

Кафедра теплотехники и котельных установок

ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОПЛИВА

Методические указания к проведению лабораторных
работ по курсу «Теплогенерирующие установки» для
студентов специальности 290700 «Теплогазоснабжение
и вентиляция»

Оглавление

Введение.....	1
Лабораторные работы	
Определение влажности топлива.....	4
Определение зольности топлива.....	6
Определение выхода летучих веществ.....	8
Литература.....	12
Приложения	
Метод приготовления аналитической пробы твердого топлива.....	13

ВВЕДЕНИЕ

Топливом называется горючее вещество, используемое в качестве источника получения тепла в энергетических, промышленных и отопительных установках. В зависимости от принципа освобождения энергии, заключающейся в топливе, различают ядерное и химическое топливо.

Ядерное топливо выделяет энергию в результате ядерных преобразований, а химическое - в результате окисления горючих элементов, входящих в состав топлива.

Органическое химическое топливо представляет собой сложные углеродистые и углеводородистые соединения с примесью минеральных веществ, образовавшихся из остатков растительного или животного происхождения в результате процессов, протекавших под давлением и без доступа воздуха на протяжении длительного времени.

В соответствии с агрегатным состоянием топливо делят на твердое, жидкое и газообразованное. К твердому относят все ископаемые угли, торф, древесину, горючие сланцы; к жидкому - в основном нефтепродукты, в том числе мазут и моторные топлива; к газообразному - природный газ, попутные газы и промышленные горючие газы: генераторный, доменный, коксовый и др.

Различают естественное (природное), и искусственное топливо, а также топливные отходы. Естественным топливом называют топливо, которое используется в том виде, в каком оно было получено при добыче: уголь, нефть, природный газ и т.п. Искусственным называют топливо, полученное в результате технологической переработки естественного топлива, например, мазут, моторное топливо, полученные в результате переработки нефти. Топливные отходы образуются в результате технологической переработки естественного топлива (например, отходы углеобогащения), а также в результате технологической переработки горючего сырья (например, древесина и др.).

При оценке топлива и выполнении расчетов различают их органическое, сухое беззольное, сухое и рабочее состояния. Состав каждого состояния топлива обозначают соответствующими индексами (таблица).

Топливо, содержащее влагу и золу, с которой оно добывается, отгружается и используется потребителем, называют рабочим, а содержание в нем химических элементов обозначают с индексом "r" в процентах.

Например, рабочий состав топлива представляют в виде

$$C_t^r + H_t^r + O^r + N^r + S_t^r + A^r + W_t^r = 100\%.$$

Указанные элементы не составляют механическую смесь, а находятся в топливе в виде сложных соединений, в горючей и негорючей его части.

1

Таблица

Индекс	Элемент							
	Углерод C_t	Водород H_t	Кислород O	Азот N	Сера		Зола A	Влага W_t
					органическая S_o	Сульфидная S_s		
0	Органическое состояние							
daf	Сухое беззольное состояние							
α	Сухое состояние							
r	Рабочее состояние							

Влага и зола, содержащиеся в топливе, называются балластом топлива, т.е.

3

$$A + W_t = B.$$

Балласт снижает ценность топлива, уменьшая его теплоту сгорания. Влага, содержащаяся в топливе, как правило, вредна тем, что, во-первых, на ее испарение при горении расходуется теплота и, во-вторых, увеличение водяных паров в продуктах сгорания приводит к возрастанию потери тепла о уходящими газами. Наличие золы не только снижает теплоту сгорания топлива, но и затрудняет в ряде случаев процесс горения в топке, что влияет на условия работы котельного агрегата.

