

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова
Кафедра энергетики теплотехнологии

Утверждено
научно-методическим советом
университета

ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров
13.03.01-Теплоэнергетика и теплотехника



Белгород
2018

УДК 662.61(075)
ББК 31.35
Г 85

Составители: Гришко Б.М.,
Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.

Рецензент: Губарев А.В., доц.

Г85 **Источники энергии теплотехнологии:** Методические указания к выполнению лабораторных работ / Сост. Б.М. Гришко, П.А. Трубаев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 32 с.

Лабораторные работы по курсу «Источники энергии теплоэнергетики» предназначены для закрепления теоретического материала и приобретения необходимых навыков в постановке и проведении экспериментальных исследований, обработке и анализе их результатов.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника.

УДК 662.61(075)
ББК 31.35

© БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы по курсу «Источники энергии теплоэнергетики» предназначены для закрепления теоретического материала и приобретения навыков в постановке и проведении экспериментальных исследований, обработке и анализе их результатов. Перед выполнением лабораторной работы студент должен изучить методические указания, соответствующий раздел курса и подготовить таблицы для записи результатов измерений.

По каждой работе студент оформляет письменный отчет, который должен включать цель работы, краткие теоретические сведения, схему установки, протокол опытов, статическую обработку опытных данных и выводы. Все расчеты должны производиться в Международной системе единиц СИ. По каждой работе студент сдает отчет преподавателю. Студенты, не получившие зачета по двум работам, к выполнению следующей работы не допускаются.

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. К выполнению лабораторных работ студенты допускаются только после изучения данных методических указаний.

2. Перед включением лабораторной установки необходимо проверить исходное положение органов управления.

3. Включение и выключение установки, а также режима ее работы производится студентом под наблюдением преподавателя или лаборанта.

4. В случае возгорания проводки или в других случаях (повышение температуры теплоносителей свыше предельных значений) необходимо немедленно сообщить об этом лаборанту или преподавателю. Работать на неисправной установке запрещено.

РАБОТА № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА И ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ

Цель работы: ознакомиться с методикой определения влажности топлива и выхода летучих веществ; определить влажность и выход летучих веществ в каменном угле.

Основные понятия

Одной из основных теплотехнических характеристик твёрдого топлива является его влажность.

Содержание влаги в топливе колеблется от долей процента в жидком топливе, до 50..60% в сырых дровах и свежедобытом торфе.

В зависимости от конкретных форм связи с топливом различают несколько её видов.

Сорбционная влага. Этот вид влаги обусловлен способностью твёрдых топлив. Вследствие их капиллярно-пористой структуры и коллоидных свойств, удерживают влагу за счёт сил межмолекулярного взаимодействия, которое может иметь место как на поверхности топлива, так и в его объёме.

Характерной особенностью сорбционной влаги является определённая зависимость равновесного содержания её в топливе от температуры и парциального давления водяного пара в окружающей среде (воздухе). Сорбируемость топливом влаги из воздуха определяет его гигроскопические свойства. Для сравнения свойств топлив по их гигроскопичности принято использовать значение равновесной влажности, соответствующее стандартным лабораторным условиям: температуре 20°C и относительной влажности воздуха 60%. Влагу, содержащуюся в топливе при этих условиях, называют **гигроскопической**.

Наиболее гигроскопичными являются твёрдые ископаемые топлива ранней стадии углефикации: торф, бурый уголь.

Капиллярная влага представляет собой часть общей влаги топлива, находящейся в его порах (капиллярах). Присутствие её в порах обусловлено так называемой капиллярной конденсацией, имеющей место при размерах пор менее 10^{-5} см. Если радиус пор более 10^{-5} см, капилляры заполняются водой при прямом контакте топлива с ней.

Количество капиллярной влаги в топливе, в основном, зависит от его пористости, возрастающей с ростом углефикации топлива. Форма и размеры пор весьма разнообразны.

Капиллярное всасывание влаги может привести к заполнению ею не только пор внутри кусков (частиц) топлива, но и промежутков между частицами, если эти промежутки имеют достаточно малые размеры. Кроме

того, водяная плёнка может образоваться на всей внешней поверхности кусков. Влага, располагающаяся снаружи кусков (частиц) топлива, получили название поверхностной.

Некоторая часть влаги входит в состав кристаллогидратов, которые присутствуют среди минеральных примесей топлива и представлены, главным образом, силикатами ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Эту влагу принято называть гидратной водой. На её долю обычно приходится лишь несколько процентов общего содержания воды в топливе; доля гидратной воды возрастает при увеличении зольности топлива. Особенно заметно содержание кристаллогидратной влаги у горючих сланцев.

Вода в кристаллогидратах содержится в строго определённых количествах независимо от общей влажности топлива и внешних условий и удаляется из кристаллогидратов только при их разложении в результате химических реакций, протекающих при нагреве топлива выше $150 \dots 200^\circ\text{C}$.

Полное выделение гидратной воды достигается достаточно быстро (за несколько минут и секунд) только при температурах $700 \dots 900^\circ\text{C}$.

Технологический показатель влажности топлива характеризуется содержанием общей влаги, обычно определяемой по потере массы пробы топлива при полном её высушивании на воздухе при температурах $105 \dots 140^\circ\text{C}$ и выражаемой в процентах первоначальной массы. В найденную таким способом общую влагу не входит гидратная вода.

Обычно качество топлива по влажности в производственных условиях характеризуют относительным содержанием рабочей влаги W^p – общей влаги топлива, находящегося в таком состоянии, в котором оно доставлено потребителю.

Присутствие влаги в топливе существенно ухудшает его основные технологические характеристики, снижает его тепловую ценность, создаёт значительные трудности при транспортировке и подготовке к сжиганию, снижает тепловую экономичность топочных устройств. Увеличение влажности твёрдого топлива ведёт к снижению подвижности его частиц, вплоть до полной потери топливом сыпучести. Влага, соответствующая состоянию при котором топливо лишается сыпучести, именуемая влагой сыпучести. $W_{\text{сып.}}$ всего на несколько процентов превышает W^p (табл. 1).

Таблица 1

Значения общей и сыпучей влаги топлива

Топливо	W^p , %	$W_{\text{сып.}}$, %
Торф фрезерный	50,0	53...58
Уголь бурый подмосковский	33,0	35...38
Уголь бурый челябинский	17,0	17...22
Сланец прибалтийский	12,0	13...14

Поэтому, даже относительно небольшое повышение влажности топлива при перевозке или хранении в открытых штабелях может вызвать значительные затруднения при его разгрузке и движению по тракту топливоподачи.

Наибольшие трудности возникают при налипании на элементах топливоподачи, дробильных и мелющих устройств. Влажность топлива, при которой оно приобретает свойства налипать на поверхности, называется расчётной влажностью налипания $W_{р.н}$. Значение $W_{р.н}$ для высоковлажных топлив много выше их рабочей влажности W^p . Для топлив высокой степени углефикации (каменных углей марок Ж и Т, антрацита) значение $W_{р.н}$ близко к W^p . Разность $W_{р.н} - W^p$ называется резервной влажностью $\Delta W_{рез.}$, показывающей, насколько допустимо увлажнение топлива сверх W^p без опасения, что оно приобретает способность к налипанию.

В зимнее время при низких температурах высоковлажные топлива способны к смерзанию. Трудозатраты на выгрузку смёрзшегося топлива иногда возрастают в 10 раз по сравнению с нормой.

