

**СТЕНДОВАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИ СЖИГАНИИ
БУРЫХ УГЛЕЙ КАНСКО-АЧИНСКОГО БАССЕЙНА**

Е. А. МОСИН, Г. Н. ЗАКОУРЦЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры котлостроения и котельных установок)

В результате многочисленных исследований на настоящее время имеется обширная информация по условиям и характеру золовых отложений при сжигании пылевидного топлива в котельных установках. Состав и свойства отложений изучаются как отечественными, так и зарубежными исследователями [1, 2, 3, 5, 6]. Большинство авторов [1, 3, 6] относят основные причины образования отложений, помимо состава топлива, к влиянию температурных условий сжигания его. Действительно, различная температурная обработка частицы топлива вызывает превращения в минеральной массе, после чего частица в тех или иных условиях приобретает способность налипать на поверхности нагрева котла.

В крупных промышленных установках проведение контроля условий сжигания при образовании золовых отложений представляет значительные трудности. Прежде всего — это контроль равномерности сжигания, интенсивное перемешивание угольной пыли и воздуха, равномерное смесеобразование в факеле и др.

В связи с этим возникла необходимость создания экспериментальной установки лабораторного масштаба со стабилизированными параметрами сжигания топлива.

Установка такого типа спроектирована и изготовлена в лаборатории огневых стендов кафедры парогенераторостроения ТПИ.

Общий вид установки приведен на рис. 1.

I. Описание установки**СИСТЕМА ПОДАЧИ ПЫЛИ**

1. Пылевой бункер. Выполнен в виде цилиндра с коническим переходом в корпус пылепитателя, установлен на едином каркасе. Для предотвращения зависания угольной пыли в бункере внутренняя поверхность его покрыта полированным листовым железом. Угол раскрытия конуса — 50°. Кроме того, герметичное исполнение позволяет выдерживать объем бункера под положительным давлением сухого воздуха. Температура и давление регулируются присадкой горячего воздуха. Емкость бункера по пыли — 6 кг.

2. Питатель пыли. Конструкция описана в статье В. М. Третьякова [4]. Барабанчик питателя приводится во вращение через редуктор

