

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Паливо та основи теорії горіння»
для студентів спеціальності 144
«Теплоенергетика»
(освітня програма «Промислова і комунальна теплоенергетика»)
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Паливо та основи теорії горіння» для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» (освітня програма «Промислова і комунальна теплоенергетика») усіх форм навчання. / Укл.: Кузьменко А.А., Каюков Ю.М., Назаренко І.А., Запоріжжя : НУЗП, 2023. 46с.

Укладачі: Кузьменко А.А., старш. викл.;
Каюков Ю.М., доц. канд. техн. наук;
Назаренко І.А., доц. канд. техн. наук.

Рецензент Назаренко О.М., доц. канд. техн. наук.

Відповідальний
за випуск Лапкіна С.О., асист.

Затверджено
на засіданні кафедри
«Електричні машини»
Протокол № 7
від 16.02.2023 р.

Рекомендовано до видання НМК
Електротехнічного
факультету
Протокол № 6
від 23.02.2023 р.

ЗМІСТ

Загальні вказівки.....	5
1 Лабораторна робота № 1. Приготування проб твердого палива для лабораторних досліджень.....	6
1.1 Сутність методу визначення.....	6
1.2 Відбір первинних проб.....	6
1.3 Обробка первинної проби і виділення з неї лабораторних проб.....	7
1.4 Упакування і маркування готових лабораторних проб.....	8
1.5 Приготування аналітичних проб.....	8
2 Лабораторна робота № 2. Визначення вмісту вологи бурих і кам'яних вугінь, антрациту і горючих сланців.....	11
2.1 Сутність методу визначення.....	11
2.2 Визначення вологи в лабораторних пробах бурих і кам'яних вугінь, антрациту і горючих сланців (з розміром часток (0...3) мм) за ДСТУ 11014-81.....	12
2.3 Визначення вологи в аналітичних пробах бурих і кам'яних вугінь, антрациту і горючих сланців (з розмірами часток (0...0,2) мм) за ДСТУ 11014-81.....	14
2.4 Підрахунок результатів аналізу.....	17
2.5 Обробка результатів дослідів.....	18
3 Лабораторна робота № 3. Визначення зольності бурих і кам'яних вугінь, антрациту і горючих сланців.....	19
3.1 Сутність процесу. Зміст методики виконання аналізу.....	19
3.2 Апарати, прилади і матеріали, що використовуються при визначенні зольності.....	20
3.3 Підготовка до проведення дослідів.....	21
3.4 Проведення визначення зольності.....	22
3.5 Обробка результатів визначень.....	25
4 Лабораторна робота № 4. Визначення виходу летючих речовин у бурих і кам'яних вугіллях і антрациті.....	28
4.1 Методика визначення виходу летючих речовин.....	28
4.2 Апаратура, матеріали і реактиви.....	28
4.3 Підготовка до випробування.....	29
4.4 Проведення випробування.....	30
4.5 Обробка результатів визначень.....	32

5 Лабораторна робота № 5. Аналіз димових газів і визначення якості спалювання палив.....	34
5.1 Теоретичні основи.....	34
5.2 Призначення і пристрій приладу "ОРСА"(ГХП-3М).....	37
5.3 Підготовка приладу до роботи. Приготування поглинальних розчинів.....	37
5.4 Проведення аналізу приладом "ОРСА"(ГХП-3М).....	40
5.5 Обробка результатів газового аналізу.....	42
Перелік посилань.....	45

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Лабораторні роботи по курсу «Паливо та основи теорії горіння» представляють собою комплекс лабораторних визначень характеристик якості аналітичної маси палива і підрахунку якісних характеристик робочого палива. Сукупність таких визначень прийнято називати технічним аналізом палива.

В об'єм технічного аналізу твердого палива входить визначення вологи, зольності, виходу летючих та питомої теплоти згоряння по аналітичній пробі палива. При технічному аналізі рідкого палива, наприклад мазуту, визначають вміст вологи і золи у лабораторній пробі, а також питому теплоту згоряння по навісці з тієї ж проби.

Методики визначення якісних характеристик палива регламентовані Державними стандартами України (ДСТУ). Їх зміст стосовно аналізу твердого палива викладено у цих методичних вказівках. Практичне освоєння стандартних методик аналізу є основним змістом лабораторних робіт, що виконуються студентами по вказаному курсу.