Наибольшее содержание влаги в топливе, при котором ещё не происходит его смерзание, характеризуется так называемой влажностью смерзания $W_{см.}$ которая для всех топлив близка к гигроскопической влаге.

Способностью к смерзанию при небольших отрицательных температурах ($-2...-4^\circ\text{C}$) обладает только свободная влага (в основном влага капиллярная и поверхностная). Связанная влага, входящая в состав коллоидных структур топлива не смерзается при низких температурах.

Одной из наиболее важных теплотехнических характеристик, указывающей степень углефикации топлива, является величина выхода летучих.

Летучими веществами называются парообразные и газообразные продукты, образующиеся при нагревании топлива без доступа воздуха. При нагревании твёрдых топлив происходит распад термически нестойких сложных углеводородистых соединений горючей массы с выделением горючих газов: водорода, углеводородов, окиси углерода и негорючих газов – углекислоты и водяных паров.

Выход летучих в значительной степени зависит от условий, при которых производят определение. Большое значение имеет температура, скорость нагревания, размер частиц топлива. Выход летучих для различных видов топлива колеблется в широких пределах – 6...80% и выше.

Для торфа выход летучих начинается при температуре примерно 100°C , для бурых и каменных углей – при $150...170^\circ\text{C}$, горючих сланцев – при 230°C , тощих углей и антрацитов – 400°C и завершается при высоких температурах – до $1100...1200^\circ\text{C}$.

Выход летучих веществ от сухой беззольной массы топлива составляет для (в %): торфа – 70...74; бурых углей – 40...50; молодых каменных углей – 30...40; старых каменных углей – 11...15; антрацитов – 3...7.

В процессе термического разложения в летучие вещества переходит углерод топлива. Углерод, оставшийся после завершения термического разложения, и минеральные примеси топлива образуют твёрдый остаток, называемый коксом.

Выход летучих веществ является одной из важных характеристик твёрдого топлива, оказывающей большое влияние на процесс горения. Топливо с большим выходом летучих веществ, например, торф, бурый уголь, молодой каменный уголь, попадая в топку быстро выделяет значительное количество горючих газообразных веществ, которые легко воспламеняются и быстро сгорают в топке. Коксовый остаток, полученный после выделения летучих веществ, содержит относительно малое количество углерода, поэтому его горение протекает также сравнительно быстро и с малыми потерями теплоты от недожога. Наоборот, топливо с малым выходом летучих, например, антрацит и тощие угли загораются значительно труднее, а горение коксового остатка, углерод которого содержит значительное количество теплоты топлива, протекает продолжительное время.

Выход летучих веществ оказывает определённое влияние на механические свойства коксового остатка. Топлива с очень высоким и малым выходом летучих веществ, образуют механически не прочный, легко рассыпающийся кокс. Это затрудняет слоевое сжигание топлива, вследствие образования порошкообразного слоя кокса, плохо продуваемого воздухом.

Экспериментальная установка

Установка для определения влажности твёрдого топлива представляет собой сушильный шкаф, в который устанавливаются бюксы с навесками топлива. Поддержание заданной температуры в сушильном шкафу производится с помощью автоматического терморегулятора, расположенного на передней панели шкафа.

Установка для определения летучих представляет собой муфельную печь, в которой устанавливаются фарфоровые тигли с навесками топлива. Поддержание заданной температуры в муфельной печи производится с помощью автоматического терморегулятора, расположенного на панели управления печью.

Охлаждение бюксов и тиглей с навесками топлива производится в эксикаторе. Взвешивание охлаждённых бюксов и тиглей с навесками топлива производится на аналитических весах.

Порядок выполнения работы

Для определения влажности твёрдого топлива в предварительно взвешенные бюксы высотой 25...30 мм и диаметром 35...40 мм берут навеску топлива $1 \pm 0,1$ г, размеры частиц которого не должны превышать 0,21 мм. Высота слоя в бюксе не должна быть более 5 мм. Навеску разравнивают лёгким встряхиванием бюкса, помещают ее в предварительно нагретый сушильный шкаф и сушат при температуре 105...110°C. При этом, крышка бюкса должна быть полуоткрыта. Продолжительность сушки для бурых углей 90 мин., антрацитов – 120 мин. После сушки бюксы с навесками топлива вынимают из шкафа, плотно закрывают крышкой и в течение 2 – 3 минут охлаждают на воздухе, а затем в эксикаторе до комнатной температуры. Охлаждённые бюксы взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г.

Производят контрольное просушивание в течение 30 мин при температуре 105...110°C. в случае, если потеря в массе окажется более 0,01 г, контрольное просушивание и взвешивание повторяют, пока убыль в массе навески не окажется меньше 0,01 г. В случае увеличения навески в результате окисления угля для расчёта принимают предпоследний вес.

Процентное содержание влаги в исследуемом топливе рассчитывают по формуле:

$$W^a = \frac{G_1}{G} \cdot 100,$$

где G_1 – убыль в массе после высушивания топлива, г; G – навеска топлива, г.

Допускаемое расхождение между двумя параллельными определениями не более 0,3%.

Для определения величины выхода летучих веществ, в предварительно прокаленные и взвешенные тигли берут навеску топлива $1 \pm 0,1$ г с известной влажностью. Тигли с навесками топлива устанавливают в муфельную печь на жароупорную подставку.

Муфельную печь предварительно разогревают до температуры $850 \pm 25^\circ\text{C}$, наблюдают за колебаниями температуры в печи, они не должны превышать 25°C .

Перед помещением в печь тигли закрывают крышкой, свободно лежащей на тигле и не препятствующей выходу летучих веществ из тигля. После нагревания в течение 7 мин тигли вынимают из печи и охлаждают 5 минут на воздухе, затем в эксикаторе до комнатной температуры.

Охлаждённый тигель с содержащимся в нем твёрдым остатком взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0002 г.

Выход летучих веществ

$$V^a = \frac{G_1 \cdot 100}{G} - W^a,$$

где G – навеска топлива, г; G_1 – убыль в массе тигля с навеской топлива, г; W^a – влажность топлива, %.

Пересчёт на условную горючую массу топлив

$$V^r = V^a \cdot \frac{100}{100 - W^a - A^a},$$

где A^a – зольность испытуемой пробы, %.

Обработка результатов

Результаты взвешивания бюксов № 1, № 2 и № 3 с навесками топлива до сушки и после просушивания заносят в табл. 2. Взвешивание проводится с точностью до 0,001 г.

Таблица 2

Значения массы топлива до и после сушки

Величина	До сушки	После сушки	
		1-й	2-й
Масса навески топлива в бюксе №1, г			
Масса навески топлива в бюксе №2, г			
Масса навески топлива в бюксе №3, г			
Масса бюкса №1 с навеской топлива, г			
Масса бюкса №2 с навеской топлива, г			
Масса бюкса №3 с навеской топлива, г			
Убыль массы навески топлива в бюксе 1, г			
Убыль массы навески топлива в бюксе 2, г			
Убыль массы навески топлива в бюксе 3, г			

Рассчитывают влажность топлива

$$W^a = \frac{G_1}{G} \cdot 100,$$

где G_1 – убыль в массе навески топлива после его сушки, г; G – навеска топлива, г.

