

**К ВОПРОСУ О ПРИЧИНАХ ОБРАЗОВАНИЯ СВЯЗАННЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ В КОТЛАХ ПРИ СЖИГАНИИ НАЗАРОВСКИХ
УГЛЕЙ****И. К. ЛЕБЕДЕВ, Е. А. МОСИН, Г. Н. ЗАКОУРЦЕВ**

Назаровское месторождение Канско-Ачинского бурогоугольного бассейна обладает крупными запасами самого дешевого в Советском Союзе топлива [1]. Однако опыт сжигания Назаровских углей выявил ряд серьезных трудностей в обеспечении экономичной и надежной работы котельных агрегатов, вызванных образованием интенсивных связанных отложений на конвективных поверхностях нагрева. Опыт эксплуатации первых блоков Назаровской ГРЭС показал, что до реконструкции ряда котлов ПК-38 производительность их в проектом исполнении по условиям интенсивного загрязнения поверхностей нагрева составляла 70% от номинальной. Применение современных методов очистки не дало эффективных результатов [1].

Несмотря на то, что изучение отложений, возникающих на конвективных поверхностях нагрева при сжигании Назаровских бурых углей, началось сравнительно недавно, к настоящему времени уже накоплен большой фактический материал. Наблюдения показали, что в области температур газа 400—1200°C отложения встречаются в основном трех типов [2].

Отложения первого типа образуются в широком интервале температур газов и стенки; толщина их достигает 5—7 мм. Растут они очень медленно и отличаются высокой прочностью. При попытке отделить их от поверхности трубы — удаляются вместе со слоем окалины. Отложения имеют ярко выраженную слоистую структуру. Цвет слоев колеблется от темно-красного до бурого [3]. Для отложений этого типа характерно высокое содержание сульфатов в виде CaSO_4 и низкое содержание окиси кремния — SiO_2 .

Отложения второго типа образуются на лобовой поверхности труб и имеют форму гребней, направленных навстречу потоку. Как правило, они невысокой прочности, но растут чрезвычайно быстро и имеют пониженное содержание сульфатов. Интенсивное образование отложений этого типа приводит к ограничению мощности котла.

Отложения третьего типа образуются на тыльной стороне труб в широком диапазоне температур газов и стенки. Прочность этих отложений различна — от очень рыхлых, разрушающихся от легкого прикосновения, до очень прочных. Содержание сульфатов в них различно, содержание остальных компонентов меняется мало. Образуюсь в вихревой зоне за трубами, они не столь опасны, как отложения I и особенно II типа.

Образование отложений обуславливается в первую очередь особенностями золы углей Назаровского месторождения. Состав золы приведен в табл. 1 [1].

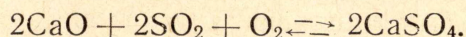
Т а б л и ц а 1

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O
30	13	18	32	5	0,7

По вопросу образования связанных отложений существует обширная литература, однако до настоящего времени отсутствует общепризнанное объяснение причин их появления и механизма образования. Наличие в золе этих углей большого количества окиси кальция и железа приводит в определенных условиях к образованию легкоплавких эвтектик в интервале 750—1100°C, состоящих из смесей CaSO₄+CaS, ($t_{пл} = 850^\circ\text{C}$), FeS+FeO ($t_{пл} = 940$), CaO+FeO+SiO₂ ($t_{пл} = 1095^\circ\text{C}$), CaO+FeO ($t_{пл} = 1075^\circ\text{C}$).

Эти эвтектики могут образовывать первый клейкий слой отложений на конвективных поверхностях нагрева, на который оседает летучая зола. Согласно исследованиям Е. А. Галилеевой и И. П. Эпика, связывающим веществом, обеспечивающим упрочнение осевшего слоя золы, является сульфат кальция CaSO₄, обладающий способностью в момент образования связывать между собой и с поверхностью труб частицы золы.

Свободная известь CaO, входящая в состав золы топлива, взаимодействует с сернистым ангидридом дымовых газов по уравнению [4].



Поэтому особенно прочные отложения образуются в тех случаях, когда в золе топлива после его сжигания существует большое количество свободной извести. Эти выводы подтверждаются рядом работ (2, 5, 6, 9) и отложения получили наименование сульфатно-связанных.