Друга частина лабораторних робіт присвячена аналізу складу продуктів згоряння за сучасними методиками з використанням лабораторного обладнання.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ПРИГОТУВАННЯ ПРОБ ТВЕРДОГО ПАЛИВА ДЛЯ

ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета роботи - визначити показники якості твердого палива, а також ознайомитися з основними положеннями методик відбору проб і оброблення їх у лабораторні, потім аналітичні проби, що регламентовані ДСТУ.

1.1 Сутність методу визначення

Показники якості твердого палива визначаються по аналітичним пробам. Кожна з них представляє частину лабораторної проби, що виділена за певними правилами. У свою чергу, лабораторна проба представляє частину первинної проби, яка відібрана від партії палива, що досліджується. При цьому партією називають певну кількість палива однієї марки та класу, що відпущена постачальником і отримана одним споживачем. Партією може вважатися і кількість палива, що відвантажена постачальником за зміну або добу.

1.2 Відбір первинних проб

Методика відбору первинних проб для наступної обробки і виділення лабораторних проб регламентована ДСТУ 10742-71[1].

Первинною пробою називають масу палива, що представлена сумою всіх порцій, які відібрані від партії і не піддані обробці.

Порцією називають певну кількість палива, що відбирається з одного місця партії.

Відбір проб здійснюють від потоку палива в місцях його перепаду, з поверхні транспортуючого пристрою або від нерухливого шару палива, зануреного в транспортні засоби. Відбір здійснюють механічним способом.

Маса порцій, що відбираються від потоку, приймається залежно від максимального розміру шматків і повинна відповідати значенням з таблиці 1.1. За максимальний розмір шматків приймається розмір осередку сита, на якому при просіванні надрешіточний залишок становить не більше 5 % маси просіяної проби. Кількість порцій, що

відбираються від партії палива, повинна бути не менш зазначеного в таблиці 1.2.

1.3 Обробка первинної проби і виділення з неї лабораторних проб

Обробка проб містить наступні послідовні дії: дроблення, скорочення, подрібнення та розподіл проби, що здійснюються на відповідному устаткуванні. Обробці повинні піддаватися всі відібрані порції, що становлять первинну пробу.

Всю первинну пробу подрібнюють до шматків розміром не більше 3 мм. Цю масу подрібненого палива називають готовою пробою. Масу готової проби скорочують на механічних скорочувачах. Маса скороченої проби розміром 3 мм повинна бути не менш 2кг.

Таблиця 1.1

Максимальний розмір шматків, мм	Маса порції, кг, не менш
13	0,6
25	1,5
50	2,5
100	5
125	7
150	9
200	10
300	12

Таблиця 1.2

Маса партії палива, т	Кількість порцій, не менш
До 300	15
300...600	1 порція від кожних 20 т
Понад 600	30

З виділеної частини готової проби масою 2кг на дільнику або скорочувачі виділяють необхідну кількість лабораторних проб масою не менш 0,5 кг кожна. Лабораторна проба - це частина готової проби, що призначена для лабораторних досліджень. Нею може бути кожна із частин, що отримана при розподілі зазначених 2кг готової проби.

1.4 Упакування і маркування готових лабораторних проб

Банку для транспортування та зберігання готових лабораторних проб разом із кришкам та матеріалом для опечатування і двома етикетками зважують на технічних вагах. У банку перекладають виділену лабораторну пробу, закривають кришкою і з тим же матеріалом для опечатування знову зважують. По різниці результатів зважувань визначають масу лабораторної проби. Зважування ведуть із точністю до 1 г.

Масу бруutto і тари записують на етикетках. Крім того на етикетках указують: найменування проби (товарна, контрольна, дослідницька); найменування підприємства; марку палива, клас по розміру шматків; номер проби і дату її відбору; масу партії, від якої відібрана проба.

У банку із пробною вкладають одну з етикеток, іншу закріплюють на зовнішній поверхні банки, після чого банку закривають і опечатують. Банки повинні бути щільно закриті, щоб проба зберігала свій первісний стан по вмісту вологи. Етикетки підписуються особою, відповідальною за відбір і обробку проб.

Отримані проби направляють:

- одну - у лабораторію для визначення показників якості;
- другу - на зберігання в якості арбітражної;
- третю - споживачеві, якщо це обумовлено договором із постачальником палива.

1.5 Приготування аналітичних проб

Аналітичною пробною називають виділену частину доведеної до повітряно-сухого стану і розмеленої лабораторної проби, що призначена для експериментального визначення показників якості палива.