Определяют расхождение между результатами двух определений влажности

$$\delta = \left| \frac{W_1^a - W_2^a}{W_1^a + W_2^a} \right| \cdot 100.$$

Допускаемое расхождение между двумя параллельными определениями не более 0,3%.

Результаты взвешивания тиглей с навесками топлива до прокаливания и после охлаждения заносят в табл. 3. Взвешивания производятся с точностью до 0,0002 г.

Рассчитывают выход летучих веществ

$$V^a = \frac{G_1 \cdot 100}{G} - W^a,$$

где G – навеска топлива, г; G_1 – убыль в массе навески, г; W^a – влажность топлива, %.

Таблица 3

Значения массы топлива до и после прокаливания, г

Величина	До прокаливания	После прокаливания
Масса навески топлива в тигле №1		
Масса навески топлива в тигле №2		
Масса навески топлива в тигле №3		
Масса тигля №1 с навеской топлива		
Масса тигля №2 с навеской топлива		
Масса тигля № 3 с навеской топлива		
Убыль массы навески топлива в тигле 1		
Убыль массы навески топлива в тигле 2		
Убыль массы навески топлива в тигле 3		

Определяют выход летучих веществ на условную горючую массу топлива

$$V^r = V^a \cdot \frac{100}{100 - W^a - A^a},$$

где A^a – зольность испытуемой пробы, %.

Находят расхождение между двумя результатами выхода летучих

$$\delta = \left| \frac{V_1^a - V_2^a}{V_1^a + V_2^a} \right| \cdot 100$$

Допускаемое расхождение между двумя параллельными определениями 0,3%.

Контрольные вопросы

1. Какие теплотехнические характеристики твёрдых топлив являются основными?
2. Как влажность топлива влияет на основные характеристики?
3. Что является внешней и внутренней влагой?
4. Что называется влагой смерзания?
5. Что называется летучими веществами?
6. В каких пределах измеряется и что показывает величина выхода летучих?
7. Что называется коксом?

РАБОТА № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛЬНОСТИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Цель работы: изучить методику определения зольности твёрдого топлива, определить содержание золы в твёрдом топливе.

Основные понятия

Зола представляет собой минеральный остаток, получаемый при полном сгорании топлива. Все виды органического топлива, за исключением газообразного и наиболее летучих видов дистиллированного жидкого топлива, содержат минеральные вещества. Содержание минеральных примесей в твёрдых топливах составляет: в древесном топливе 1...2%, в угле 10...14%, в горючих сланцах до 70%, в жидком топливе до 1%.

По происхождению различают три вида минеральных примесей. Первичная часть минеральных примесей представляет собой минеральные вещества, которые входили (некогда) в исходный растительный материал, составивший основу формирования ископаемого топлива. Эта составляющая часть обычно мала и не превышает 1%.

Вторичные примеси внесены в залежь ископаемого топлива в процессе его формирования и распределены в топливе в виде тонких прослоек.

Третичные примеси – горная порода, окружающая залежь, которая попадает в топливо в процессе его добычи.

В состав минеральных примесей твёрдого топлива входят как простые оксиды и соли, так и более сложные соединения – минералы. Главными из них являются алюмосиликаты (глинистые вещества, например, каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, кремнезём SiO_2), ортоклаз $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, а также карбонаты CaCO_3 , MgCO_3 и сульфиты CaSO_3 , MgSO_3 , FeSO_3 .

В процессе сжигания топлива практически все компоненты его минеральных примесей подвергаются химическим преобразованиям, переходя в основном, в оксиды. Образование оксидов обычно заканчивается при свободном доступе воздуха при температуре 850...900°C. образующаяся при этом зола представляет практически механическую смесь простых оксидов: SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 , CaO , MgO .

По составу и количеству между минеральными примесями и его золой практически не бывает полного соответствия. Как правило, выход золы А меньше содержания минеральных примесей в данном топливе.

При горении топлива в условиях повышенных температур (>1000°C) образуется несколько видов так называемых очаговых остатков: шлак, летучая зола, провал.

Шлак, в отличие от золы, представляет собой минеральную массу с включением небольшого количества продуктов недожога (в основном, углерода), подвергшуюся высокотемпературному нагреву, имеет сплавленный или спёкшийся характер и повышенную прочность.

Провал представляет более крупные фракции золы (с включением недожога), выпадающие в холодную воронку котла, в отличие от уноса, являющегося летучей золой, которая выносится дымовыми газами из топки в дымовую трубу или охлаждается в конвективных газоходах котла.

В случае образования шлаковых расплавов между составляющими шлак оксидами возможно протекание различных химических реакций с образованием более сложных минералов кислотного и основного характера. Кислотность шлака K , определяется по отношению массовой доли в нем кислотных оксидов к суммарной массовой доле основных и амфотерных оксидов:

$$K = \frac{[\text{SiO}_2] + [\text{TiO}_2] + [\text{P}_2\text{O}_5]}{[\text{FeO}] + [\text{CaO}] + [\text{MgO}] + [\text{Al}_2\text{O}_3] + [\text{Fe}_2\text{O}_3]}$$

Шлак и зола, для которых $K > 1$, называют кислыми, при $K < 1$ – основными, при $K = 1$ – нейтральными.

Для большинства энергетических топлив, очаговые остатки имеют нейтральный или слабокислый характер.

Кислотность шлаков и золы учитывают при выборе типа футеровки топки. Стойкость футеровки выше при её контакте с расплавленным шлаком одинаковой химической природы, т.е. для кислых шлаков выбирают кислую футеровку, для основных – основную.

Минеральные вещества, содержащиеся в топливе, понижают его теплоту сгорания вследствие уменьшения доли горючих компонентов и увеличения расхода на нагрев и плавление минеральной массы.

Увеличение расхода тепла на нагрев и плавление минеральной массы имеет существенное значение в топках с жидким шлакоудалением.

Наличие в топливе минеральной массы понижает его жаропроизводительность (увеличивается расход тепла на плавление и нагрев золы до температуры горения топлива). Практически это заметно сказывается на жаропроизводительности лишь при высокой зольности топлива.

Вследствие повышения зольности технологического топлива. В доменный процесс, в целях удаления золы из печи, вводят известь, которая образует с золой шлак с пониженной температурой плавления, при этом значительное количество топлива расходуется на нагревание и расплавление минеральных соединений, содержащихся в топливе и вводимых в виде флюсов. Например, при повышении зольности металлургического кокса на 1% расход его возрастает на 2,5% и примерно настолько же процентов снижается производительность доменных печей.

Применение в технологических печах твёрдого топлива с высокой зольностью осложняет ход технологического процесса, так как вызывает необходимость частой чистки колосников и удаление золы.

Зольность технологического топлива отрицательно сказывается на производительности печи и газогенераторов и осложняет их эксплуатацию.

Экспериментальная установка

Установка для определения зольности твёрдого топлива представляет собой муфельную печь, в которой производится озоление и прокаливание навесок топлива, помещённых в тиглях. Поддержание заданной температуры в печи производится с помощью автоматического терморегулятора, расположенного на панели управления печью. Охлаждение тиглей с прокаленными навесками топлива производится в эксикаторе. Взвешивание охлаждённых тиглей производится на аналитических весах.

