

УДК 662.613.1

В.Я. ГОРБАТЕНКО\*, канд. техн. наук, Е.А. ДАНИЛИН\*\*, М.В. КОЛОСОВ\*\*

*\*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

*\*\*Научно-техническое предприятие «Котлоэнергопром», г. Харьков*

## **ТОПОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЖИГАНИЯ ЛУЗГИ**

В статті пропонується утилізація лузги соняшника методом спалювання її в топках котлів. Описані характеристика лузги як палива, властивості її золи, специфіка та труднощі, виникаючі при спалюванні в топочних пристроях котлів. Запропонована конструкція топочного пристрою для низькотемпературного спалювання лузги.

Recycling of husk sunflower by a method of its burning in furnaces of boilers is offered in article. The characteristic of husk as fuel, properties of her ashes, feature and the difficulties arising at burning in furnaces of boilers are described. The design of furnaces for low-temperature burning of husk is offered.

Многие предприятия, перерабатывающие сельскохозяйственную продукцию, имеют крупнотоннажные потоки растительных отходов. В частности, на маслоэкстракционных заводах, перерабатывающих семена подсолнуха, образуется большое количество лузги. Вывоз и штрафы за складирование лузги требуют значительных расходов.

В то же время лузга может быть использована в качестве котельного топлива для выработки водяного пара и тепла на технологические нужды завода. До настоящего времени в большинстве котельных этих предприятий для выработки технологического пара используют традиционные дорогие и дефицитные виды топлива – газ и мазут. Замена этих топлив на лузгу позволит утилизировать ее непосредственно на перерабатывающих предприятиях и получить значительный экономический и экологический эффект. Однако, несмотря на явную выгоду применения указанной технологии утилизации лузги, практическая широкая ее реализация сдерживается отсутствием надежно работающих топочных устройств и котлов для сжигания лузги, что обусловлено специфическими свойствами лузги как топлива.

### **Характеристика лузги, как топлива**

Лузга, как топливо, по составу горючей массы и золы близка к древесине: имеет небольшую зольность (2-7%), большой выход летучих ( $\approx 80\%$ ), быстро воспламеняется, хорошо газифицируется, низшая теплота сгорания составляет  $16750 \div 17580$  кДж/кг. Однако, в отличие от древесины в составе золы лузги содержится повышенное количество оксидов щелочных металлов, оксидов кальция (CaO), кремния (SiO<sub>2</sub>), алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и др.

В топочном процессе под влиянием высоких температур и газовой среды составляющие золы взаимодействуют друг с другом, образуя низкотемпературные эвтектики. Особенно легкоплавкие эвтектики образуются на основе SiO<sub>2</sub> и Na<sub>2</sub>O [1].

Температура плавления этих эвтектик зависит от соотношения компонентов и может составлять 800 °C и ниже. Наличие в пылеуносе и шлаке столь легкоплавких эвтектик вызывает усиленное шлакование как радиационных, так и конвективных поверхностей нагрева котла, что налагает серьезные ограничения на организацию и параметры топочного процесса.

К сожалению, до настоящего времени не исследованы в достаточной мере ни свойства золы лузги, ни условия ее сжигания. Поэтому при разработке топочного устройства можно в первом приближении руководствоваться данными об особенностях сжигания некоторых марок бурых углей (Канско-Ачинского, Югославских, Германских и др.), состав и свойства золы которых близки к таковым золы лузги.

Характеристики плавкости золы определяются составом продуктов ее разложения. Продукты термического разложения исходных минералов, состоящих из кислых ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ) или основных ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) окислов, весьма тугоплавки. В то же время эвтектики, образующиеся при их взаимодействии, легкоплавки. Минимальная температура плавления эвтектики получается при примерно равном отношении молей кислых и основных окислов. Присутствие в золе щелочных металлов – калия и натрия – уменьшает температуру плавкости золы. При содержании в золе свыше 3 %  $\text{Na}_2\text{O}$  шлакующие свойства топлива проявляются в большей степени [2].

Исследования [3] и опыт эксплуатации котлов показали, что интенсивность образования отложений зависит от химической активности наносимой на поверхности труб золы, интенсивности излучения факела, температуры поверхности труб, коэффициента избытка воздуха в топке и интенсивности массопереноса от продуктов сгорания к поверхности. Загрязнение экранов начинается с момента механического и химического взаимодействия наносимых на поверхность частиц золы и шлака с металлом, происходящего под влиянием газовой среды. Сцепляемость частиц зависит от силы молекулярного притяжения и параметров первоначальной шероховатости поверхности.

Как следует из [3] при наличии в золе топлива кальция и серы образуются эвтектики, содержащие  $\text{CaS} + \text{CaSO}_4$ , температура плавления которых составляет 850 °С.

Шлакующие свойства золы можно предварительно оценить по показателю шлакуемости  $R$ , определяемому по химическому составу золы:

$$R = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2} \cdot \text{Na}_2\text{O}.$$

Расплавленные шлаки лузги могут, кроме того, оказывать разъедающее действие на огнеупорные элементы топочных устройств и газоходов, тем более, что в лузге содержится сера (до 0,5 %).

