

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВПО «МГИУ»)**

Кафедра промышленной теплоэнергетики

О.Б. Сенникова

ТОПЛИВО И ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ

**Лабораторный практикум для специальности 140104 «Промышленная
теплоэнергетика»**

МОСКВА 2011

Методические указания соответствуют государственным образовательным стандартам высшего профессионального образования по специальности 140104 «Промышленная теплоэнергетика».

Лабораторные работы охватывают разделы программ по изучению характеристик топлива и влиянию их на работу топливосжигающих установок. В указаниях излагаются вопросы определения характеристик топлива (влажности, зольности, сернистости, выхода летучих, теплоты сгорания) и состава продуктов сгорания топлива.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Методические указания составлены в соответствии с программой курса «Топливо и теория горения».

Перед выполнением работ необходимо изучить основные теоретические положения, ознакомиться со стендами, записать основные технические характеристики лабораторного оборудования (тип, диапазон использования, потребляемая мощность) и метрологические характеристики используемых средств измерений (тип, диапазон измерения, цена деления, класс точности или допускаемая погрешность), ознакомиться с порядком проведения лабораторных работ, подготовить таблицы по соответствующей форме для записи результатов экспериментов и расчетов.

Во время проведения лабораторных работ анализируемое вещество длительное время выдерживается в нагревательном устройстве (от 0,5 до 2,0 ч). В это время преподаватель дает консультацию по теоретическим вопросам, возникшим у студентов во время проведения работ, например по влиянию характеристик топлива на процесс горения и теплообмена в реальных условиях эксплуатации теплоэнергетических установок.

После завершения лабораторных работ каждый студент должен составить отчет. В отчете следует привести основные теоретические положения; расчеты по результатам опытов должны сопровождаться

необходимыми пояснениями. Рисунки следует выполнять с применением чертежных инструментов. В отчете следует привести оценку погрешности, измерения каждого параметра и сравнить ее с допустимым, по технологии отклонением этого параметра. При этом нужно помнить, что погрешности измерения используемыми средствами измерений должны быть ниже допустимых по технологий отклонений измеряемого параметра в три и более раз. В таблице для записи результатов измерений указывать и погрешности измерений. Отчет представляется студентом при сдаче зачета по данной дисциплине.

Выполнение представленных в настоящих указаниях работ и обработка результатов экспериментов позволяют исследовать характеристики топлива и дымовых газов. Однако следует помнить, что знание этих характеристик необходимо прежде всего для правильной организации процесса сжигания топлива, экономичного и эффективного использования теплогенерирующего оборудования при высокой его надежности. Поэтому при анализе результатов эксперимента следует обратить особое внимание на влияние найденной характеристики на такие параметры, как теоретическая температура горения, максимальное тепловыделение в топке, средняя температура факела, соотношение между радиационной и конвективной составляющими теплообмена, КПД установки и т. п. Результаты такого анализа необходимо привести в выводах по каждой работе; здесь же указать марку и месторождение исследуемого топлива, найдя его в [1], по результатам измерений с учетом вычисленной погрешности. Полученные навыки исследовательской работы помогут студентам в их производственной деятельности при исследовании топлив вновь разрабатываемых месторождений, местных топлив, поступающих на предприятие, в том числе топливных отходов при утилизации последних. Очень важно исследование топлива с переменными характеристиками, экспресс-информация о которых необходима для более точного учета расхода условного топлива на выработанную единицу тепловой или

электрической энергии, повышения надежности и экономичности теплогенерирующего оборудования.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перед началом работы студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и правилам внутреннего распорядка в лаборатории, расписаться в журнале инструктажа.

Во время проведения лабораторных работ запрещается: подавать напряжение на установку без разрешения преподавателя; включать и выключать установку лицам, не назначенным для этой цели преподавателем; ходить по помещению лаборатории без разрешения преподавателя, курить в неположенных местах. По окончании лабораторных работ необходимо:

- обесточить лабораторную установку;
- отсоединить от источника питания провода, временно подающие напряжение на стенд;
- привести в порядок рабочее место.