Методика проведения работы

В предварительно взвешенные на аналитических весах три фарфоровых тигля берут навеску топлива $1 \pm 0,1$ г в каждый. Тигли с навесками топлива помещают в холодную или нагретую до $250 \dots 300^\circ\text{C}$ муфельную печь. В течение $1 \dots 1,5$ ч. поднимают температуру в муфельной печи до $850 \pm 25^\circ\text{C}$. При данной температуре в течение 8 минут происходит быстрое озоление навески топлива. Образовавшийся зольный остаток прокаливают при этой температуре в течение часа, после чего тигли вынимают из муфельной печи и охлаждают: сначала на воздухе в течение 5 мин, а затем в эксикаторе до комнатной температуры. Охлаждённые тигли взвешивают на аналитических весах с точностью до $0,0002$ г. После взвешивания тигли помещают в муфельную печь и прокаливают в течение 30 мин. По истечении этого времени тигли охлаждают и взвешивают вторично. При получении разности в массе тигля с навеской между двумя последовательными взвешиваниями менее $0,001$ г, дальнейшее прокаливание прекращают. В случае получения разности масс больше указанной величины производят повторное прокаливание. В случае возрастания массы навески прокаливание прекращают, а для расчёта используют предыдущее значение массы навески.

Обработка результатов

Результаты взвешивания тиглей № 1, № 2 и № 3 с навесками топлива и после прокаливания заносят в табл. 4.

$$A^a = \frac{G_1}{G} \cdot 100,$$

где G_1 – масса зольного остатка, г; G – масса навески топлива, г.

Рассчитывают значение зольности аналитической пробы топлива, %

Производят пересчёт зольности на абсолютно сухое топливо A^C (%) и рабочее топливо A^P (%)

$$A^C = A^a \cdot \frac{100}{100 - W^a}, \quad A^P = A^a \cdot \frac{100 - W^P}{100 - W^a}.$$

Таблица 4

Значения массы топлива до и после прокаливания, г

Величина	До прокаливания	После прокаливания		
		1-го	2-го	3-го
Масса тигля № 1				
Масса тигля № 2				
Масса тигля № 3				
Масса тигля № 1 с навеской топлива				
Масса тигля № 2 с навеской топлива				
Масса тигля № 3 с навеской топлива				
Масса навески топлива в тигле № 1				
Масса навески топлива в тигле № 2				
Масса навески топлива в тигле № 3				

Контрольные вопросы

1. Что является внешним балластом твёрдого топлива? На что он влияет?
2. Какое влияние оказывает высокая зольность топлива на работу технологических агрегатов?
3. Как определяют зольность сухого и рабочего топлива?
4. Как зольность топлива влияет на его теплоту сгорания?
5. Как учитывают кислотность шлаков и золы при выборе типа футеровки топки?

РАБОТА № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ВСПЫШКИ И ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Цель работы: практическое ознакомление с конструкцией и работой прибора открытого типа для определения температур вспышки и воспламенения жидкого топлива; изучение методики определения температур вспышки и воспламенения; экспериментальное определение температур вспышки и воспламенения жидкого топлива.

Основные понятия

Температура вспышки, как и температура воспламенения мазута, позволяет судить о составе и качестве жидкого топлива. В условиях электростанций определение температуры вспышки проводится для установления максимально допустимой температуры его подогрева в емкостях, не изолированных от окружающего воздуха. По соображениям пожарной безопасности эта температура должна быть не менее чем на 10°C ниже температуры вспышки мазута. Следует отметить, что подобное требование не распространяется на нагрев мазута в надёжно сконструированных и правильно эксплуатируемых мазутных подогревателях, где может быть обеспечен подогрев мазута до температуры его воспламенения.

Температурой вспышки называется температура, при которой пары нагреваемого жидкого топлива образуют с окружающим воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени. Горение при этом моментально прекращается.

Температура вспышки не является аддитивной величиной и практически характеризуется температурой вспышки наиболее лёгкого компонента, так как в определённой мере связана с температурой кипения соответствующих фракций топлива. Жидкие топлива, не содержащие легких фракций, отличаются высокой температурой вспышки.

К повышению температуры вспышки приводит и повышение давления. Зависимость между температурой вспышки при нормальном давлении t_{760} и температурой вспышки при ином барометрическом давлении t_p и барометрическом давлением p (мм рт. ст.) выражается эмпирической формулой

$$t_{760} = t_p + 0,00012(760 - p) \cdot (273 + t_p),$$

Температуру вспышки определяют по стандартным методикам в открытых и закрытых тиглях. Различие между температурой вспышки, определяемой в открытом и закрытом тиглях, составляет $20 \dots 60^{\circ}\text{C}$. В закрытых тиглях пары, образующиеся при нагревании жидкого топлива, не удаляются в окружающее пространство, концентрация паров топлива в смеси с воздухом, при котором происходит их вспышка, достигается при нагреве

более низкой температуры, чем в открытых тиглях. При низкой температуре вспышки жидкого топлива её определяют обычно в закрытых, а при высокой – в открытых тиглях. Температура вспышки мазута различных марок должна быть не ниже 80...140°C.

Температурой воспламенения называется температура, при которой нагреваемое жидкое топливо загорается при поднесении к нему пламени и горит не менее 5 с.

При сжигании жидкого топлива со свободной поверхностью горение протекает в паровой фазе. Факел устанавливается на некотором удалении от поверхности жидкости с ясно видимой тёмной полоской, отделяющей факел от обреза тигля с жидким топливом.

Процесс горения жидких топлив со свободной поверхностью происходит следующим образом. При установившемся режиме горения за счет тепла, излучаемого факелом, жидкое горючее испаряется. Восходящий поток горючего, находящегося в паровой фазе, посредством диффузии образует горящий факел в виде конуса, отстоящего от зеркала испарения на 0,5...1 мм. Устойчивое горение протекает на поверхности, где смесь достигает пропорции, соответствующей стехиометрическому соотношению горючего и воздуха.

Описание установки

Температуру вспышки и воспламенения определяют в открытом приборе. Прибор открытого типа состоит из металлического тигля 1 диаметром 64 ± 1 мм, высотой 47 ± 1 мм, помещенного в металлическую песчаную баню 2 с электроподогревом (рис. 1).

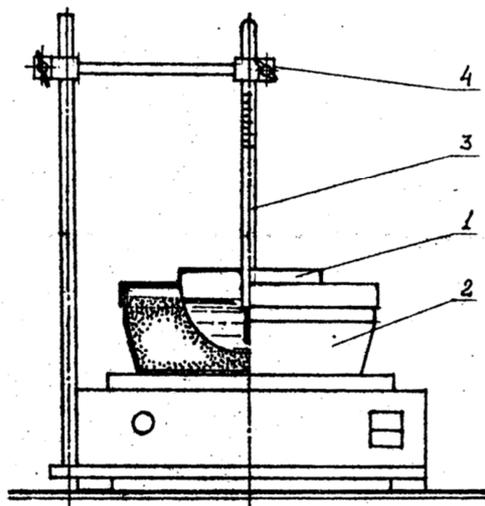


Рис. 1. Установка для определения температуры вспышки и воспламенения жидкого топлива:

1 – металлический тигель; *2* – металлическая песчаная баня с электроподогревом; *3* – термометр; *4* – передвижная лапка

Для измерения температуры жидкого топлива служит термометр 3, верхний конец которого закрепляют на штативе при помощи передвижной лапки 4. Нижний конец термометра погружают в жидкое топливо. Подогрев песчаной бани 2 осуществляется вмонтированным электронагревателем, включение которого производится двумя кнопками на панели прибора. Мощность электроподогрева подбирается включением соответствующей кнопки: 150 Вт или 250 Вт.