Очевидно, что условия, влияющие на наличие в летучей золе свободной окиси кальция, закиси железа и сульфатизация этих соединений окислами серы, определяют возникновение и рост отложений. Действительно, на интенсивность образования отложений большое влияние оказывают факторы, определяющие режим сжигания топлива и условия в месте образования отложений. Из них в первую очередь следует выделить температуру сжигания пылевоздушной смеси — максимальную температуру газов в топочной камере, и коэффициент избытка воздуха — величину, определяющую при постоянном типе топки и горелочных устройств наличие в топке окислительной, полувосстановительной или восстановительной среды.

При низкотемпературном сжигании, когда температура горячей частицы $t_{сж} < t_1$ и жидкая фаза практически отсутствует, образующаяся свободная окись кальция очень медленно реагирует с алюмосиликатными составляющими золы и, наоборот, очень энергично с соединениями серы. Wickert [6] исследовал температурную зависимость связывания SO₂, CaO и MgO·CaO в области 400—1300°C в присутствии кислорода. Эта зависимость приведена на рис. 1. Оба соединения имеют максимум обессеривания газового потока, т. е. связывания CaO и MgO в сульфаты, между 800—1000°C. Процесс прекращается только после 1200°C. Аналогичную картину наблюдали Kruehl и Jungt в опытах по обессериванию дымовых газов [7]. Печковский и Мальцева [8] термографически показали присутствие CaS в продуктах системы CaO+SO₂+C(H) при

$t = 650 \div 1070^\circ\text{C}$. Наличие сульфатизации свободной окиси кальция серой и ее соединениями в твердых продуктах сгорания угля подтверждается И. П. Эпиком [1, 3, 4]. Наличие эвтектики $\text{CaSO}_4 + \text{CaS}$ вызывает появление жидкой фазы уже при температуре 850°C . Значительное влияние

Таблица 2

Температура плавления эвтектических смесей системы $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$

Эвтектическая смесь	Содержание %				t плавлен. °C
	SiO_2	Al_2O_3	FeO	CaO	
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{SiO}_2$	45	15	35	5	1000—1100
$2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{FeO}$	24	—	76	—	1175
$2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{SiO}_2$	38	—	62	—	1180
$\text{CaO} \cdot \text{FeO} + \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	—	13	60	27	1200
$\text{Ca} + \text{Fe} \cdot \text{оливин} + \text{CaSiO}_3$	37	—	46	17	1093
$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{CaSiO}_3$	62	15	—	23	1170

на температурные характеристики золы оказывает наличие соединений железа. При сжигании топлива Fe_2O_3 и FeO в зависимости от газовой среды в топке видоизменяются с изменением своей плавкости. Так, окисные соединения железа тугоплавки, $t_{\text{пл}} = 1450^\circ\text{C}$, однако восстановленные до закисной формы в эвтектике с другими компонентами золы они