### **Особенности сжигания лузги**

Принципиально подсолнечную лузгу можно сжигать при двух режимах – высокотемпературном и низкотемпературном. Высокотемпературный режим реализуется, как правило, сжиганием дополнительного высококалорийного топлива – мазута или природного газа. Особенностью высокотемпературного режима сжигания является полное проплавление и усреднение всей массы золы с образованием указанных выше легкоплавких эвтектик, а также возгонкой части золы с образованием мельчайших частиц уноса. При этом образуется жидкий шлак в топке, происходит шлакование топочных и притопочных поверхностей нагрева, интенсивный занос конвективных поверхностей нагрева летучей золой. Особо прочные отложения образуются при их сульфатизации, т.е. при реагировании оксидов серы с первичными отложениями золы. При подсветке топки мазутом процесс сульфатизации

усугубляется, так как к оксидам серы, образующимся от сгорания серы лузги, добавляются оксиды серы от сгорания мазута.

Особенностью низкотемпературного сжигания лузги является отсутствие высокотемпературной возгонки золы, взаимодействия  $\text{CaO}$  с другими компонентами, т.е. температурное превращение каждого компонента протекает независимо от других компонентов золы. В результате образуется зола с высокой температурой плавления, что предотвращает ее спекание и расплавление и исключает появление жидкого шлака и шлакование поверхностей нагрева.

Низкотемпературный топочный процесс можно реализовать, используя двухступенчатую схему горения, за счет недостаточной для полного сжигания лузги подачи дутья в первой зоне (коэффициент расхода воздуха  $\alpha = 0,6 \div 0,7$ ) и дожиганием продуктов неполного сгорания во второй зоне. Низкотемпературное сжигание можно обеспечить также за счет избыточной подачи дутья (коэффициент избытка воздуха  $\alpha \approx 2$ ), рециркуляции дымовых газов и интенсивным охлаждением топки экранами.

При сжигании лузги с недостатком воздуха в первой ступени могут образовываться смолистые вещества, усиливающие загрязнение поверхностей нагрева.

По опытным данным, полученным при низкотемпературном сжигании бурых углей, наблюдается снижение выбросов оксидов серы за счет их взаимодействия с  $\text{CaO}$  и соединениями щелочных металлов.

Рассмотренные особенности горения лузги относятся как к факельному, так и к слоевому способу сжигания.

На сегодня в СНГ нет серийно изготавливаемых котлов и топок, предназначенных для сжигания лузги. Существующие котлы созданы на базе котлов типа КЕ, ДКВР и других твердотопливных котлов. Основные выводы, которые можно сделать по результатам работы этих котлов:

– лузга может удовлетворительно сжигаться в факельно-слоевых и шахтных топках при низком форсировании топочного процесса, что пригодно для котлов малой мощности или возможно при 1,5-3 кратном снижении паропроизводительности котлов средней мощности;

– большой вынос легких парусных частиц лузги требует их надежного удержания в топке в процессе сжигания;

– имеет место повышенная пожароопасность котельных установок из-за накопления в дымоходах и золоуловителях недожога, в том числе в виде недогоревших перерабатываемых зерен;

– даже при малой зольности лузги, возможно образование больших натрубных отложений, препятствующих работе котла;

Наиболее мощные натрубные отложения формируются в топке и на первых трубах котельного пучка. По структуре эти отложения жесткие, но хрупкие. При разрушении эти отложения образуют крупные не уносимые потоком газов куски, которые заполняют газоход. В зоне более низких температур в котле и экономайзере отложения рыхлые, легко удаляемые.

Шлакующая способность золы растет с ростом температуры в топке. Температура размягчения золы из-за наличия в составе до 15 %  $\text{CaO}$  и оксидов щелочных металлов, как отмечено выше, довольно низкая и уже при температуре на выходе из топки  $850 \div 900^\circ\text{C}$  шлакование поверхностей нагрева приобретает лавинообразный характер. Поэтому для сжигания лузги требуется низкотемпературный режим в топке.

### Предлагаемая конструкция топчного устройства

АОЗТ НТП «Котлоэнергопром» на базе котла КЕ-10 разработан котел для сжигания лузги паропроизводительностью 10,6 т/ч, с температурой перегрева пара 250 °С, давлением 13 кгс/см<sup>2</sup>.

Принцип сжигания лузги – факельное сжигание в фонтанирующем кипящем слое. Большой объем топки (теплонеприятие топчного объема  $160 \cdot 10^3$  Вт/м<sup>3</sup>·), установка двусветного экрана, рециркуляция дымовых газов, организация горения с большим коэффициентом избытка воздуха  $\alpha \approx 1,8$ , а также своевременная обдувка экранов сжатым воздухом позволяет держать температуру газов на выходе из топки в диапазоне 700 ÷ 850 °С. Нижняя граница температур обусловлена тем, что при более низких температурах не происходит догорание оксида углерода (СО). При более высоких температурах происходит шлакование поверхностей нагретых.