Методика проведения работы

Предварительно промытый бензином и подогретый тигель 1 помещают в песчаную баню 2 так, чтобы уровень песка был на одной высоте с уровнем топлива в тигле. Затем укрепляют лапку 4 штатива с термометром 3 на такой высоте, чтобы ртутный шарик термометра помещался посередине между дном тигля и уровнем жидкости. При испытании жидкого топлива в температурной вспышки до 210°C уровень жидкости должен находиться на расстоянии 12 мм от края тигля. Включают электроподогрев песчаной бани. Вначале скорость повышения температуры вспышки продукта составляет 10 град/мин., а затем за 40°C до ожидаемой температуры вспышки – 4 град/мин. За 10°C до ожидаемой температуры вспышки начинают через каждые 2 с испытания на вспышку, проводя по краю тигля параллельно поверхности топлива пламенем зажигательного устройства. При этом делают два оборота: один по часовой стрелке, другой – против. Длительность испытания должна быть не более 2-3 с. моментом вспышки считается появление над жидким топливом синего пламени, сопровождаемого обычно лёгким взрывом, при котором отмечается появление перебегающего и быстро исчезающего синего пламени. За температуру вспышки принимают показание термометра в момент вспышки.

Контрольные вопросы

1. Что называется температурой вспышки?
2. От каких факторов зависит температура вспышки различных нефтепродуктов?
3. Что называется температурой воспламенения топлива?
4. Для чего проводится определение температуры вспышки и воспламенения?

РАБОТА № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОГО ТОПЛИВА.

Цель работы: практическое ознакомление с конструкцией и работой вискозиметра; изучение методик определения вязкости жидкого топлива; определение вязкостно-температурных характеристик жидкого топлива.

Основные понятия

Основным искусственным жидким топливом, применяемым в промышленности, является мазут. Он представляет собой смесь тяжелых остатков прямой перегонки и крекинга нефти с некоторыми ее дистиллятными фракциями.

В связи с обостряющейся проблемой роста потребностей в моторном топливе, необходимо не только увеличивать добычу нефти, но и осуществлять более глубокую технологическую ее переработку. При увеличении глубины технологической переработки нефти и отбора светлых нефтепродуктов (бензина, керосина), а также выхода дизельной фракции, сокращается количество нефтяных остатков, являющихся основной для производства мазута.

Снижение выхода мазута сопровождается ухудшением его качества как энергетического и печного топлива: увеличивается его вязкость, смолистость, содержание серы; повышается поверхностное натяжение, что ухудшает условия его распыливания.

Одним из перспективных путей эффективного сжигания мазута, особенно высоко- вязкого и смолистого, получаемого при глубокой переработке нефти, является его высокотемпературный подогрев перед распыливанием через форсунки. Подогрев мазута до 200...260°C и сжигание его в горелках с улучшенным смесеобразованием позволяют существенно улучшить топочный процесс – интенсифицировать сжигание топлива. Интенсификация горения способствует увеличению полноты сгорания, что не только означает экономию топлива, но и снижает образование в продуктах сгорания твердых частиц, загрязнение ими поверхности нагрева и уменьшение вредных выбросов в атмосферу с продуктами сгорания, ослабляет процессы сернистой коррозии. Повышение температуры подогрева мазута перед его распыливанием сопровождается развитием процесса газификации мазута, что также может улучшить условия его сгорания и снизить интенсивность образования отложений на поверхности нагрева.

Все вместе взятое может компенсировать ухудшение качества мазута, сжигаемого в топливоиспользующих установках, и обеспечить достаточно высокую экономическую и экологическую эффективность его использования как энергетического топлива.

Мазут при обычных температурах является высоковязкой жидкостью.

Вязкость является одним из важнейших показателей качества мазута. Не случайно она положена в основу маркировки мазута. Вязкостью определяются условия транспортировки топлива и эффективность работы форсунок. Вязкость влияет на скорость осаждения механических примесей при хранении, транспортировке и подогреве мазута, а также на полноту отстаивания его от воды.

Хотя маркировка мазута устанавливается по величине (пределам) кинематической вязкости, обычно в практике подготовки мазута к сжиганию предпочитают пользоваться величиной условной вязкости – отношением времени истечения определенного объема мазута (200 мл.) при заданной температуре ко времени истечения такого же объема дистиллированной воды в вискозиметре стандартных размеров (конструкции) при температуре 20°C.

Условную вязкость ВУ мазута при температуре t вычисляют по формуле:

$$ВУ = \frac{\tau_t}{\tau_{в20}},$$

где τ_t – время истечения 200 мл топлива при температуре опыта t , с; $\tau_{в20}$ – время истечения 200 мл дистиллированной воды при температуре 20°C (водное число прибора), с.

Единицы условной вязкости совпадают с градусами Энглера ($^{\circ}E$). Следует отметить, что определение условной вязкости высоковязких мазутов марок 100 и особенно 200 приводит к значительной погрешности, связанной с большой продолжительностью истечения продукта из капилляра и невозможностью поддержания строго постоянной температуры продукта в термостате прибора.

В настоящее время стандартизованы и выпускаются следующие марки мазута.

Мазут флотский марок Ф5 и Ф12, получаемые из мазута прямой перегонки нефти с добавлением 30...40% газойля (Ф5) и 20...30% крекинг-остатков (Ф12). Мазуты Ф5 и Ф12 являются топливам судовых котельных установок.

Мазут топочный выпускается трех марок – 40, 100, 200. Мазут марки 40 предназначен для использования в котельных установках и промышленных печах. Гоночный мазут марки М100 предназначен, в основном, для сжигания в крупных стационарных котлах и установках.

Марка мазута равна величине условной вязкости при температуре 50°C. Наиболее сильно зависит вязкость мазута от температуры.

Как видно из графика (рис. 2) с повышением температуры различие в вязкости маловязких и высоковязких мазутов быстро уменьшается. В связи

с этим для обеспечения необходимой вязкости температура подогрева высоковязких сернистых мазутов существенно не отличается от температуры подогрева маловязких мазутов. Например, в случае мазутов М40 и М200 для получения одинаковой вязкости перед механическими форсунками, равной 3,5 ВУ, разница в подогреве составляет всего 24°С (соответственно 104°С для первого и 124°С для второго вида мазута).

Для хорошего распыливания мазута его вязкость перед форсунками должна быть в пределах 1,5...3,5 ВУ. В связи с этим мазуты при хранении, перекачке насосами, перед сжиганием подогревают для обеспечения требуемой вязкости. Обычно для хорошего распыла достаточно нагреть мазут до 90...120°С. Более вязкие крекинг-остатки подогревают до 140...150°С.