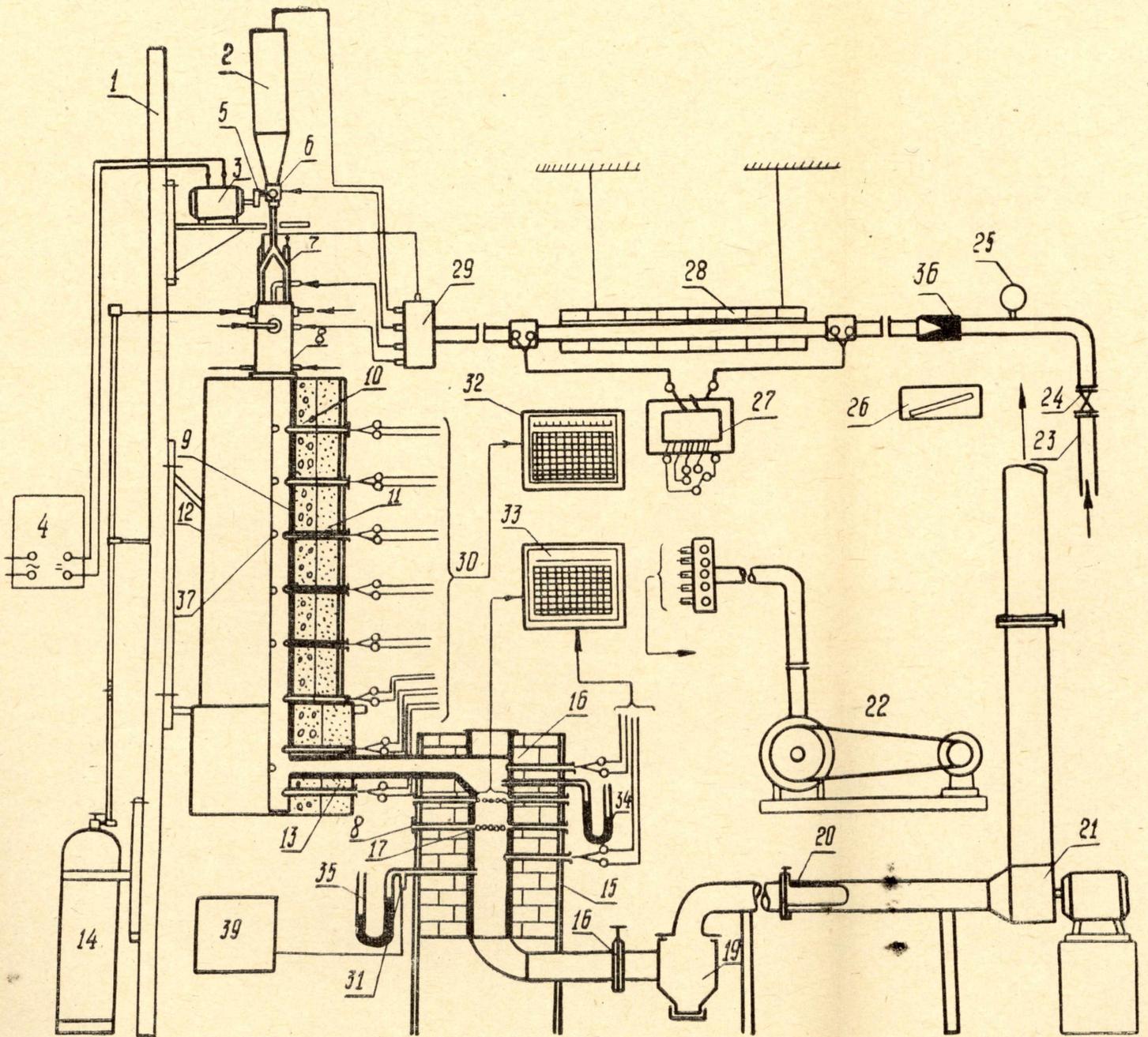


Рис. 1. Общая схема установки: 1—несущий каркас, 2—пылевой бункер, 3—двигатель пылепитателя, 4—селеновый выпрямитель, 5—редуктор, 6—барabanный пылепитатель, 7—пылепровод, 8—горелка, 9—топочная камера, 10—слой шамотобетона, 11—асбестовая крошка, 12—наружная обшивка, 13—переход в конвективную шахту, 14—баллон с пропан-бутановой смесью, 15—каркас конвективной шахты, 16—шамотная кладка, 17—зонды, 18—шибер, 19—пылесборник, 20—стеклотканевый фильтр, 21—дымосос, 22—дутьевой вентилятор, 23—линия подачи сжатого воздуха, 24—запорный клапан, 25—манометр, 26—расходомер, 27—силовой трансформатор, 28—электрический воздухоподогреватель, 29—распределительный коллектор горячего воздуха, 30—термопары, 31—отбор уходящих газов на анализ, 32—33—электронный потенциометр, 34—35—микроманометры, 36—расходомерное устройство, 37—38—гляделки, 39—газоанализатор.

мотором постоянного тока, что позволяет плавно регулировать расход топлива в пределах 0,5—8 кг/час. Зависимость расхода топлива от напряжения на двигателях приведена на рис. 2.

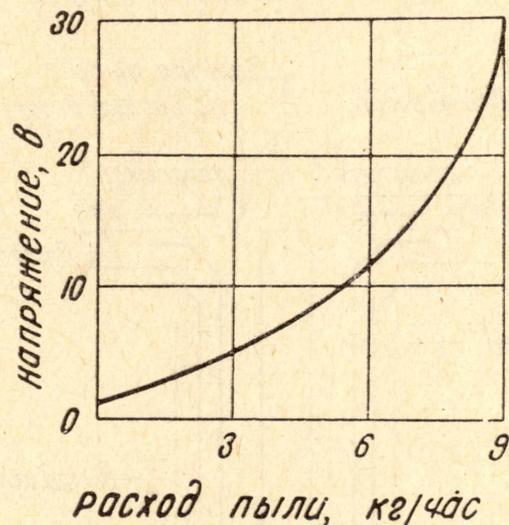


Рис. 2. Изменение расхода топлива в зависимости от U дв.

