дросселирующими органами (кроме топлива), поскольку его применение повышает экономичность работы аналогично регулированию расхода газов направляющим аппаратом перед вентилятором. Такой способ, как известно, всегда эффективнее простого дросселирования. Кроме этого, предполагаемая экономия будет определяться также дополнительной подсушкой топлива перед МВ при использовании предлагаемого способа и устройства (в дальнейшем изложении «устройство»).

По данным различных исследователей, сушка топлива в газоходе перед МВ происходит неравномерно по его длине и для различных фракций. Интенсивность сушки сильно снижается по мере движения топлива, особенно для крупных фракций. Так, по данным немецких исследователей, изложенным в [4], изменение влажности крупных фракций угля на первых 2 м газохода составило $\approx 4\%$, а на последних 2 м – $\approx 0,5\%$. Исследователи объясняют это, в основном, снижением температурного напора и увеличением влажности сушильного агента по газоходу. Представляется, что важную роль в этом процессе играют также уменьшение времени движения по участкам и снижение теплоотдачи конвекцией в наклонном газоходе, когда топливо омывается газами только с одной стороны.

Авторам представляются возможными преимущественно два варианта характера движения топлива в газоходе и на шибере. Первый вариант характеризуется установкой шибера с увеличенной длиной и при малой скорости движения топлива. Из рис. 2 видно, что топливо по газоходу

и шиберу будет двигаться сравнительно тонким слоем, толщина которого сначала увеличивается по направлению к МВ, а затем уменьшается к окончанию шибера. Такая траектория возможна при малой скорости движения.

Второй вариант движения – при высоких скоростях.

В опытных исследованиях по определению скорости сушки в сушильном газоходе перед МВ [4] было определено время нахождения топлива в газоходе высотой 8 м, оно составляло в различных опытах $\approx 1,2-1,6$ с. Если принять в первом приближении, что движение топлива является равноускоренным, то конечная скорость составит ≈ 10 м/с.

При таких значениях скорости можно предположить уменьшение толщины слоя и сохранение ее постоянной при движении, поскольку топливо не будет успевать накапливаться в месте примыкания шибера к газоходу. Далее, после шибера топливо, двигаясь по инерции, может лететь в газоходе и дросселировать

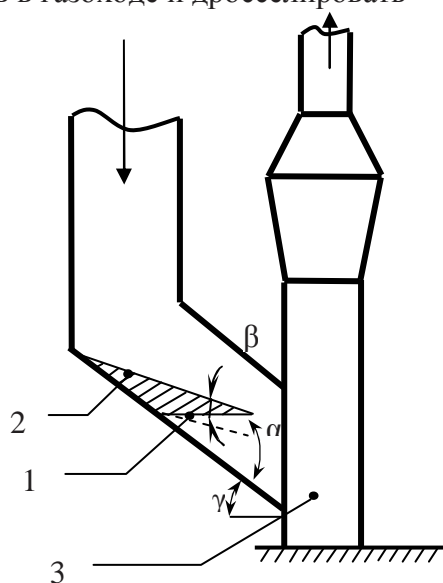


Рис. 2. Вариант установки шибера с увеличенной длиной.

при этом поток газов. Изложенная гипотеза движения поясняется рис. 3, на котором представлен вариант установки шибера с укороченной длиной. Обозначения те же, что на рис. 2.

Применение предлагаемой технологии позволяет увеличить оба эти показателя. Абсолютное время нахождения топлива на участке дросселирования невелико, но сопоставимо с общим временем сушки, которое может составлять 1,2–1,6 с и в несколько раз превышает время пребывания топлива на наклонном участке при отсутствии шибера.

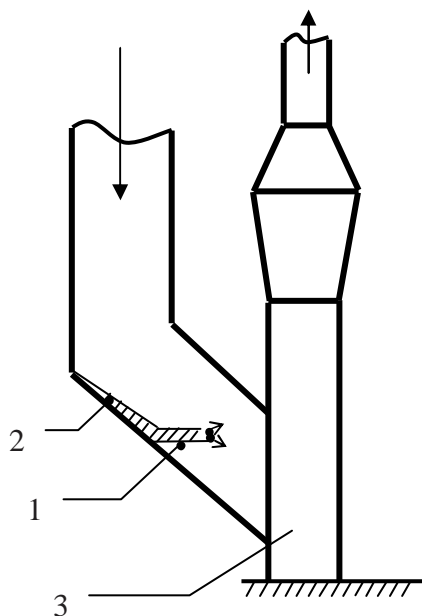


Рис. 3 - Вариант установки шибера с укороченной длиной

Если предположить увеличение времени пребывания топлива на этом участке в 3 раза (при медленном движении), то съем влаги составит $\approx 0,5 \times 3 = 1,5\%$.

При быстром движении время сократится не столь существенно, но возрастет теплоотдача, поскольку куски топлива будут лететь в газоходе. Съем влаги в этом случае может быть равен съему на предыдущем участке. Из [4] изменение влажности на участке 6-8 м составило $\approx 1,5\%$.

Известно, что затраты электроэнергии на размол топлива зависят от коэффициента размолоспособности [4]

$$K_{\text{ловл}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{эт}}}{\mathcal{E}_{\text{вл}}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{ловл}}$ – коэффициент размолоспособности влажного топлива; $\mathcal{E}_{\text{эт}}$, $\mathcal{E}_{\text{вл}}$ – затраты электроэнергии на размол, соответственно, эталонного и влажного топлива.