Метод приготування аналітичних проб регламентований ДСТУ 10742-71 і полягає в підсушуванні лабораторної проби палива при температурі 50 °С або 130 °С, подрібненні її до часток розміром не більше 0,2 мм і скороченні до маси не менш 85 г.

Банку із лабораторною пробой палива, що має розмір шматочків не більше 3 мм і масу не менш 500 г, оглядають, звіряють дані, зазначені в етикетці та у супровідному документі.

Пробі привласнюють номер, що проставляють на етикетці та у супровідному документі. Під цим номером проба реєструється в лабораторному журналі. Сюди ж записують наступні відомості про пробу:

- а) дату надходження проби в лабораторію;
- б) номер і дату супровідного документа, найменування підприємства, марку та клас палива по розміру шматків, місце і дату відбору проби;
- в) масу проби брутто, стан закупорки, перелік показників якості, що підлягають визначенню, причину бракування, якщо стан закупорки не відповідає ДСТУ 10742-71.

Якщо ж стан закупорки відповідає цьому стандарту, банку із пробой витирають і зважують на технічних вагах з точністю до ± 1 г.

Не відкриваючи банки, пробу перемішують струшуванням. Після цього, відкривши банку, беруть навіску палива для визначення вмісту робочої або лабораторної вологи.

Лабораторну пробу висипають на лист із металу, що не окисляється, розрівнюють шаром товщиною не більше 5 мм і встановлюють у попередньо нагріту сушильну шафу. При повільному підсушуванні температуру в шафі підтримують у межах $(50 \pm 5) ^\circ\text{C}$, при прискореному підсушуванні - $(130 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Тривалість підсушування приймають не менш зазначеної в таблиці 1.3.

Час підсушування проб відраховують з моменту встановлення необхідної температури.

Підсушену і охолоджену на повітрі лабораторну пробу подрібнюють у лабораторному млині до проходу всієї маси розмеленого палива через сито з отворами 0,2 мм. Розмелену лабораторну пробу скорочують механічними дільниками до маси не менш 85 г.

Таблиця 1.3

Найменування	Тривалість підсушування, хв	
	$(50 \pm 5) ^\circ\text{C}$	$(130 \pm 5) ^\circ\text{C}$
Антрацит	120..240	15
Кам'яні вугілля	120..180	15
Бурі вугілля Б ₁	360..480	60..90
Б ₂	300	30
Б ₃	240	15

При відсутності механічного дільника допускається скорочувати лабораторну пробу вручну. У цьому випадку всю пробу висипають на лист розміром 700х700 мм, перемішують два рази на конус і натисканням зверху кругом сплющують. На отриманий шар палива накладають ґрати з 25 квадратними осередками 50х50 мм, вдавлюють у шар і вибирають із осередків порції в шаховому порядку.

Підготовлену описаним способом аналітичну пробу зсипають у банку з матеріалу, що не окисляється, і яка закривається кришками або пробками, що забезпечують надійну герметичність.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВОЛОГИ В БУРИХ І КАМ'ЯНИХ ВУГІЛЛЯХ, АНТРАЦИТУ І ГОРЮЧИХ СЛАНЦЯХ

Мета роботи - вивчити і практично освоїти стандартні методи визначення вмісту вологи в кам'яних і бурих вугіллях, антрациті і горючих сланцях.

2.1 Сутність методу визначення

Всі методи визначення вмісту вологи у твердому паливі розділяють на дві групи - прямого та непрямого визначення.

Методи прямого визначення засновані на висушуванні навіски палива при температурі (105...110) °C і визначенні маси або об'єму вологи, що виділена. У першому випадку навіску палива кладуть у скляну трубку, що установлена в трубчастій електричній печі. Вологу, що виділяється при нагріванні палива, транспортують потоком інертного газу (вуглекислота, азот) у поглинальні посудини. Збільшення маси посудини, віднесеної до маси навіски палива, вираженої у відсотках, і є вологість досліджуваної маси палива.