УЗЕЛ ПОДОГРЕВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА

Подача воздуха для горения осуществляется из линии сжатого воздуха через расходомерное устройство — электрический воздухоподогреватель и воздухораспределительную головку. Горячий воздух пятью регулируемым потоками подается в комбинированную газо-пылеугольную горелку. Для измерения расхода воздуха применена стандартная трубка Прандтля, подключенная к микроманометру.

Система подогрева воздуха состоит из нагревателя, силового трансформатора и подводных проводов. Основная часть нагревательной системы — труба из жаростойкой стали диаметром 36 мм. Труба-нагреватель замкнута на выходную обмотку силового трансформатора. Для обеспечения плавной регулировки входного напряжения силовой трансформатор запитан от сети переменного тока через два параллельно спаренных автотрансформатора типа РНО-220/40, имеющих жесткую механическую связь регулировочных винтов. Плавным изменением входного напряжения на силовой трансформатор регулируется температура горячего воздуха до 450°C.

Обмуровка трубы-нагревателя выполнена из шамотных цилиндров диаметром 200 мм, длиной 250 мм. Вся нагревательная система заключена в металлическую обшивку, служащую одновременно каркасом.

ГОРЕЛОЧНОЕ УСТРОЙСТВО

Комбинированная газо-пылеугольная горелка (рис. 3), смонтированная на верхнем торце топочной камеры, состоит из трех концентрических труб.

Первичный воздух подается двумя патрубками аксиально в среднюю трубу горелки; вторичный воздух — двумя патрубками, тангенциально, в наружную трубу. Третичный воздух — аксиально, в центральную трубу. Винтообразная поверхность трубы вторичного воздуха и конический рассекающий элемент, установленный на входе из трубы третичного

воздуха, обеспечивают максимальную турбулизацию пылевоздушной смеси непосредственно под горелкой.

Для предварительного разогрева топки до рабочей температуры в тракт первичного воздуха горелки тангенциально введены два сопла, через которые подается пропан — бутановая смесь

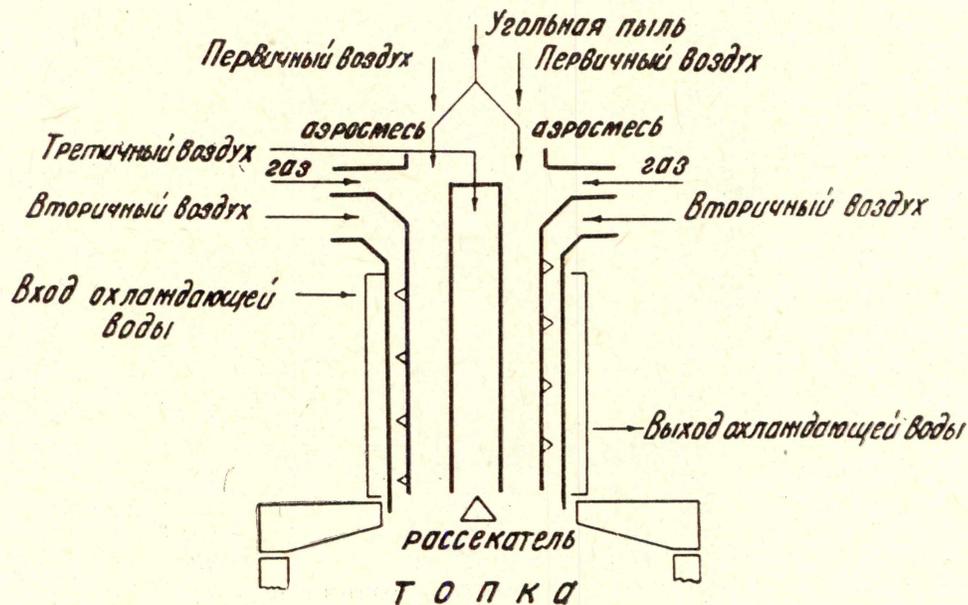


Рис. 3. Комбинированная газопылеугольная горелка

Корпус горелки имеет водяную рубашку охлаждения.