Сера содержится в топливе в трех видах: органическая S_o , которая связана с углеродом, водородом, азотом и кислородом в виде сложных органических соединений, сульфидная S_s в соединении с железом и сульфатная S_{so_4} в виде соединений $FeSO_4, MgSO_4, CaSO_4$ и др. Сера, входящая в состав органических и сульфидных соединений, в топочных процессах сгорает и выделяет теплоту, образуя при этом сернистый (SO_2) и серный (SO_3) ангидриды, которые загрязняют атмосферу. В свою очередь при сгорании, серы серный и сернистый ангидриды образуют с конденсирующимися водяными парами, содержащимися в дымовых газах, серную и сернистую кислоты, которые вызывают коррозию металлических частей котельного агрегата. Сульфатная сера, входящая в состав предельных окислов, в процессе горения не участвует, величину сульфатной серы в теплотехнические расчеты не вводят, относя ее к минеральной части топлива, а для расчетов исходной величиной является горючая сера (S_c):

$$S_c = S_o + S_s.$$

Кислород в топливе содержится в количестве, зависящем от геологического возраста топлива (стадия метаморфизма). Содержание кислорода с увеличением стадии метаморфизма топлива уменьшается с 41% для древесины до 1,7-2,6% для антрацита. Кислород снижает теплоту сгорания и поэтому является нежелательным.

Содержание азота в твердом топливе незначительно, оно составляет 0,8 - 2,5%. В зоне высоких температур азот окисляет кислород, что приводит к образованию окислов азота, являющихся вредными компонентами, выброс которых в атмосферу загрязняет воздушный бассейн.

Основными горючими элементами являются углерод, водород, органическая и сульфидная сера. Чем больше процентное содержание горючих элементов, тем выше теплота сгорания топлива.

Теплота сгорания топлива - это количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании единицы массы твердого и жидкого топлива или единицы объема (при нормальных условиях) газообразного топлива. Теплота сгорания топлива измеряется в мДж/кг или ВДж/м³. Для сравнения между собой масс различных топлив, отличающихся теплотой сгорания, введено понятие условного топлива, под которым понимают топливо, теплота сгорания которого составляет 29,3 МДж/кг. Этой величиной пользуются при суммировании топливных ресурсов, сравнении удельных расходов топлива на единицу энергии (выработанной или отпущенной потребителю), при проведении технико-экономических расчетов и др.

Для определения технологических свойств топлива производится его технический анализ.

Технический анализ позволяет определить характеристики топлива, по которым можно судить о его технологической ценности и о возможности применения его в конкретных эксплуатационных условиях.

Целью лабораторных работ является ознакомление студентов с методикой проведения технического анализа топлива, обучение использованию результатов анализа для правильной оценки качества топлива.

Для выбранного образца твердого топлива производится определение влажности, зольности, выхода летучих веществ и теплоты сгорания.

Для проведения технического анализа из анализируемой рабочей массы твердого топлива производится отбор общей пробы, которую подвергают обработке, включающей в себя последовательные операции измельчения, перемешивания и сокращения пробы.

При обработке пробу измельчают до размера частиц не более 3 мм и сокращают до массы не менее 2 кг, затем ее измельчают до размера частиц не более 3 мм. Получившееся измельченное топливо (размер частиц 0-3 мм) тщательно перемешивают, распределяют ровным слоем на противне и методом квартования сокращают до массы не менее 0,5 кг.

В результате обработки общей пробы получается лабораторная проба твердого топлива, масса которой равна 0,5 кг, а размер частиц 0-3 мм.

Лабораторная проба используется только при определении влажности топлива (W_t^r) на его рабочее состояние. Для определения других характеристик топлива используется аналитическая проба (размеры кусочков 0 - 0,2 мм). Способ приготовления аналитической пробы топлива описан в прил. 1.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ТОПЛИВА

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с методикой определения влаги, содержащейся в твердом топливе. Сущность метода заключается в высушивании навески топлива в сушильном шкафу при температуре 105-110°C и вычислении потери массы взятой навески.

Основные понятия

Общая влага топлива (W_t) представляет собой содержание внешней влаги (W_{ex}) и влаги воздушно-сухого топлива (W_h).

$$W_t = W_{ex} + W_h.$$

Внешняя влага (W_{ex}) - часть общей влаги топлива, которая удаляется при его высушивании до воздушно-сухого состояния. Высушивание топлива осуществляют в сушильных шкафах с температурой не более 40°C для бурых углей и торфа и не более 50°C для каменных углей. Продолжительность сушки пробы топлива массой не менее 0,5 кг не более 8 ч.