$^0_{ВУ}$

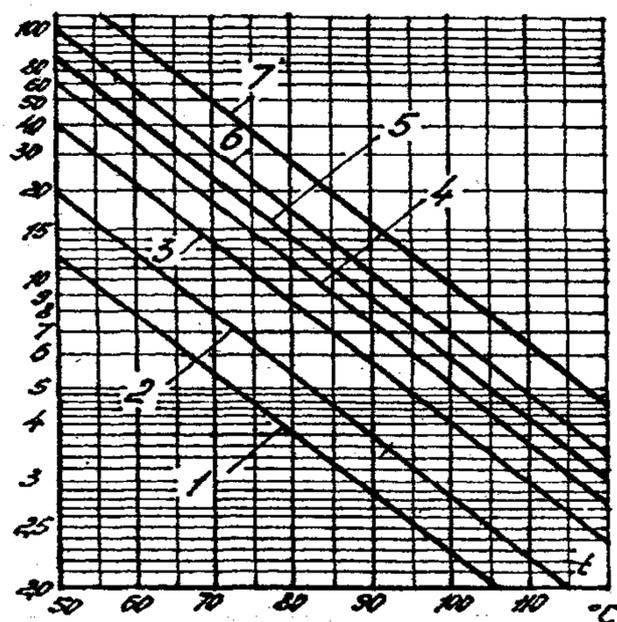


Рис. 2. Зависимость вязкости мазута от температуры:

1 – мазут флотский Ф12; 2 – мазут флотский Ф20 и мазут топочный 60; 3 – мазут топочный 40; 4 – мазут топочный 60; 5 – мазут топочный 80; 6 – мазут топочный 100; 7 – мазут топочный 200

На электростанциях часто приходилось иметь дело с мазутами разных марок и сжигать их в смешанном виде. Вязкость смеси однородных мазутов определяю по номограмме ВТИ (рис. 3).

При смешивании разнородных жидких топлив (например, мазута прямой перегонки с крекинг-остатком, с дизельным топливом или смолами) расчет вязкости по номограмме ВТИ связан со значительной погрешностью. В этом случае вязкость следует определять опытным путем.

Вязкость мазута существенно влияют на работу форсунок при его сжигании. С увеличением вязкости ухудшается тонкость распыливания, что может привести к существенному повышению недожога топлива.

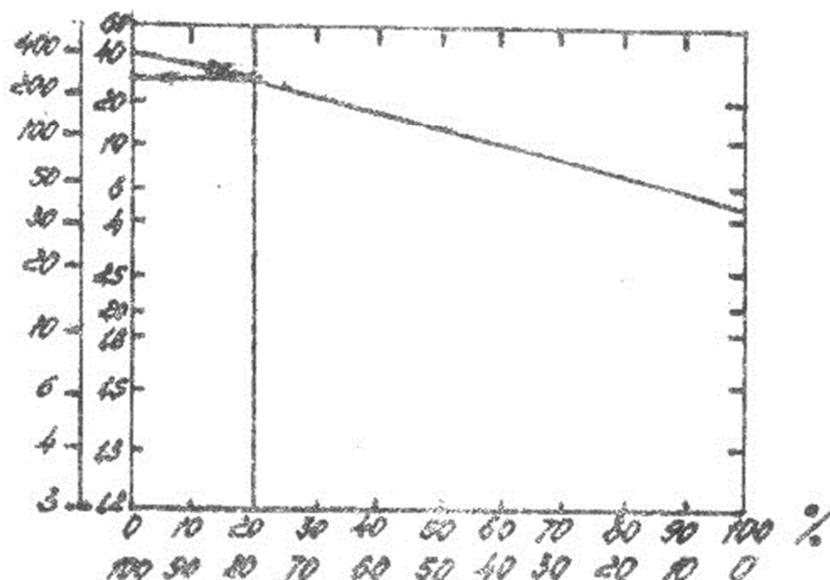


Рис. 3. Номограмма для определения вязкости смеси мазутов
 Пример: смесь состоит из 80% мазута с ВУ= 40ВУ и 20% с ВУ=5 ВУ

Плотность мазута различных марок колеблется в сравнительно широких пределах. В своем относительном выражении (по сравнению с плотностью воды при температуре 4°С) она колеблется от 0,95 для легких мазутов до 1,06 для тяжелых крекинг-остатков. Более подробные колебания относительной плотности оказывают существенное влияние как на характер отстоя мазута от влаги и механических примесей, так и на работу форсунок.

При относительной плотности близкой к единице усложняется процесс отстоя, а при значении ее 0,98...1,01 отстой за сравнительно короткое время (100...200 ч) практически не возможен. При еще большей плотности (около 1,05) мазут располагается в резервуарах ниже слоя воды, что полностью исключает также и на расходные и дисперсные характеристики форсунок.

С вязкостью мазута связано и такое свойство, как поверхностное натяжение: оно, как правило, понижается с уменьшением вязкости. Поверхностное натяжение влияет на тонкость распыливания мазута при выходе его из форсунок. В принятых в настоящее время в мазутных котлах режимах распыливания поверхностное натяжение мазутов различных марок находится в пределах 27...30 МН/м в зависимости от температуры мазута; при этом колебания величины поверхностного натяжения в этих границах практически не отражается на тонкости распыливания мазута.

Мазут, как и любой нефтепродукт, не имеет строго фиксированной температуры застывания. При понижении температуры происходит постепенное его загустевание, связанное со снижением подвижности образующих его коллоидов. Поэтому согласно ГОСТ 8513-83 за максимальную температуру застывания принимают такую температуру нефтепродукта,

при которой последний загустевает на столько, что при наклоне пробирки с продуктом под углом 45° уровень его остается неподвижным в течение минуты.

Описание установки

Определение вязкости жидкого топлива производится на вискозиметре типа ВУ (рис. 4), принятого в качестве стандартного прибора (ГОСТ 1532-54).

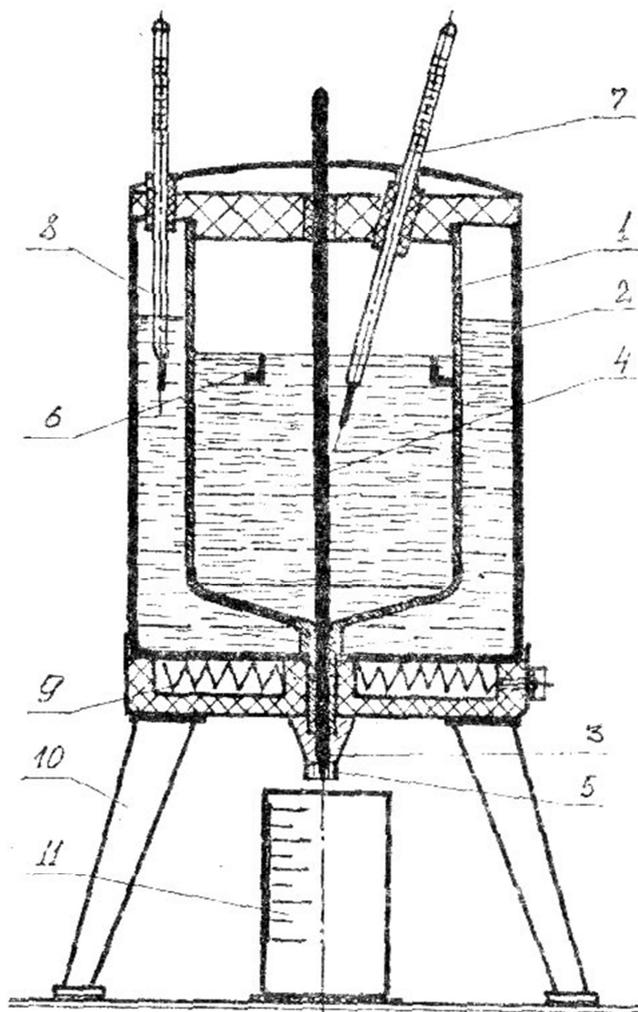


Рис. 4. Вискозиметр:

1 – внутренний цилиндр; 2 – наружный цилиндр; 3 – сточное отверстие;
4 – алюминиевый стержень; 5 – латунная трубка; 6 – штифт; 7, 8 – термометры; 9 – электроплитка; 10 – треножник; 11 – измерительный стакан

Вискозиметр состоит из двух алюминиевых цилиндров. Внутренний цилиндр 1 предназначен для наполнения его испытуемой жидкостью, а наружный 2 играет роль водяной бани. В дне внутреннего цилиндра име-

ется сточное отверстие 3, закрываемое алюминиевым стержнем 4. К отверстию 3 припаяна латунная трубка 5, в которой помещается платиновая трубка с отполированной поверхностью (так называемый капилляр вискозиметра).