Литература

1. ГОСТ 11014-81. Угли бурые, каменное, антрацит и горючие слайды. Ускоренный метод определения влаги. Изд-во стандартов. М., 1981.
2. ГОСТ 11022-75. Угли бурые, каменные, антрацит и сланцы горючие. Метод определения зольности. Изд-во стандартов. М., 1975.
3. ГОСТ 6382-80. Угли бурые, каменные, антрацит и сланцы горючие. Метод определения выхода летучих веществ. Изд-во стандартов. М., 1981.
4. ГОСТ 147-74. Топливо твердое. Метод определения высшей теплоты сгорания и вычисления низшей теплоты сгорания. Изд-во стандартов. М., 1981.
5. ГОСТ 8606-72. Топливо твердое. Методы определения серы. Изд-во стандартов. М., -1981.
6. Тепловой расчет котельных агрегатов: Нормативный метод.- М.: Энергия, 1973.- 295 с.
7. Резников М. И., Липов Ю. М. Паровые котлы тепловых электростанций.- М.: Энергоиздат, 1981.- 240 с.
8. Хзмалян Д, Я., Каган Я. Н, Теория горения и топочные устройства.- М.: Энергия, 1976.- 488 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ В ТОПЛИВЕ

(МЕТОД «СМЫВА БОМБЫ»)

Цель работы: Изучение методики определения содержания серы в твердых и жидких топливах; анализа влияния содержания серы в топливе на коррозионную агрессивность продуктов сгорания.

Основные теоретические положения

При сжигании сернистых топлив температура точки росы продуктов сгорания может быть намного выше точки росы, определяемой парциальным давлением водяных паров в дымовых газах. Это превышение обусловлено наличием в газах окислов серы, содержащейся в топливе, в частности сернистого SO_2 и серного SO_3 ангидрида. Соединяясь с парами воды, они образуют смесь кислот, которая, конденсируясь на низкотемпературных поверхностях нагрева, вызывает коррозионное разрушение металла.

Увеличение содержания серы в топливе приводит к росту содержания SO_2 и SO_3 в дымовых газах, повышению температуры точки росы продуктов сгорания и снижению экономичности оборудования вследствие необходимости увеличения температуры уходящих газов. В области высоких температур при соприкосновении газов с горячими поверхностями нагрева SO_2 окисляется до SO_3 . Катализаторами этой реакции являются пленка окалина Fe_2O_3 и слой нагара. Образующиеся при этом сульфидные окислы железа разрушают защитную пленку окалина, что приводит к повреждению металла поверхностей нагрева. Особенно подвержены высокотемпературной газовой коррозии трубки пакетов пароперегревателя. При сжигании топлива в бомбе сера, содержащаяся в нем, сгорает с образованием SO_3 и, соединяясь с водой, образует H_2SO_4 . Серная кислота в растворе диссоциирует, образуя ионы водорода и

сульфат-ионы. При соединении с раствором хлористого бария $BaCl_2$ образуется сульфат бария в виде осадка по реакции:



Содержание общей серы в аналитической пробе может быть найдено из выражения, %

$$S^a = [q \cdot 0,1374 / m] 100, \quad (2)$$

где q - масса сернокислого бария; 0,1374 - коэффициент пересчета сернокислого бария на содержание в нем серы; m - масса навески топлива.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 1) состоит из электрической муфельной печи 2 с датчиком температуры 1; термоэлектрического термометра, состоящего из термоэлектрического преобразователя 4 и милливольтметра 5, отградуированного в градусах Цельсия, эксикатора 6, нагревательного устройства 8, тигля 3, стакана 7, аналитических весов и набора реактивов: соляной кислоты, метилоранжа, 10%-ного раствора хлористого бария (на рисунке не показаны).