ТОПОЧНАЯ КАМЕРА И КОНВЕКТИВНАЯ ШАХТА

1. **Топка.** Вертикального исполнения, цилиндрическая, набрана из корундовых цилиндров, диаметром 125 мм, длиной 1400 мм. Изоляция двухслойная — огнеупорный бетон толщиной в 150 мм и асбестовая крошка.

Топочная конструкция заключена в стальной кожух, монтируемый на жестком стальном каркасе, несущем все остальные узлы установки. Металлическая обшивка исключает присосы воздуха. Наружный диаметр топки с изоляцией равен 800 мм.

2. **Конвективная шахта.** Топочная камера соединена с конвективным газоходом корундовой трубой диаметром 75 мм, длиной 400 мм. Переходная труба изолирована и заключена в металлическую обшивку.

Шахта с конвективным пучком выполнена из шамотного кирпича. Размер газохода $0,125 \times 0,065$ м, высота — 0,55 м.

Конвективный пучок состоит из трубок диаметром 12/8 мм, материал — сталь IX18H9T. Количество рядов зондов и количество трубок в ряду изменяется произвольно. Зонды охлаждаются сжатым воздухом. Расход воздуха позволяет регулировать температуру стенки зондов в пределах $300^\circ \div t_{\text{газ}}^\circ \text{C}$.

КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВКИ

Температура факела по всему газовому тракту замеряется с помощью термпар ПР 30/6 и ТХА, установленных в керамических чехлах. Измерение температур стенок зондов осуществлено с помощью

термопар, зачеканенных в металл стенки. Все термопары подключены к электронным самопишущим потенциометрам ЭПП-09.

Для наблюдения за пылеугольным факелом, для контроля его температуры с помощью оптического пирометра по длине топки установлены гляделки. Гляделки установлены также против каждого ряда зондов. Отбор проб газа и измерение разряджений производится установленными по тракту газозаборными трубками, подключенными к тягонапоромерам.

II. Методика проведения сжигания

ПОДГОТОВКА ТОПЛИВА К СЖИГАНИЮ

Бурый уголь Назаровского месторождения, размолотый на дробилке и подсушенный до воздушно-сухого состояния, пропускался через лабораторный дисковый истиратель. Фракционный состав пыли приведен на рис. 4. Во избежание замазывания барабанного пылепитателя и с целью достижения максимальных температур, пыль перед подачей в пылевой бункер высушивалась до абсолютного сухого состояния ($W^B = 0 \div 0,5\%$).

РАЗОГРЕВ ТОПОЧНОГО ОБЪЕМА И ЗАЖИГАНИЕ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ФАКЕЛА

После предварительной вентиляции установки и подачи воздуха осуществляется плавная подача пропан-бутановой смеси в горелку и зажигание газозаборного факела. Одновременным регулированием соотношения газ — воздух устанавливается необходимая длина и цвет факела. Полнота сгорания компонентов смеси контролируется газовым анализом. Затем включается электрический подогрев воздуха. В зависимости от заданного режима сжигания топлива разогрев топочного объема производится в течение двух-трех часов.

При достижении заданной температуры объема топочной камеры включается подача угольной пыли с одновременным уменьшением газа. С зажиганием пылеугольного факела газ отключается полностью, а расход горячего воздуха регулируется соответственно расходу топлива. Требуемая температура сжигания пыли достигается изменением расхода пылевоздушной смеси.

При достижении заданной температуры объема топочной камеры включается подача угольной пыли с одновременным уменьшением газа. С зажиганием пылеугольного факела газ отключается полностью, а расход горячего воздуха регулируется соответственно расходу топлива. Требуемая температура сжигания пыли достигается изменением расхода пылевоздушной смеси.

ОТБОР ПРОБ И АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Кассета с фильтром из стекловолна для отбора проб летучей золы установлена на газовом тракте перед дымососом. Конструкция кассеты позволяет производить быструю замену фильтра на работающей установке. Температура газов в месте установки фильтра не превышает 160° .