На равном расстоянии от дна цилиндра 1 расположены три загнутых под прямым углом штифта 6, служащие указателями уровня жидкого топлива и правильности установки прибора. Объем внутреннего цилиндра 1 от дна до указателей уровня составляет около 250 см³.

Цилиндр 1 снабжен латунной крышкой с двумя отверстиями. В центральное отверстие вставляют стержень 4, а в другое – термометр 7 для определения температуры жидкого топлива. К внутренней стенке наружного цилиндра 2 прикреплен термометр 8 для измерения температуры водяной бани. Прибор установлен на электроплитке У, обеспечивающей подогрев водяной бани. Электроплита 9 крепится на треножнике 10, одна ножка которого снабжена регулировочным винтом 11.

Для измерения количества жидкости, вытекающей из сточной трубки 5, служит измерительный стакан.

Методика проведения работы

Мазут подогревают до температуры на 1...3°С ниже той, при которой намечено производить определение вязкости, и наливают в промытый бензином и высушенный воздухом внутренний цилиндр 1 вискозиметра, при этом температура в водяной бане прибора должна быть на 1,5...2°С выше заданной температуры, при которой определяется вязкость. Когда жидкое топливо нагреется до температуры определения, его выдерживают при этой температуре 5 мин. Проверяют уровень жидкого топлива в цилиндре 1 и сливают излишки, осторожно приподнимая для этого стержень 4. уровень жидкого топлива должен совпадать с острыми концами всех трех штифтов 6. прибор закрывают крышкой, и, убедившись в соответствии температуры жидкого топлива заданной, подставив измерительный стакан 11 под сточную трубку 5, осторожно вынимают стержень 4, одновременно пускаю в ход секундомер.

Определяют время заполнения 200 см³ в измерительном стакане с помощью секундомера. Опыт повторяют для другой температуры топлива.

Обработка результатов

Водное число вискозиметра равно 10 с. время истечения жидкого топлива определяют с точностью до 0,2 с по секундомеру при температуре топлива 50...90°С и записывают в табл. 5.

Условную вязкость вычисляют по формуле,

$$\text{ВУ} = \frac{\tau_t}{\tau_{\text{В}20}},$$

где τ_t – время истечения 200 мл топлива из вискозиметра при температуре t , с; τ_{B20} – водное число вискозиметра, с.

По найденному значению вязкости жидкого топлива при данной температуре рассчитывают: кинематическую вязкость, $\text{см}^2/\text{с}$

$$\gamma_t = 0,0731 \text{ВУ}_t \frac{0,0631}{\text{ВУ}_t}$$

Динамическую вязкость, $\text{Па}\cdot\text{с}$

$$\mu_t = \gamma_t \cdot \rho,$$

где ρ – относительная плотность жидкого топлива (указывается преподавателем).

Полученные данные заносят в табл. 5.

Таблица 5

Экспериментальные и расчетные данные

Величина	Температура, °С		
	50	70	90
Время истечения, с			
Условная вязкость ВУ			
Динамическая вязкость, $\text{Па}\cdot\text{с}$			
Кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$			

По полученным значениям условной вязкости строят график вязкостно-температурной характеристики жидкого топлива и определяют марку мазута.

Контрольные вопросы

1. От каких факторов зависит вязкость жидкого топлива и как она изменяется?
2. Как влияет вязкость жидкого топлива на работу топливных форсунок?
3. Перечислите марки мазута и объясните что они означают.
4. Объясните принцип работы вискозиметра. Что называется водным числом прибора?

РАБОТА № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

Цель работы: изучение методики проведения газового анализа и использования полученных экспериментальных данных для расчета горения топлива.

Основные понятия

Контроль состава продуктов сгорания проводится для определения эффективности сжигания топлива. По данным газового анализа определяются потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива q_3 и потери теплоты с уходящими газами q_2 .

Автоматический газовый анализ позволяет проводить эффективный контроль процесса горения топлива, который включает в себя контроль экономичности, вредных выбросов, температурного режима и др.

Для контроля экономичности процесса горения необходимо оперативно определять прямые потери процесса горения q_3 и q_4 , а так же сопровождающие их потери теплоты с уходящими газами q_2 , потери теплоты на тягу и дутье, и коэффициент избытка воздуха на выходе из топки α_r .

Газоанализатор Testo 330-1LL (рис. 5) является компактным измерительным прибором и предназначен для пуско-наладки и периодического технического обслуживания и конденсационных котлов, дизельных и газовых горелок, использующих дизтопливо, газ, уголь и дрова



Рис. 5. Газоанализатор TESTO 330-1

Testo 330-1 позволяет осуществлять анализ дымовых газов с помощью двух сенсоров: O_2 (0...21%) и CO с H_2 -компенсацией (до 8000 ppm) и измерять температуру газа с помощью термопары, установленной в зонд отбора пробы, в диапазоне 40...1200 °С. На основе полученных данных измерений и параметров выбранного вида топлива из 11 доступных прибор автомати-

чески рассчитывает концентрацию CO_2 , КПД, α – коэффициент избытка воздуха, потери тепла с дымовыми газами q_2 . Измерительная система состоит из газоанализатора для измерения характеристик дымовых газов и зонда для отбора проб газа и измерения его температуры. Прибор может также комплектоваться дополнительными зондами для измерения давления и температуры воздуха, идущего на горения.

Порядок выполнения работы

1. Перед началом работы необходимо полностью зарядить аккумулятор.

2. Подключить зонд для отбора проб. Для этого необходимо установить штекер зонда в гнездо прибора и зафиксировать зонд, повернув фиксатор по часовой стрелке. Прибор постоянно опрашивает зонд для отбора пробы. Поэтому при включенном приборе можно отключать зонд, подключать другой зонд или менять трубку для отбора пробы со встроенной термопарой. Дополнительные зонды опознаются только при включении прибора.

3. Включить прибор кнопкой 1 (рис. 6). На экране примерно 5 сек будет выведена заставка и на 10 сек. включится подсветка прибора.