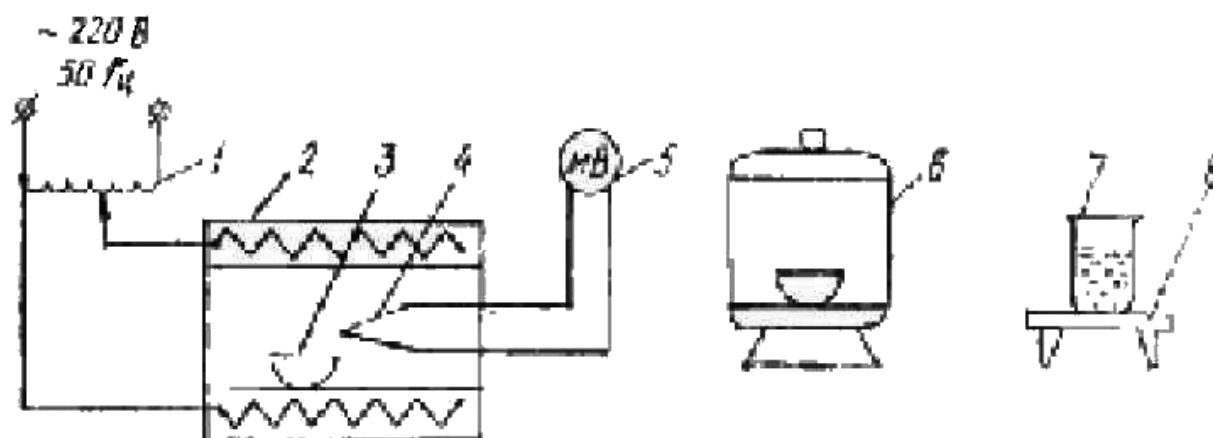


Рис. 1.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, порядком включения муфельной печи и установления заданной температуры в ней, установки и выемки из печи тигля, работы с весами.
2. Записать технические характеристики основного оборудования и метрологические характеристики средств измерений.
3. Добавить в приготовленный смыв бомбы, налитый в стакан 7 (рис. 1), небольшое количество соляной кислоты до слабокислой реакции (раствор после добавления нескольких капель метилоранжа должен покраснеть).
4. Установить стакан 7 на нагревательное устройство 8, нагреть раствор до кипения и к нему по каплям налить 10 мл 10%-ного раствора хлористого бария; в стакане выпадет осадок сернокислого бария.
5. Установить стакан с осадком в кипящую водяную баню, где держать два часа, вынуть, выдержать при комнатной температуре не менее 12 ч.
6. Профильтровать осадок через плотный беззольный фильтр; промыть осадок на фильтре несколько раз горячей дистиллированной водой для полного удаления соляной кислоты.
7. Взвесить пустой просушенный тигель на аналитических весах с погрешностью $\pm 0,001$ г. Результат взвешивания занести в таблицу 1 (сюда же заносятся результаты остальных измерений).
8. Подсушить влажный фильтр с осадком сернокислого бария, не вынимая из воронки, сложить вчетверо, поместить в тигель, слегка уплотнить осадок в тигле.
9. Установить задатчиком 1 температуру в печи 2 ($775...825$)°C по прибору 5, открыть печь и поместить тигель с осадком у входа в печь; выдержать в таком положении до обугливания содержимого тигля, не давая загореться фильтру (допускается обуглить содержимое тигля на электроплитке).

10. Переместить тигель в зону максимальной температуры, закрыть печь, прокалывать до тех пор, пока остаток в тигле не станет совершенно белым.

11. Остудить тигель на воздухе в течение 5 мин, а затем в эксикаторе до комнатной температуры; взвесить тигель с остатком.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткое описание лабораторной установки.
2. Технические характеристики основного оборудования, метрологические характеристики средств измерений.
3. Краткое описание методики проведения эксперимента.
4. По формуле (2) определить общесодержание серы в аналитической пробе (S^a). Принять $q(\text{Ba}_2\text{SO}_4) = 0,001 \div 0,007$ кг; масса навески топлива, $m = 100$ г.
5. Выводы по работе с указанием влияния содержания серы в топливе на агрессивность продуктов горения

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

"ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В ТОПЛИВЕ"

Все виды естественного твердого топлива содержат влагу, количество которой определяется его химической природой и степенью углефикации. Вода в топливе может находиться в состояниях в виде капель, в виде пленок молекул, прочно адсорбированных на развитой поверхности топлива, может входить в состав коллоидов органической и кристаллов минеральной части топлива. В зависимости от формы связи с топливом различают адсорбционную, капиллярно-конденсированную, коллоидальную, механически удерживаемую и кристаллогидратную влагу.