Влага воздушно-сухого топлива (W_h) - часть общей влаги топлива, которая остается в нем после высушивания до воздушно-сухого состояния. Эту влагу в топливе определяют по лабораторной пробе (диаметр зерна не более 3 мм, масса пробы не менее 0,5 кг) при сушке ее в сушильном шкафу при температуре 105-110°C.

Гидратная влага (W_M) входит в состав молекул некоторых минеральных примесей, например $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Количество ее незначительно (менее 1%), поэтому в величину общей влажности (W_t) топлива она не включается. Удаление гидратной влаги происходит при дегидратации молекул минерала в процессе нагрева до высоких температур (свыше 500°C).

В твердых топливах величина общей влаги колеблется от 4 - 8% (для антрацита) до 85 - 90% (для свежееизвлеченного торфа).

При проведении технического анализа топлива определяют влагу аналитической пробы (W^a), которая представляет собой содержание влаги в аналитической пробе с крупностью зерен менее 0,2 мм. Определение влажности топлива производится методом высушивания навески топлива до постоянной массы при определенных условиях, определяемых ГОСТом 11305-65 или методом отгонки воды под слоем жидкости с низкой температурой кипения, с последующим замером отогнанной воды.

Проведение работа

Определение влаги аналитической пробы (W^a) методом сушки проводят параллельно на двух пробах.

Аналитическую пробу топлива с частицами размером не более 0,28 мм перемешать в открытой банке шпателем или ложкой, после чего взять в предварительно взвешенные на аналитических весах стеклянные стаканчики (бюксы) навеску топлива массой 1 - 0,5 г на разной глубине из двух-трех мест.

Стаканчики с навесками топлива поместить в сушильный шкаф, предварительно нагретый до температуры 105-110°C, и сушить при этой температуре. Длительность сушки для каменных углей, антрацита и горючих сланцев составляет 30 мин, для других углей и продуктов мокрого обогащения топлива 60 мин, а для торфа 2 часа.

Контрольное просушивание устанавливается 30 мин. Навески топлива просушивают контрольно до тех пор, пока разность масс при двух последовательных взвешиваниях не станет менее 0,001 г.

Все взвешивания выполнять с точностью до 0,0002 г. За содержание влаги в аналитической пробе топлива (W^a) принимают общую убыль массы (ΔM), вычисленную в процентах к массе навески топлива (M).

Обработка результатов

Содержание влаги в аналитической пробе топлива определяется по формуле

$$W^a = \frac{\Delta M}{M} 100\%,$$

где ΔM - убыль массы навески топлива после высушивания, г;

M - масса навески топлива до высушивания, г.

Вычисление результатов выполнять с точностью до 0,01%.

Расхождения в результатах определения влаги в аналитической пробе топлива (параллельные определения) не должны превышать в одной и той же лаборатории 0,2%.

Журнал наблюдений

Вид топлива _____

Время просушки _____

Контрольные просушки _____

№ п/п	Масса, г		Масса бюксы с навеской топлива, г		Убыль массы после просушивания, г	Влажность, %
	бюксы	навески до опыта	до опыта	после опыта		
	M_1	$M = M_2 - M_1$	M_2	M_3	$\Delta M = M_2 - M_3$	W^a
1						
2						
3						

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛЬНОСТИ ТОПЛИВА

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с методикой определения зольности твердого топлива. Сущность метода заключается в озолении навески топлива в муфельной печи и прокаливании зольного остатка при температуре $800 \pm 25^\circ\text{C}$.

Основные понятия

Содержание минеральных примесей в твердом топливе в зависимости от условий его образования колеблется в очень широких пределах. Например, для каменных и бурых углей оно колеблется от 3,0 до 40% и выше. Рассматривая вопрос об этих примесях, необходимо четко разграничивать два понятия: минеральную часть топлива и очаговые остатки.

Под минеральной частью топлива понимают неорганические примеси, содержащиеся в топливе до его сгорания.