Пробы на газовый анализ отбираются в течение всего эксперимента через каждые 15 минут в установившемся режиме. В пусковом режи-

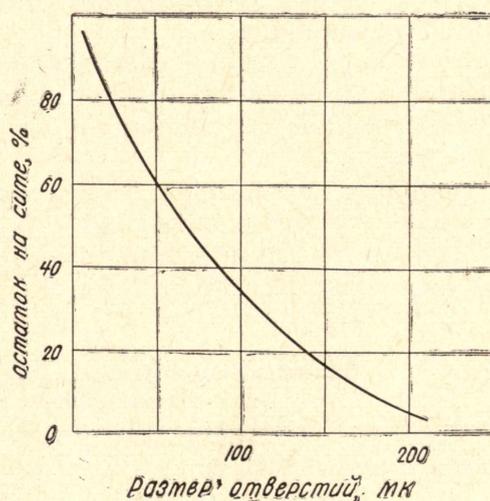


Рис. 4. Фракционный состав угольной пыли

ме отборы производятся через значительно меньшие промежутки времени.

Анализ дымовых газов на содержание CO , CO_2 , O_2 и N_2 выполняется на газовом хроматографе ХЛ-3 с предварительным поглощением CO_2 на газоанализаторе ВТИ-2.

III. Результаты наладочных испытаний

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ ТОПКИ

Программой наладочных испытаний предусмотрено сжигание угольной пыли на 5 температурных режимах:

$$t_{\text{сж}} = 1000, 1100, 1200, 1300, 1400^\circ\text{C}.$$

При сжигании угля в количестве 1—6 кг/час теплонапряжение топочного объема составило $(0,3 \div 1,92) 10^6 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3\text{час}}$, что характерно для современных пылеугольных циклонных предтопок и топок с жидким шлакоудалением.

Благодаря горелочному устройству, способному регулировать содержание компонентов пылевоздушной смеси в широких пределах и интенсивному ее перемешиванию на выход из горелки, получен устойчивый факел.

Заполняя полностью сечение топки, длина факела колебалась в пределах 0,5—0,8 м, не превышая $2/3$ длины топки.

Изменение температуры газов по сечению топки при различных режимах представлено в табл. 1.

Таблица 1

Изменение температуры газов по сечению топочной камеры в зоне максимальных температур

Температура сжигания °C	1000	1100	1200	1300	1400
Температура газов по оси топки °C	1000	1100	1200	1300	1400
Температура газов у стенки топки °C	1000 ± 2	1100 ± 4	1200 ± 7	1300 ± 10	1400 ± 13

Поле температур по сечению равномерное. Отклонение температуры потока от средней по всему интервалу не превышает $\pm 0,5\%$.

Таблица 2

Вид отложений	SiO_2	FeO_3	Al_2O_3	CaO	MgO	Данные
Гребни с ширмового пароперегревателя	35,8	14,5	9,8	35,9	4,6	Л-1
Гребни с ППП II ст.	39,1	13,6	10,6	33,5	4,0	Л-1
Отложения на ширмах, верхний слой	32,8	12,5	9,7	39,3	4,7	Л-3
Сыпучие отложения, стендовая установка	36,2	12,7	8,2	37,6	3,5	
Связанные отложения, стендовая установка	29,6	15,0	11,9	39,3	4,6	
Состав золы топлива, сжигаемого в стенде	30,0	15,3	10,2	42,2	2,28	

Изменение температуры газов по длине топочной камеры представлено на рис. 5. Как видно из графика, не при всех температурах сжигания

были получены приемлемые с точки зрения образования отложений [1, 5] температуры на выходе из топки. Поэтому в месте перехода топки — переходной газовой камерой был установлен дополнительно охлаждаемый зонд для сбора отложений.