При техническом анализе топлива столь тонкой градации разновидностей влаги не проводят. В этом случае, применяется следующая классификация видов влаги в твердом топливе:

Общая влага топлива в рабочем состоянии	W^P
Внешняя влага топлива в рабочем состоянии,	$W_{вн}^P$
Гигроскопическая влага в топливе	$W^{ГН}$
Влага в лабораторной пробе топлива	$W^{Л}$
Влага в аналитической пробе топлива	W^a
Влага в воздушно-сухом топливе	$W_{в.с.}^a$

Влажность рабочей массы топлива подразделяют на две части: внешнюю и внутреннюю. К внешней относится влага, попадающая в топливо при добыче, транспортировке и хранении и вызывающая поверхностное увлажнение, а также капиллярная влага. Внешняя влага может быть удалена механическими средствами и тепловой сушкой. $W_{вн}^P$ определяется из пробы рабочего топлива при ее подсушивании при температуре около 50°C в течение 2 – 4 часов.

К внутренней относят коллоидальную и кристаллогидратную влагу. Гидратной влаги в топливе содержится мало, она становится заметной в

многозольных топливах. При подсушке испаряется часть - коллоидной влаги, но практически не изменяется содержание гидратной, которая, может быть удалена лишь при высоких температурах (400 – 700°C). Наличие кристаллогидратной влаги следует учитывать лишь при определении влажности сланцев и углей, обладающих высокой зольностью.

Гигроскопическая влажность W^{GH} определяет адсорбционную способность топлива. Она определяется как влага, содержащаяся в топливе, измельченном в порошок и доведенном до воздушно – сухого состояния при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $60 \pm 2\%$ (ГОСТ 8719-70).

При определении содержания влаги в пробе топлива с частицами размером 0–3 мм, приготовленной по ГОСТ 10742-64, влагу считают рабочей W^P , если изменение первоначальной массы пробы не превышает 0,5%, и с момента приготовления пробы до ее поступления в лабораторию прошло не более 12 часов. В противном случае влагу считают лабораторной W^L .

Влажность топлива, измельченного в порошок и доведенного до воздушно-сухого состояния, в условиях данной лаборатории, обозначается $W^a_{в.с.}$. Величина $W^a_{в.с.}$ из-за малых колебаний температуры и влажности воздуха в лаборатории также может, быть использована для практической характеристики топлив. Величину $W^a_{в.с.}$, следует отличать от влажности аналитической пробы W^a , представляющей собой влажность измельченного в порошок топлива, подсушенного, но не полностью доведенного до воздушно-сухого состояния. Величиной W^a пользуются в ходе оперативных анализов топлива. Связь между W^P , $W^P_{вн}$ и W^a выражается формулой: $W^P = W^P_{вн} + W^a \frac{100 - W^P_{вн}}{100}$

Существует две группы методов определения влаги в твердом топливе – прямого и непрямого (косвенного) определения.

Прямой весовой метод основан на высушивании навески топлива при температуре 105 – 110°C в стеклянной трубке, помещенной в электрическую трубчатую печь или сушильный шкаф. Выделяющуюся при этом влагу

потоком инертного газа (CO_2 или N_2) направляют в поглотительный аппарат, привес которого относят в % к массе топлива.

Прямой объемный метод основан на следующем: навеску топлива помещают в органическую жидкость, несмешивающуюся с водой и кипящую при температуре немного выше $100^\circ C$ (ксилол, толуол, бензин), и нагревают до кипения в металлической колбе. Образующиеся пары воды и органической жидкости конденсируются в холодильнике. Конденсат стекает в соединенный с холодильником градуированный приемник, где вода и органическая жидкость расслаиваются из-за разных их плотностей. Замеренное по объему количество воды после полной ее отгонки относят в % к массе топлива. Оба метода являются весьма точными, хотя и трудоемкими.

Непрямой метод определения в, жидкости топлива основан на принципе удаления влаги, но ее содержание определяется косвенно по уменьшению либо массы топлива, либо на принципе замера определенных свойств топлива (теплопроводности, диэлектрических свойств и др.), находящихся в однозначной связи с ее влажностью. Удаление влаги из топлива может производиться различными способами: нагреванием в термостате при температуре свыше $100^\circ C$, выдерживанием над концентрированной серной кислотой и эксикаторе при комнатной температуре, сушкой инфракрасными лучами или в высокочастотном электрическом поле и т.д.