Твердый негорючий остаток, получившийся после завершения преобразований в минеральной части топлива при выжигании его в лабораторных условиях, называется золой. Выжигание топлива осуществляется в муфельной печи при температуре 800°C в окислительной среде (воздухе).

Очаговыми остатками называют конечные, продукты, которые образуются в результате сложных физических и химических процессов, происходящих в самом топливе при его сжигании и его неорганических минеральных примесях. Очаговые остатки отличаются от минеральной части топлива как по химическому составу, так и по физическим свойствам. Для оценки минерального вещества введен параметр "А"-зола топлива. Это связано с тем, что в процессах сгорания топлива в лабораторных условиях и его сжигания в топке в минеральной части топлива под воздействием высокой температуры происходят химические превращения. Для названных случаев эти химические превращения различны, так как выжигание топлива в муфельной печи происходит при постоянной, фиксированной темпера-

туре и в стабильной воздушной среде, а сжигание топлива в топке происходит при сильно меняющейся температуре ($900 \div 1400^\circ\text{C}$) и в среде, содержание кислорода в которой сильно меняется от 21% до 0.

Несмотря на то, что зола не тождественна минеральной части топлива, при различных теплотехнических расчетах широко пользуются содержанием золы в топливе, так как состав и характеристики золы топлива оказывают существенное влияние на условия работы котельного агрегата.

Определение золы производится методом медленного озоления навески топлива и прокаливании зольного остатка до постоянной массы в соответствии с ГОСТом 11306 - 65.

Проведение работы

В предварительно прокаленный и взвешенный на аналитических весах фарфоровый тигель насыпают 1-2 г аналитической пробы топлива и взвешивают с точностью до 0,0002 г. Затем тигель с навеской топлива помещают в холодную или предварительно нагретую до температуры 300°C муфельную печь, закрывают дверцу и постепенно нагревают печь до температуры $600 \pm 25^\circ\text{C}$. При этой температуре образовавшийся зольный остаток прокаливают в течение 2 ч в закрытой муфельной печи. После прокаливания тигель с зольным остатком вынимают из печи, охлаждают сначала в течение 5 мин на воздухе, а затем в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают, после чего тигель с зольным остатком вновь устанавливают в муфельную печь для контрольного прокаливания в течение 40 мин при температуре $800 \pm 25^\circ\text{C}$. Затем, охладив, как указано выше, снова взвешивают. Испытание заканчивают, когда при контрольном прокаливании разность в массе зольного остатка при двух последовательных взвешиваниях не будет превышать 0,001 г.

За содержание золы в аналитической пробе топлива (A^a) принимают массу зольного остатка (M_4), выраженную в процентах по отношению к массе взятой навески топлива (M).

Обработка результатов

Зольность аналитической пробы топлива A^a подсчитывают по формуле

$$A^a = \frac{M_4}{M} 100\%,$$

где M_4 - масса зольного остатка, г;

M - масса навески топлива, г.

Зольность топлива в пересчете на сухое состояние A^s определяют по формуле

$$A^{\alpha} = A^a \frac{100}{100 - W^a}, \%,$$

7

где W^a - содержание влаги в аналитической пробе топлива, %.

Вычисление результатов выполнять с точностью до 0,01%.

Расхождение в результате определения зольности топлива в одной пробе при параллельном определении не должны превышать для:

- а) бурого и каменного угля, антрацита
 - 0,2 % при зольности топлива до 12%,
 - 0,3 % при зольности топлива от 12 до 25%,
 - 0,5 % при зольности топлива более 25%;
- б) торфа
 - 0,2 % при зольности торфа до 8%,
 - 0,3 % при зольности торфа от 8 до 20 %,
 - 0,5 % при зольности торфа более 20 %.

Журнал наблюдений

Вид топлива _____

Время основного _____

прокаливания _____

Время контрольного прокаливания _____

№ п/п	Масса, г		Масса тигля с навеской топлива, г		Масса зольного остатка, г		Содержа- ние золы, %	
	тигля	навески	до опыта	после опыта				
	M_1	$M = M_2 - M_1$	M_2	M_3	$M_4 = M_3 - M_1$	A^a	A^{α}	
1								
2								
3								

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ

Целью работы является ознакомление студентов с методикой определения выхода летучих веществ. Сущность метода заключается в определении суммарного выхода летучих веществ по потере в массе путем нагревания навески твердого топлива в закрытом фарфоровом тигле при $850 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 7 мин. (ГОСТ 6382 - 80).