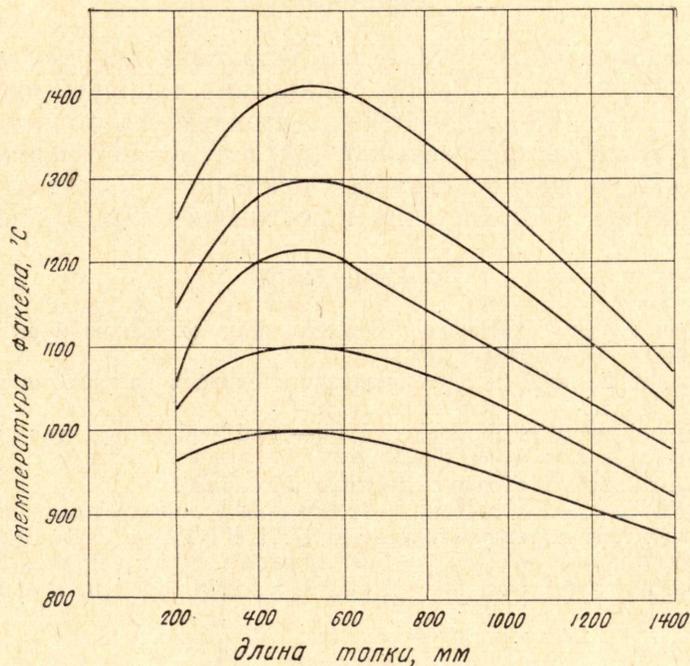


Рис. 5. Изменение температуры газов по длине топочной камеры

Режимы работы на всех температурах легко стабилизировались, и при содержании CO_2 в дымовых газах порядка 17% не встречалось затруднений в стабилизации горения.

ОБРАЗОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ

Золотые отложения как сыпучие, так и связанные возникали при температурах сжигания 1100, 1200, 1300°C.

Под сыпучими понимались те отложения, которые сдувались струей сжатого воздуха, исходящего из сопла со скоростью 30 м/сек. Отложения

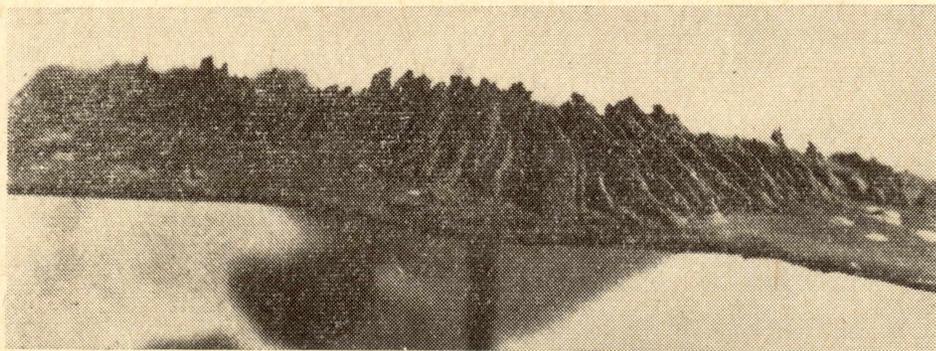


Рис. 6. Связанные отложения на крышке поворотного газохода возникали на всех участках газохода, где температура газов превышала 850° независимо от материала стенки — рис. 6. Сравнение химического

состава полученных отложений с пробами отложений из промышленных установок, пересчитанных на бессульфатную массу, показывает большое их сходство — табл. 2.

Цвет отложений колеблется от светло-коричневого до темно-бурого.

Заключение

Описана лабораторная стендовая установка для сжигания бурых углей Канско-Ачинского бассейна. Сжигание топлива возможно вести с расходами угля от 0,5 до 8,0 кг/час. Установка позволяет производить сжигание при температурах до 1400° при устойчивых режимах горения.

В результате экспериментальных сжиганий получены золы отложения, подобные промышленным по химическому составу и цвету.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы научно-технического совещания по сжиганию бурых углей Канско-Ачинского бассейна. г. Красноярск, 1967.
 2. И. П. Эпик. Влияние минеральной части сланцев на условия работы котлоагрегатов, 1961.
 3. Corrosion and deposits in coal and oil-fired boilers and gas turbines. Report ASME. Pergamon Press, New-York, 1959.
 4. В. М. Третьяков. «Теплоэнергетика», № 4, 1956.
 5. Экспериментальное исследование образования золы отложений при сжигании Назаровского угля, 1966 г., технический отчет ВТИ, КТО. Авт. Э. П. Дик, Р. А. Сироха.
 6. The Mechanism of Corrosion by Fuel Impurities. Proceeding of the International Conference of the Marchwood 20 th, + 24 th, May, 1963, London, Butterworth, 1963.
-