В практике производственных и научно-исследовательских лабораторий для определения влажности топлива обычно применяют либо непрямой метод нагревания топлива до постоянной массы в термостате (или в сушильном шкафу), либо прямой объемный метод. Выбор метода производят с учетом свойств анализируемого топлива. При применении метода сушки топлива следует иметь в виду два обстоятельства, могущих исказить результаты анализа:

1) сушка топлива низкой степени углефикации (торфа, бурого угля) сопровождается более или менее активным окислением их органической массы в результате взаимодействия с кислородом воздуха;

2) органическая масса некоторых видов твердого топлива (торф, бурый уголь, сапропели) может подвергаться термическому разложению уже при температуре сушки.

Поэтому определять влагу в торфе, буром угле и сапропелях в тех случаях, когда требуется высокая точность анализа, рекомендуется объемным методом.

Определение содержания влаги в бурах и каменных углях, антраците и горючих сланцах методом сушки.

Определение проводят по ГОСТ 11014-70. Навеску топлива в виде лабораторной или аналитической пробы высушивают в электрическом сушильном шкафу при открытых вентиляционных заслонках при температуре 105–110°C (основной метод) или при 140±5°C (ускоренный метод).

Порядок выполнения работы

а) Метод высушивания пробы при температуре 105–110°C (основной метод)

1. Взвесить стеклянные стаканчики с погрешностью ±0,002 г.
2. Пробу топлива тщательно перемешать в закрытой банке путем встряхивания.
3. Отобрать две навески топлива по 10±1,0 г каждая в стаканчики.
4. Взвесить стаканчики с топливом ± 0,002 г.
5. Поместить стаканчики с приоткрытыми крышками в сушильный шкаф, предварительно нагретый до 105–110°C и сушить при этой температуре каменные угли и горючие сланцы - 60 мин; бурые угле и продукты мокрого обогащения топлива - 90 мин; антрацит - 120 мин. Время

высушивания считают с того момента, когда температура в шкафу, понизившаяся при установке стаканчиков, снова достигает $105 - 110^{\circ}\text{C}$.

6. После высушивания стаканчики с навесками топлива закрыть крышками, вынуть из шкафа.

7. Охладить стаканчики сначала на воздухе 2 – 3 мин, а затем в эксикаторе до комнатной температуры.

8. Взвесить стаканчики с навесками с погрешностью $\pm 0,002$ г,

б) Метод высушивания пробы при температуре $140 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (ускоренный метод)

1. Взвесить стаканчики с погрешностью $\pm 0,002$ г.

2. Пробу топлива тщательно перемешать в закрытой банке путем встряхивания.

3. Отобрать два навески топлива по $10 \pm 1,0$ г каждая в стаканчики.

4. Взвесить стаканчика с топливом $\pm 0,002$ г.

5. Поставить стаканчика с топливом на предварительно нагретую перфорированную металлическую полку шкафа, сняв крышки и положив их также на полку.

6. Поместить полку со стаканчиками а крышками в сушильный шкаф, нагретый до температуры $140 \pm 5^{\circ}\text{C}$ и сушить при этой температуре каменные угли, антрацит и горючие сланцы - 20 мин; бурые угли - от 40 до 70 мин. (в зависимости от месторождения); продукты мокрого обогащения сланцев - 30 мин. Время высушивания считать с того момента, когда температура в шкафу, понизившаяся при установке стаканчиков, снова достигнет $140 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

7. После высушивания стаканчики закрыть крышками, вынуть из шкафа, перенести на холодную пластину вместе с полкой.

8. Охладить сначала на воздухе 2-3 мин, а затем в эксикаторе до комнатной температуры не более 20 мин.

9. Взвесить стаканчика с навесками точностью $\pm 0,002$ г.

Обработка результатов опыта

Содержание влаги W^P , W^I и W^a вычисляют по формуле:

$$W^a = \frac{G - G_1}{G} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где G – вес навески топлива до высушивания, г;

G_1 – вес навески топлива после высушивания, г.