Основные понятия

Летучие вещества - газообразные и парообразные продукты, выделяющиеся при разложении топлива без доступа воздуха под действием высокой температуры. Вместе с выделением летучих веществ происходят также выделение влаги, содержащейся в топливе. При расчете выхода летучих веществ содержание влаги в топливе вычитают.

В состав летучих веществ входят горючие компоненты: водород, окись углерода, метан, углеводороды типа $C_m H_n$, уголекислота и некоторые другие газы.

Выход летучих веществ, их качественный и количественный состав, а также температура, при которой они начинают выделяться, при прочих равных условиях, определяются геологическим возрастом топлива: чем топливо геологически старше, тем меньше выход летучих и тем выше тем-

8

пература начала их выделения. Выход летучих у различных твердых топлив колеблется в больших пределах - от 3 до 70% на сухое беззольное состояние.

Летучие вещества оказывают большое влияние на процесс горения топлива. Топливо с большим выходом летучих (например, торф, горючий сланец, бурый уголь) обладает большой реакционной способностью.

Наоборот, топливо с малым выходом летучих (например, антрацит) является менее реакционно способным.

Твердый остаток, который получается после выхода летучих, называется коксовым остатком. Коксовый остаток, оставшийся после полного выделения летучих, состоит из углерода и минеральной части топлива. В зависимости от условий нагревания (например, при низких температурах) в твердом остатке, кроме минеральной части топлива, может содержаться часть элементов (S_{vk}, C_t, N, H_t), входящих в состав сложных органических соединений, для разложения которых и выхода в виде летучих веществ требуется более высокая температура. В этом случае остаток называется полукоксом.

По внешнему виду и прочности коксового остатка судят о спекаемости угля. Угли, дающие плотный спекающийся коксовый остаток, обладающий значительной механической прочностью, являются спекающимися углями. Угли, дающие порошкообразный коксовый остаток, являются неспекающимися углями. Среднее положение занимают угли, коксовый остаток которых является слабоспекающимся.

При определении выхода летучих веществ топливо нагревают без доступа воздуха при постоянных значениях температуры во времени.

Проведение работы

В предварительно прокаленный и взвешенный на аполитических весах фарфоровый тигель с крышкой насыпают 1 г ($\pm 0,01$ г) аналитической пробы топлива и взвешивают с точностью до 0,0002 г.

Навеску торфа, бурых и каменных углей с выходом летучих более 20% перед проведением опыта необходимо брикетировать.

Тигель с навеской топлива закрывают крышечкой и на специальной подставке помещают в разогретую до температуры $850 \pm 10^\circ\text{C}$ муфельную печь. Печь закрывают и при данной температуре тигель выдерживают в ней в течение 7 мин. Во время опыта температуру в печи контролируют с помощью термопары. Колебания температуры, имеющие место в начале опыта вследствие открытия дверцы, заканчиваются в течение первых 3 мин. После этого температура поддерживается постоянной ($850 \pm 10^\circ\text{C}$). Если колебания температуры в последние четыре минуты выходят за этот предел, то опыт следует повторить.

Через 7 мин тигель вынимают из печи, охлаждают в закрытом состоянии сначала в течение 5 мин на воздухе, а затем окончательно в эксикаторе до комнатной температуры, взвешивают и освобождают до нелетучего остатка. Все взвешивания выполняют с точностью до 0,0002 г. Убыль массы, вычисленную в процентах к массе навески топлива за вычетом процента влаги (W^a), принимают за выход летучих веществ (V^a) в аналитической пробе топлива.