Топка состоит из 3-х объемных зон:

- нижняя зона – под топки с фонтанирующим слоем лузги. В этой зоне происходит начальное горение крупных частиц лузги;
- средняя зона – коническая часть объема топки. В этой зоне происходит горение средних и крупных частиц лузги;
- верхняя зона – призматическая часть объема топки. В этой зоне происходит дожигание СО и мелких частиц лузги.

Средняя и верхняя зоны топки выполняют также роль гравитационного сепаратора частиц лузги, что исключает необходимость применения традиционных горячих циклонов в схеме ЦКС.

С целью повышения эффективности гравитационного сепаратора на выходе из верхней зоны устанавливается слабонаклонная дроссельная решетка с сопротивлением  $\approx 10$  кгс/м<sup>2</sup>. В качестве дроссельной решетки используется фестон с зажатим сечением для прохода газов.

Для снижения температуры газов на входе в котельный пучок перед дроссельным потолком установлен ширмовый радиационный пароперегреватель вместо традиционного для таких котлов конвективного пароперегревателя, располагаемого в зоне котельного пучка.

Загрузка лузги осуществляется пневмотранспортом в среднюю зону топки.

Постоянный отвод золы из нижней зоны топки отсутствует.

Комбинированные плоскофакельные горелки обеспечивают разогрев топки на резервном топливе (природном газе) и подачу лузги в топку. Горелки располагаются с фронта топки. Размол лузги перед сжиганием не производится.

Основной воздух на горение подается через под, представляющий собой решетку, выполненную в виде длинных параллельных щелей. Ширина щелей обеспечивает оптимальную скорость воздуха  $W_v$ , превышающую скорость витания максимальных по размеру частиц лузги, и в то же время обеспечивает удаление в бункер, расположенный под решеткой, ядер подсолнечника и спекшихся кусков золы, имеющих скорость витания  $W_z > W_v$ . Ядра и зола удаляются транспортером в бункер золы.

### Воздушный режим работы котла

Для расчета воздушного режима работы топки при сжигании лузги предлагается следующая методика.

Уравнение баланса расходов воздуха

$$V_B^{ОРГ} = V_B^{ТР} + V_B^Г + V_Л^Ф, \quad (1)$$

где  $V_B^{ОРГ}$  – общий расход организованно подаваемого в топку воздуха;

$V_B^{ОРГ} = V_B^{ТР} + V_B^Г + V_L^Ф$  – расход транспортного воздуха, поступающего в топку с лузгой;

$V_B^Г$  – расход дополнительно организованно подаваемого в топку воздуха через горелки;

$V_L^Ф$  – расход воздуха, необходимого для сгорания лузги в верхней зоне топки.

После преобразования уравнения (1), получим

$$B_L \cdot V_B^0 \cdot \alpha_T^{ОРГ} = \frac{B_L}{\mu} + \kappa_\Gamma \cdot (B_L \cdot V_B^0 \cdot \alpha_T^{ОРГ}) + (1 - g_L^Ф) B_L \cdot V_B^0 \cdot \alpha_{ПОД}, \quad (1a)$$

где  $B_L$  – расход лузги;

$V_B^0$  – теоретическое количество воздуха для сжигания 1 кг лузги;

$\alpha_T^{ОРГ}$  – коэффициент избытка организованного воздуха в топке;

$\mu$  – концентрация лузги в транспортном воздухе;

$\kappa_\Gamma$  – доля от общего организованного воздуха в топке, дополнительно (сверх расхода транспортного воздуха) подаваемая в топку через горелки;

$g_L^Ф$  – доля лузги, сгораемая в верхней зоне топки;

$\alpha_{ПОД}$  – коэффициент избытка воздуха, подаваемого через под топку.

После деления уравнения (1a) на  $B_L \cdot V_B^0$ , получим

$$\alpha_T^{ОРГ} = \frac{1}{\mu \cdot V_B^0} + \kappa_\Gamma \cdot \alpha_T^{ОРГ} + (1 - g_L^Ф) \cdot \alpha_{ПОД}. \quad (2)$$

Основным параметром режима горения лузги, определяющим, в частности, температуру газов в топке, является коэффициент избытка воздуха в зоне пода топки –  $\alpha_{ПОД}$ . Из уравнения (2) после преобразований получим

$$\alpha_{ПОД} = \frac{\alpha_T^{ОРГ} \cdot (1 - \kappa_\Gamma) - \frac{1}{\mu \cdot V_B^0}}{1 - g_L^Ф}. \quad (3)$$

Формула (3) является универсальной для котлов такого типа. Она позволяет контролировать топливовоздушный режим пода топки независимо от мощности котла.

### Литература

1. Семененко Н. А. Организация теплоиспользования и энерготехнологическое комбинирование в промышленной огнетехнике. – М.: Энергия, 1976. – 280 с.
2. Паршин А. А. Тепловые схемы котлов. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.: ил.
3. Отс А. А. Процессы в парогенераторах при сжигании сланцев и канско-ачинских углей. – М., 1977. – 312 с.

© Горбатенко В.Я., Данилин Е.А., Колосов М.В., 2007