Изменение $K_{\text{ловл}}$ сравнительно с каким-то известным значением для сухого топлива ($K_{\text{ло}}$) можно оценить из выражения

$$K_{\text{ловл}} = \frac{\sqrt{(W_{\text{ртаб}})^2 - (W_{\text{сп}})^2}}{\sqrt{(W_{\text{ртаб}})^2 - (W_{\text{ги}})^2}} = K_{\text{ло}} \Pi_{\text{вл}}, \quad (2)$$

где $W_{\text{ртаб}}$, $W_{\text{ги}}$ – соответственно рабочая и гигроскопическая влажность топлива, %; $W_{\text{сп}}$ – средняя влажность, при которой происходит размол топлива, %; $\Pi_{\text{вл}}$ – поправка, учитывающая изменение размольной способности топлива в процессе размола в промышленной мельнице с влажностью $W_{\text{сп}}$.

$$W_{\text{сп}} = 0,25W'_T + 0,75W_{\text{пл}} \quad (3)$$

где W'_T – влажность топлива на входе в МВ; $W_{\text{пл}}$ – влажность пыли после МВ.

Ориентировочно, влажность топлива на входе в МВ без использования предлагаемого устройства можно определить по выражению

$$W'_T = \frac{W_1(100 - W_{\text{пл}}) - 100(W_1 - W_{\text{пл}})a}{(100 - W_{\text{пл}}) - (W_1 - W_{\text{пл}})a}, \quad (4)$$

где W_1 – влажность топлива на входе в пылесистему (в нашем случае $W_1 = W_{\text{ртаб}}$); a – доля съема влаги в предвключенной шахте.

При использовании предлагаемого устройства влажность топлива на входе в МВ можно скорректировать по формуле:

$$W'_{T,\text{уст}} = W'_T - \Delta W_{\text{уст}}, \quad (5)$$

где $\Delta W_{\text{уст}} \approx 1,5\%$.

Влажность пыли в исходном варианте (без устройства) можно оценить

$$W_{\text{пл}} = 0,048W_1R_{90}t_2 - 0,46 \quad (6)$$

где R_{90} – остаток пыли на сите с ячейками 90 мкм, % (55 %); t_2 – температура аэросмеси после МВ ($\approx 220^\circ\text{C}$).

По приведенным формулам можно определить коэффициенты размолоспособности МВ в исходном варианте ($K_{\text{ло вл}}$) и с использованием устройства ($K_{\text{ловл,уст}}$).

После этого рассчитываются относительная экономия электроэнергии ($\Delta\mathcal{E}$) и расход электроэнергии при использовании предлагаемого устройства.

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{K_{\text{ло.вл.уст}}}{K_{\text{ло.вл}}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{вл}}}{\mathcal{E}_{\text{вл.уст}}}, \quad (7)$$

$$\mathcal{E}_{\text{вл.уст}} = \Delta \mathcal{E} \cdot \mathcal{E}_{\text{вл}} \quad (8)$$

где $\mathcal{E}_{\text{вл}}$ – замеренный или рассчитанный расход электроэнергии при размоле топлива в МВ без устройства. (При размоле Ирша-Бородинского угля [4] в МВ 1600/600/980, $\mathcal{E} = 14-15$ кВт ч/т (50,4-54 кДж/кг) при $B = 12,5-13,5$ т/ч).

Из (2) и (7) можно получить формулу относительной экономии электроэнергии при внедрении рассматриваемого устройства в зависимости от $W_{\text{ср}}$ и $\Delta W_{\text{уст}}$

$$\Delta \mathcal{E} = \sqrt{\frac{(W_{\text{ртаб}})^2 - (W_{\text{ср}})^2}{(W_{\text{ртаб}})^2 - (W_{\text{ср}} - \Delta W_{\text{уст}})^2}} \quad (9)$$

Расчетами по (1) – (9) получено, что $\Delta \mathcal{E}$ при внедрении рассматриваемого устройства может меняться от 0,6 до 8,4 %, в зависимости от получаемой влажности пыли.

Считаем необходимым отметить некоторые экологические аспекты применения рассматриваемой технологии. Как показано выше, время пребывания топлива во всасывающем газоходе увеличивается, и сушильной средой в этот период обычно являются дымовые газы с температурой 900-500 °С. В таких условиях преимущественно следует ожидать переход азотсодержащих соединений топлива в молекулярный азот – N_2 и соответственно снижение генерации вредных NO_x при сжигании.

Таким образом, применение предлагаемой технологии повысит экономичность, надежность и экологичность пылесистем с МВ.

Выводы

1. На кафедре промышленной теплоэнергетики БрГУ разработан комплекс технологических мероприятий, внедрение которых позволит существенно повысить эффективность котельных установок и пылесистем с МВ во всем реальном диапазоне нагрузок.

2. Представлена методика расчета эффективности новой технологии регулирования вентиляционной производительности мельницы-вентилятора, защищенной патентом РФ [2].

Литература

1. Елсуков В. К., Даниленко Л. В., Чупраков А. И., Николаев В. В. Способ регулирования мощности котельного агрегата. А.С. СССР № 1652750. Оpub. Б.И. 1991. № 20.

2. Елсуков В. К., Пак Г. В. Способ регулирования вентиляционной производительности мельницы-вентилятора и устройство для его осуществления. Патент Р.Ф. № 2263541. Оpub. Б.И. 2005, № 31.

3. «Энергосбережение и рациональное использование энергоресурсов в условиях Восточно-Сибирского региона». Отчет г/б ПТЭ за 2003 г. (промежуточный) Об-У-0204 УДК 620.91.98 № гос. рег. 01.200314114. Инв. № 22004.03.925. – С. 59.

4. Волковинский В. А., Роддатис К. Ф., Толчинский Е. Н. Системы пылеприготовления с мельницами-вентиляторами. М.: Энергоатомиздат, 1990, – С. 272.