Нелетучий остаток можно характеризовать по результатам опыта следующим образом:

- порошкообразный;
- слипшийся - при легком нажиме пальцем рассыпается в порошок;
- слабоспекшийся - при легком нажиме пальцем раскалывается на отдельные кусочки;

- спекшийся, несплавленный - для раскалывания на отдельные кусочки необходимо приложить усилие;
- сплавленный неvspученный - плоская лепешка с серебристым металлическим блеском поверхности;
- сплавленный, вспученный - вспученный остаток с серебристым металлическим блеском высотой менее 15 мм;
- сплавленный, сильно вспученный - вспученный остаток с серебристым металлическим блеском высотой более 15 мм.

Обработка результатов

Выход летучих веществ в аналитической пробе топлива подсчитывают по формуле

$$V^a = \frac{\Delta M}{M} (100 - W^a), \%,$$

где ΔM - убыль массы тигля с навеской топлива после нагрева, г;

M - масса навески топлива, г;

W^a - содержание влаги в аналитической пробе топлива, %.

Для характеристики топлива пользуются данными по выходу летучих, пересчитанными на сухое беззольное состояние:

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

где A^a - зольность аналитической пробы топлива, %.

Вычисление результатов выполнять с точностью до 0,01%.

Расхождения в результатах определения выхода летучих веществ в одной аналитической пробе не должны превышать при параллельном определении:

- 0,3% при выходе летучих веществ менее 9%;
- 0,5% при выходе летучих веществ от 9 до 45%;
- 1% при выходе летучих веществ более 45%.

Журнал наблюдений

Вид

топлива _____

Время

выдержки

в

печи _____

Журнал испытаний

№ п/п	Масса, г		Масса тигля с навеской топлива, г		Убыль массы при нагревании, г	Выход летучих, %	
	тигля с крышкой	навески топлива	до опыта	после опыта		V^a	V^{daf}
	M_1	$M = M_2 - M_1$	M_2	M_3	$\Delta M = M_2 - M_3$	V^a	V^{daf}

1

2

3

ЛИТЕРАТУРА

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубровского. М.: Энергия, 1973.
2. *Лебедев В.И., Пермяков Б.А., Хаванов П.А.* Расчет и проектирование теплогенерирующих установок систем теплоснабжения. М.: Стройиздат, 1992.
3. *Роддатис К.Ф.* Котельные установки: Учебн. пос. для студентов неэнергетических специальностей вузов. М.: Энергия, 1977.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Метод приготовления аналитической пробы твердого топлива

Полученные две лабораторные пробы помещают в пронумерованные банки с плотно закрывающимися крышками, а две оставшиеся части после сокращения выбрасывают. Банки с лабораторными пробами взвешивают с погрешностью не более 1 г. В банки с лабораторными пробами вкладывают этикетки и опечатывают.

На этикетках указывают: наименование предприятия-поставщика, наименование предприятия-потребителя, вид продукции, номер пробы и дату ее отбора, время и дату обработки пробы, массу пробы с банкой.

Лабораторную пробу после определения влажности на рабочую массу топлива (W_t') высыпают на противни, разравнивают ровным слоем толщиной не более 30 мм для торфа и не более 10 мм для каменных углей, помещают их в сушильный шкаф, предварительно нагретый до 50 ± 5 °С. Подсушку топлива производят в течение определенного времени в зависимости от вида топлива. Бурые угли и горючие сланцы сушат 4-5 ч, каменные угли - 3 ч, антрациты - 2-3 ч и торф - 6 ч. Пробу через каждые 30 мин перемешивают.

Подсушенную и охлажденную до комнатной температуры пробу измельчают в дисковой мельнице МДА по ГОСТу 10649 - 73 или растирают в фарфоровой ступке до полного прохождения через сито № 028 по ГОСТу 3584 - 73.

Измельченную пробу выдерживают на противне при комнатной температуре не менее 12 ч, после чего тщательно перемешивают, разравнивают ровным слоем и набирают из равных мест аналитическую пробу не менее 120 г.

Пробу помещают в банку, вкладывают этикетку, плотно закрывают пробкой и передают на анализ.

Аналитическую пробу, приготовленную из лабораторной пробы, после проведения анализов хранят в течение месяца.