Расхождение между результатами двух параллельных определений не должно превышать при определении W^P и $W^I \pm 0,3\%$, а при определении $W^a \pm 0,2\%$, при содержании влаги до 10% и $W^a \pm 0,3\%$, при содержании влаги свыше 10%.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткое описание методики проведения лабораторной работы.
2. По формуле (3) определить влагу в аналитической пробе топлива (W^a). Принять вес навески топлива, $G = 100$ г; вес навески топлива после высушивания, $G_1 = 0,05 \div 0,09$ кг.
3. Выводы по работе с указанием влияния содержания влаги в топливе на процесс горения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

"ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ"

При нагревании твердых топлив происходит разложение (термическая деструкция) термически нестойких сложных, содержащих кислород углеводородистых соединений органической массы с образованием летучих веществ (паров и газов); паров воды; водорода, углеводородов, окиси и двуокиси углерода и др.

Выход летучих веществ уменьшается по мере увеличения химического возраста топлива, а температура их выхода увеличивается. Так, у торфов он достигает 70% в расчете на горючую массу, у бурых углей 45 – 55%, у каменных 20 – 45%, у антрацитов – 2 – 8%.

Следовательно, термическая стабильность органической массы твердого топлива повышается с ростом степени углефикации и выход летучих веществ может служить признаком степени углефикации (метаморфизма) топлива, его химического возраста.

Для торфа выход летучих веществ начинается при температуре ~100°C, бурых – 100–170°C, тощих углей и антрацитов ~ 400°C. и завершается при температурах – 1100° – 1200°C.

После выделения летучих веществ из топлива образуется коксовый остаток. Топливо, в зависимости от его спекающей способности, образует коксовый остаток от порошкообразного до сплавленного.

Коксовый остаток, полученный после выделения летучих веществ, классифицируют следующим образом:

- 1) порошкообразный;
- 2) слипшийся – при легком нажиме пальцам рассыпается порошок;
- 3) слабоспекшийся – при легком нажиме пальцем раскалывается на отдельные кусочки;
- 4) спекшийся, не с давленный – для раскалывания на отдельные кусочки необходимо приложить усилие;

5) сплавленный, не вспученный – плоская лепешка с серебристым металлическим блеском поверхности;

6) сплавленный, вспученный – вспученный остаток с серебристым металлическим блеском высотой менее 15 мм;

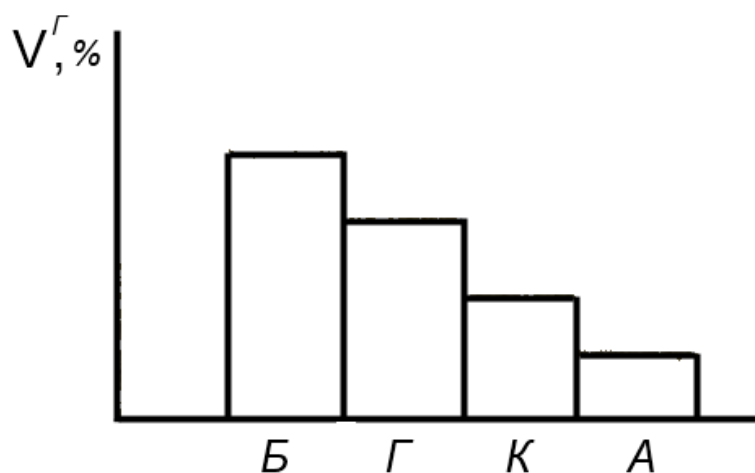
7) сплавленный, сильно вспученный – вспученный остаток с серебристым металлическим блеском высотой более 15 мм.

Каменные угли низкой степени метаморфизма ("молодые"), например, длиннопламенные, дают порошкообразный или слипшийся коксовый остаток. Коксовые угли дают относительно прочный сплавленный или спекшийся коксовый остаток. По мере перехода к тощим углям и антрацитам спекаемость падает. У углей марки Г и А – порошкообразный коксовый остаток.

Выход летучих веществ в сочетании с характеристиками кокса – является важнейшим классификационным признаком, определяющим способ и эффективность использования топлив в теплоэнергетике и целесообразность использования каменных углей для получения кокса в металлургии.

Цель лабораторной работы – ознакомление с методикой определения выхода летучих веществ весовым методом, и наглядное подтверждение зависимости выхода летучих веществ от степени метаморфизма.