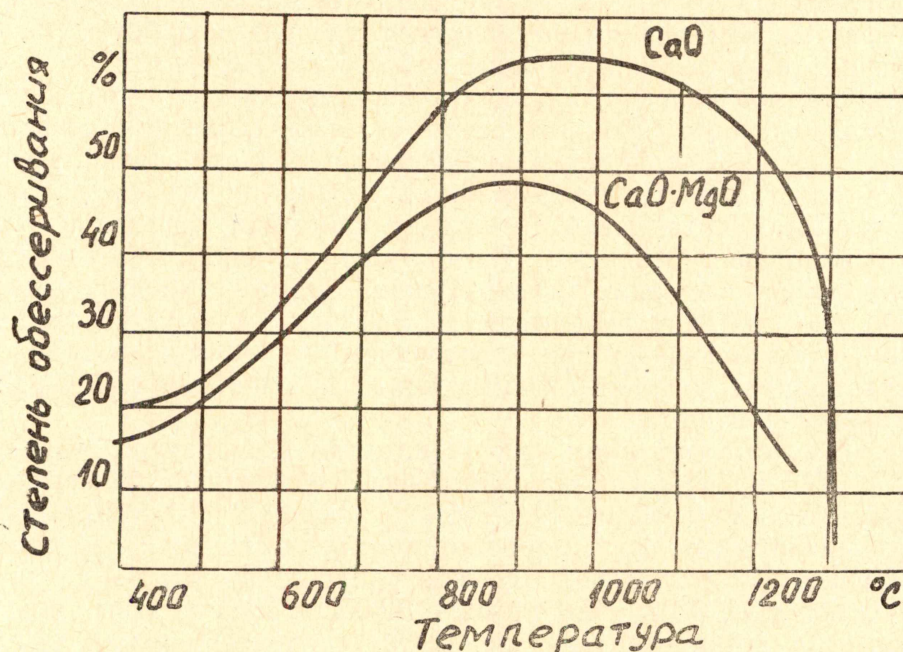


Рис. 1. Зависимость степени обессеривания дымовых газов от температуры

имеют более низкую температуру плавления (см. табл. 2 на стр. 97). При дальнейшем восстановлении закисные соединения железа превращаются в металлическое железо с резким повышением температуры

плавления. Наиболее благоприятные условия для образования закисных соединений железа появляются в полувосстановительной газовой среде, т. е. среде $\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2} = 10 \div 80\%$.

При высокотемпературном сжигании ($t_{\text{сж}} > t_{\text{ззола}}$) интенсивно развивается жидкая фаза, что способствует быстрому протеканию реакций между компонентами золы и связыванию их в различные стойкие химические соединения. Тем самым предотвращается сульфатизация CaO и образование закисных соединений железа. Кроме того, оплавление золовой частицы, по утверждению Э. Дика [9], нарушает диффузию SO_2 и SO_3 к окислам кальция, а избыточный подвод окислителя затрудняет образование CaS и FeO , тем самым препятствует образованию легкоплавких эвтектик в зоне $700\text{—}1000^\circ\text{C}$.

Таковы в общих чертах причины образования отложений. Как видно из вышеизложенного, образование связанных отложений в значительной степени зависит от условий сжигания топлива. Вскрытие этой зависимости облегчило бы выявление причин образования отложений. Теоретическое рассмотрение реакций в 5—6 компонентных системах в условиях сжигания представляет большие трудности вследствие малой изученности подобных систем, что затрудняет получение какого-либо определенного решения. Поэтому необходимо экспериментально выявить превращения в минеральной части топлива при различных температурах сжигания, влияние их на интенсивность образования отложений и их свойства, подтвердить истинность той или иной гипотезы образования отложений и исходя из этого найти меры борьбы с ними. Но проведение такого эксперимента на промышленных энергетических установках связано с рядом трудностей, преодоление которых обычно не представляется возможным. В эксплуатационных условиях трудно поддерживать режим сжигания, заданный условиями эксперимента, или оценить отклонение параметров сжигания от заданных для проведения подобного исследования необходимо создать экспериментальную стендовую установку, имитирующую образование связанных отложений на поверхностях нагрева. Только на стендовой установке можно добиться равномерной температуры факела при равномерном по сечению подводе окислителя. В этом случае все остальные факторы, влияющие на образование отложений (W , w_r , состав золы топлива), можно будет поддерживать на одном уровне без особых затруднений и таким образом получить вполне определенные условия сжигания. Стендовая установка позволит сделать более понятными причины образования связанных отложений и наметить меры борьбы с ними.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы научно-технического совещания по экономическому сжиганию бурых углей Канско-Ачинского бассейна. Красноярск, 1967.
2. Экспериментальное исследование образования золовых отложений при сжигании Назаровского угля. 1966. Технический отчет ВТИ, КТО. Авт. Э. П. Дик, Р. А. Сироха.
3. Х. Х. Арро, В. Э. Валликиви и др. Исследование летучей золы Назаровского угля и ее отложений на поверхностях нагрева котлоагрегата. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 226, 1965.
4. И. П. Эпик. Влияние минеральной части сланцев на условия работы котлоагрегатов. Таллин, 1961.
5. А. Н. Лебедев, Г. А. Шейнин. Шлакование пылеугольных топок и борьба с ними. «Энергия», 1966.
6. K. Wickert. Mitt. VGB, 1963, № 83.
7. M. Kruehl, H. Jungten. Chemie-Ingenieur-Technik, 1967, 9/10.
8. Печковский и Мальцева. ЖПХ, XXXVII, выпуск 2. 1964.
9. Э. Дик, А. Филимонов. Теплоэнергетика № 2. 1966.