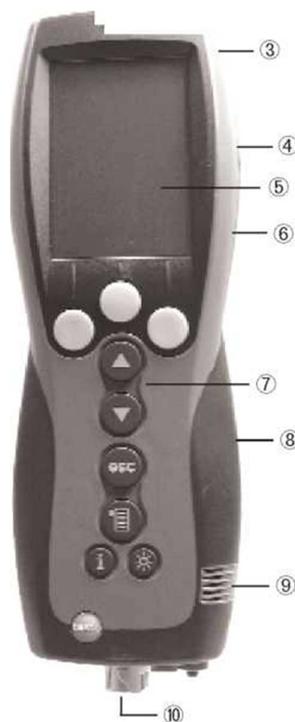


Рис. 6. Элементы управления газоанализатора TESTO 330-1:

1 – кнопка вкл/откл; 2 – интерфейсы: usb, ps2, инфра-красный порт; 3 - конденсатор (с обратной стороны); 4 - фиксаторы ремня для переноски прибора (слева и справа); 5 – дисплей; 6 – магниты; 7 – клавиатура; 8 - крышка (с обратной стороны); 9 - Выход газа после анализа; 10 – Панель коммутаций: зонд для отбора проб, дополнительный зонд, сенсор давления, блок питания

4. Выбрать тип измерений (кнопки вверх/вниз и кнопка «Ок»). Для анализа состава продуктов горения необходимо выбрать режим «Дымовые газы» и вид используемого топлива.

5. Поместить трубку зонда для отбора проб (рис. 7) в газоход, нажать кнопку «Старт» и начать измерения. Измеряемые параметры будут выводиться на экране (рис. 8). Список параметров можно пролистать кнопками «Вверх» и вниз».

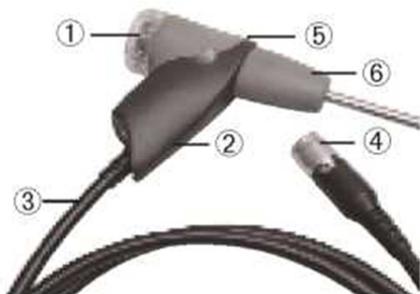


Рис.7. Зонд отбора проб газоанализатора TESTO 330-1:

- 1 – прозрачная крышка фильтра зонда; 2 – рукоятка зонда; 3 – соединительный кабель;
- 4 –штекер для подключения к прибору; 5 – фиксатор трубки зонда; 6 – трубка зонда со встроенной термопарой

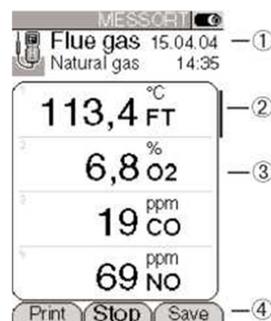


Рис. 8. Вид экрана при измерениях

Обработка результатов

По заданному составу топлива рассчитывают RO_{2max} продуктов полного сгорания по формуле, %

$$RO_{2max} = \frac{V_{RO_2} \cdot 100}{V_{c.g.}^o},$$

где V_{RO_2} - объем образующийся в результате сгорания углерода и серы, содержащихся в топливе; $V_{c.g.}^o$ - объем сухих продуктов сгорания топлива в стехиометрическом количестве воздуха.

Определяют RO_{2max} по составу продуктов полного сгорания, разбавленных воздухом, %:

$$RO_{2max} = \frac{100 \cdot RO_2}{100 - 4,76O_2}$$

где RO_2 и O_2 – процентное содержание RO_2 и O_2 в анализируемой пробе продуктов полного сгорания топлива.

При содержании в продуктах сгорания CO, в числитель формулы для расчета RO_{2max} входит не RO_2 , а «потенциальная величина RO_2 », т.е. сум-

ма $RO_2 + CO$, а знаменатель – не общее содержание кислорода в продуктах сгорания, а содержание кислорода за вычетом количества, необходимого для окисления CO .

В соответствии с этим формула для определения RO_{2max} по данным газового анализа приобретает следующий вид:

$$RO_{2max} = \frac{(RO_2 + CO) \cdot 100}{100 - 4,76 \cdot (O_2 - 0,4CO)}$$

Сравнивают значение RO_{2max} , рассчитанное по составу сжигаемого топлива и RO_{2max} , определенное по данным газового анализа продуктов сгорания.

Определяют коэффициент избытка воздуха α_1 , при котором осуществляется процесс горения топлива, по азотной формуле

$$\alpha_1 = \frac{N_2}{N_2 - 3,76 \cdot (O_2 - 0,5CO)}$$

где N_2, O_2 и CO – соответственно, процентное содержание азота, кислорода и окиси углерода в анализируемой пробе продуктов сгорания.

Находят коэффициент разбавления сухих продуктов сгорания избыточным воздухом

$$h = \frac{RO_{2max}}{RO_2 + CO}$$

Вычисляют коэффициент избытка воздуха α_2 по коэффициенту разбавления продуктов сгорания

$$\alpha_2 = 1 + (h - 1) \cdot \frac{V_{с.г.}^0}{V_B^0}$$

где V_B^0 - объем воздуха, необходимого для сжигания 1 кг жидкого или 1 м³ газообразного топлива в стехиометрических условиях.

Сравнивают значения коэффициентов избытка воздуха α_1 и α_2 .

Определяют калориметрическую температуру горения

$$t_{кал} = \frac{Q_H^p + C_T \cdot t_T + V_B \cdot C_B \cdot t_B}{V_E^0 \cdot C_{пр.сг.} + V_B^{изб} \cdot C_B^{изб}}$$

где $V_B^{изб}$ - объем избыточного воздуха, определяемый по формуле

$$V_B^{изб} = (\alpha - 1) \cdot V_B^0,$$

V_E^0 - суммарный объем неразбавленных воздухом влажных продуктов сгорания топлива.

Результаты опытных данных и расчетов заносят в табл. 6.

Экспериментальные и расчетные данные

№ опыта	Результаты эксперимента и расчетов							
	O, %	CO, %	N ₂ , %	RO ₂ , %	<i>h</i>	α_1	α_2	<i>t</i> _{кал}
1								
2								
3								

Содержание отчета

Цель работы.

Таблица экспериментальных и расчетных данных.

Контрольные вопросы

1. С какой целью производят газовый анализ уходящих газов топливоиспользующих установок?
2. Приведите азотную формулу для определения коэффициента избытка воздуха
3. Приведите основное уравнение горения (уравнение газового анализа) и его практическое применение.
4. Как определить калориметрическую температуру сгорания?
5. Как определить коэффициент разбавления сухих продуктов сгорания избыточным воздухом?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теплотехника : учеб. для студентов вузов / А. П. Баскаков [и др.] ; ред. А. П. Баскаков. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : БАСТЕТ, 2010. – 328 с.
2. Определение состава продуктов сгорания: методические указания. Сост. Кочеткова М.А. [Электронный ресурс]. Н. Новгород: ННГАСУ, 2012. – 26 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=427483&sr=1.
3. Анализатор дымового газа Testo 330. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – М.: ООО «Тесто-Рус», 2017. – 90 с. – Режим доступа: http://www.analitech.ru/files/Manual_testo_330_Colour_display.pdf.

Оглавление

Введение.....	3
Меры безопасности при выполнении лабораторных работ.....	3
Работа № 1. Определение влажности твердого топлива и выхода летучих веществ	4
Работа № 2. Определение зольности твердого топлива.....	12
Работа № 3. Определение температур вспышки и воспламенения жидкого топлива.....	16
Работа № 4. Определение вязкости жидкого топлива.....	19
Работа № 5. Определение состава продуктов сгорания топлива	26
Библиографический список.....	31

Учебное издание

ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров
13.03.01-Теплоэнергетика и теплотехника

Составители:

Гришко Борис Михайлович

Трубаев Павел Алексеевич

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова.

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46