В результате выполнения лабораторной работы должны быть получены зависимости типа.



Методика определения выхода летучих веществ

Выход летучих веществ определяется рядом факторов, а именно: температурой нагрева, скоростью нагрева, временем выдержки, величиной навески, степенью дисперсности частиц и др. Для получения воспроизводимых результатов условия определения выхода летучих веществ стандартизованы.

Сущность метода (ГОСТ 6382-65) заключается в нагревании навески топлива $1g (\pm 0,1g)$ в фарфоровом или кварцевом тигле с притертой крышкой. Крышка тигля должна по возможности затруднять проникновение в тигель воздуха, чтобы предотвратить выгорание топлива. В то же время она не должна препятствовать выходу летучих веществ из тигля.

Аналитическую пробу топлива в течение некоторого времени выдерживают при температуре $850^{\circ} \pm 10^{\circ}C$. При этой температуре выделяется основная масса летучих веществ. Дальнейшее повышение температуры сказывается незначительно на выделении летучих веществ - на 2-2,5% увеличивается их выход при повышении температуры до $1200^{\circ}C$. Получение же такой температуры в лабораторных условиях связано с определенными трудностями. Важно, чтобы отклонения температуры от принятой не превышало $10^{\circ}C$, иначе расхождения в величине выхода летучих превысят допускаемые стандартом.

Анализ выполняется, параллельно на двух пробах следующим образом:

1. Навеску аналитической пробы топлива в $1g (\pm 0,1g)$ помещают в предварительно взвешенные фарфоровые или кварцевые тигли.

Все взвешивания пополняют с точностью до 0,0002 г.

2. Тигли, закрытые крышками, устанавливают на подставку и помещают вместе с подставкой возможно быстрее в зону устойчивой температуры муфеля, нагретого до температуры $860^{\circ}C$. Температура, понизившаяся при установке тиглей, должна снова достичь $850^{\circ} \pm 10^{\circ}C$ не более чем за 3 мин. В закрытом муфеле тигли выдерживают в течение 7 мин по секундомеру.

3. По истечении 7 мин тигли из муфеля вынимают, охлаждают 5 мин на воздухе, не снимая крышек, а затем в эксикаторе до комнатной температуры, после чего взвешивают.

4. По окончании взвешивания вскрывают тигли, осматривают в классифицируют коксовый остаток в соответствии с приведенной выше классификацией.

Выход летучих веществ в аналитической пробе подсчитывают по формуле

$$V^a = \frac{G_1}{G} \cdot 100 - W^a, \% \quad (4)$$

а при содержании улекислоты карбонатов в аналитической пробе $[(CO_2)_K^a]$ более 2,0% - по формуле

$$V^a = \frac{G_1}{G} \cdot 100 - W^a - (CO_2)_K^a, \% \quad (5)$$

где G - масса навески топлива, г; G_1 - убыль массы тигля с навеской топлива, г; W^a - содержание влаги в пробе, %; $(CO_2)_K^a$ - содержание углекислоты карбонатов, выраженное разностью содержаний CO_2 в исходной пробе и коксовом остатке после определения выхода летучих веществ, %.

Выход летучих веществ на горючую массу подсчитывают по формуле

$$V = V^a \frac{100}{100 - W^a - A^a}, \% \quad (6)$$

а при содержании углекислоты карбонатов в аналитической пробе более 2% по формуле

$$V = V^a \frac{100}{100 - W^a - A^a - (CO_2)_K^a}, \% \quad (7)$$

Расхождения в результатах определения выхода летучих веществ в одной пробе не должны превышать:

для угля с выходом летучих веществ менее 9% - 0,3%

для угля с выходом летучих веществ от 9 до 45% - 0,5%

для угля с выходом летучих веществ более 45% - 1,0%.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткое описание методики проведения лабораторной работы.
2. По формуле (4) определить выход летучих веществ в аналитической пробе (V^a). Принять вес навески топлива, $G = 100$ г; убыль массы тигля с навеской топлива $G_1 = 0,03 \div 0,06$ кг; влагу в аналитической пробе топлива брать из результатов лабораторной работы №2.
3. Выводы по работе с указанием влияния содержания выхода летучих в топливе на процесс горения.