При визначенні вологи прямим об'ємним методом навіску палива переносять у посудину з органічною рідиною, що не змішується з водою і киплячою при температурі, трохи вище 100 °C (ксилол, толуол, бензин). Вміст посудини нагрівають до кипіння. Суміш пари води і легкокиплячої рідини, що утвориться, відводять у холодильник для конденсації. Конденсат суміші стікає у градуйований приймач і, оскільки рідини не змішуються, розділяється. Завдяки цьому легко визначається об'єм конденсату води, що раніше втримувалася в навісці досліджуваного палива. Об'ємну кількість вологи перераховують у масові одиниці, і, як і у першому випадку, відносять до маси взятої навіски палива.

Непрямі методи визначення вологи засновані або на видаленні вологи висушуванням і визначенні її кількості по зменшенню навіски, або на вимірі деяких фізичних властивостей палива, що перебувають у прямій залежності від вологості (діелектричні властивості, теплопровідність та інше).

В практиці виробничих і науково-дослідних лабораторій для визначення вмісту вологи в бурих і кам'яних вугіллях, антрациті і горючих сланцях звичайно використовують метод висушування навіски палива в сушильній шафі до постійної маси. Методика визначення регламентована ДСТУ 11014-81 [2].

2.2 Визначення вологи в лабораторних пробах бурих і кам'яних вугіль, антрациту і горючих сланців (з розміром часток (0... 3) мм) за ДСТУ 11014-81

При визначенні вмісту вологи в пробі палива з розміром часток (0...3) мм вологу вважають робочою (позначають W^P), якщо зміна первинної маси проби не перевищує 0,5 %, і з моменту приготування проби до її надходження в лабораторію пройшло не більше 12 годин. У противному випадку вологу вважають лабораторною (позначають W^L).

Визначати вологу в лабораторній пробі висушуванням у сушильній шафі можна по основному або прискореному методу.

Для виконання кожного із цих методів необхідна наступна апаратура і посуд:

- а) шафа сушильна з електричним обігрівом і терморегулятором, що забезпечує стійку температуру (105...110) °С або (140 ± 5) °С;
- б) термометр ртутний з ціною поділу (1...2) °С;
- в) ваги аналітичні з важками;
- г) ексикатор із гранульованим хлористим кальцієм;
- д) стаканчики скляні СН 85/15 за ДСТУ 25336-82Е або алюмінієві діаметром 80 мм і висотою 20 мм.

2.2.1 Визначення вологи по основному стандартному методу

Метод заснований на висушуванні навіски палива в сушильній шафі при температурі (105...110) °С і обчисленні втрати маси.

Лабораторну пробу палива, відібрану за ДСТУ 10742-71, не відчиняючи банки, ретельно перемішують струшуванням. Після цього

відкривають банку і на різній глибині із двох-трьох місць відбирають в попередньо зважені стаканчики дві навіски палива по $(10 \pm 1,0)$ г кожна. Шар палива розрівнюють легким струшуванням стаканчика, закривають стаканчик кришкою і зважують на аналітичних вагах з точністю до 0,002 г.

Зважені стаканчики ставлять у попередньо нагріту до $(105...110)$ °С сушильну шафу при відкритих вентиляційних засувках. Одночасно встановлюють не більше шести стаканчиків. Після установки кришки стаканчиків повинні бути відкриті (або зняті).

Тривалість висушування навіски при аналізі палива при заданій температурі повинна бути, хв.:

- кам'яних вугіль і горючих сланців - 60;
- бурих вугіль і продуктів мокрого збагачення - 90;
- антрацитів - 120.

Час висушування вважають із того моменту, коли температура в шафі, що понизилася при установці стаканчиків із навісками палива, знову досягне $(105...110)$ °С.

Після висушування стаканчики із навісками закривають кришками, виймають із сушильної шафи, охолоджують на повітрі протягом $(2...3)$ хв., потім охолоджують в ексикаторі до кімнатної температури. Тривалість охолодження не повинна перевищувати 20 хв.. Охолоджені навіски зважують.

Проби палива нових і маловивчених родовищ, а також проби продуктів мокрого збагачення палива піддають контрольним просушуванням. Контрольні просушування роблять до моменту, коли різниця між попереднім і черговим зважуванням не стане менше 0,01г. Тривалість кожного контрольного просушування 30 хв.. Якщо маса навіски після чергового контрольного просушування збільшиться, для розрахунку приймають масу, зафіксовану попереднім зважуванням.

Проводити контрольні просушування з первинним висушуванням інших навісок палива в одній сушильній шафі не допускається.

2.2.2 Визначення вологи по прискореному стандартному методу

Метод заснований на висушуванні навіски палива в сушильній шафі при температурі $(140 \pm 5)^\circ\text{C}$ і обчисленні втрати маси.

При визначенні використовується апаратура і посуд, зазначені в розділі 2.2.

Відбір навісок палива з лабораторних проб роблять так само, як і в основному методі. Маса палива, що відбирається в навіску, повинна бути також у межах $(10 \pm 1,0)$ г.

Сушильну шафу нагрівають до $(160...165)^\circ\text{C}$ при відкритих вентиляційних засувках. Стаканчики із навісками і кришки встановлюють на полку сушильної шафи так, щоб частина отворів полиці залишалася відкритою. Полицю зі стаканчиками встановлюють у сушильну шафу і вміст стаканчиків висушують при температурі $(140 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Тривалість висушування при аналізі повинна бути, хв.:

- кам'яних вугіль, антрациту та горючих сланців - 20;
- продуктів мокрого збагачення - 30;
- бурих вугіль різних родовищ - $(40...50)$.

Після висушування стаканчики із навісками палива закривають кришками, виймають із шафи разом з полицею, охолоджують на повітрі протягом $(2...3)$ хв., а потім охолоджують в ексикаторі до кімнатної температури, але не більше 20 хв.. Охолоджені навіски зважують.

При визначенні вологи прискореним стандартним методом контрольних просушуваль не роблять.

2.3 Визначення вологи в аналітичних пробах бурих і кам'яних вугіль, антрациту і горючих сланців з розмірами часток $(0...0,2)$ мм за ДСТУ 11014-81

Визначають вологу в аналітичних пробах (аналітична волога) аналогічно визначенню вологи в лабораторних пробах, що мають розмір часток $(0...3)$ мм по основному або по прискореному методу.

Для аналізу необхідна наступна апаратура і посуд:

- а) шафа сушильна з електричним обігрівом і терморегулятором, що забезпечує стійку температуру $(105...110)^\circ\text{C}$ або $(140 \pm 5)^\circ\text{C}$;

- б) термометр ртутний із ціною поділу ($1...2$) °С;
- в) ваги аналітичні з важками;
- г) ексікатор з гранульованим хлористим кальцієм;
- д) стаканчики скляні СН 34/12 за ДСТУ 25336-82Е або алюмінієві діаметром 80 мм і висотою 20 мм.

2.3.1 Визначення вмісту аналітичної вологи основним стандартним методом

Метод заснований на висушуванні навіски палива в сушильній шафі при температурі (105...110) °С і обчисленні втрати маси.

При визначенні вмісту аналітичної вологи (позначають W^a) пробу палива з розмірами часток ($0...0,2$) мм, приготовлену за ДСТУ 10742-71, ретельно перемішують і на глибині із двох-трьох місць відбирають у попередньо зважені стаканчики дві навіски палива по ($1 \pm 0,1$) г кожна. Зважують на аналітичних вагах з точністю до 0,0002 г.

Сушильну шафу при відкритих вентиляційних засувках нагрівають до (105...110) °С. На полицю встановлюють стаканчики із навісками палива, знімають або повертають кришки стаканчиків, після чого полицю зі стаканчиками встановлюють у сушильній шафі. У сушильну шафу одночасно ставлять не більше двадцяти стаканчиків із навісками палива, розташовуючи їх на одній полиці.

Навіски палива при температурі (105...110) °С висушують:

- 30 хв. - при аналізі кам'яних вугіль і горючих сланців;
- 60хв. - при аналізі бурих вугіль і продуктів мокрого збагачення палива.

Час висушування вважають із того моменту, коли температура в сушильній шафі, що понизилася при установці стаканчиків із навісками палива, знову досягне (105...110) °С.

Після закінчення часу висушування стаканчики із навісками палива закривають кришками, виймають із сушильної шафи разом з полицею, охолоджують на повітрі протягом (2...3) хв., а потім

охолоджують в ексикаторі до кімнатної температури, але не більше 20 хв. і зважують.

Проби палива нових і маловивчених родовищ, а також проби продуктів мокрого збагачення палива піддають контрольним просушуванням. Контрольні просушування роблять до моменту, коли різниця між попереднім і черговим зважуванням не стане менше 0,001 г або не буде відзначено збільшення маси навіски палива. Тривалість кожного контрольного просушування - 30 хв..

Якщо зменшення маси навіски палива після чергового контрольного просушування не перевищує 0,001 г, аналіз закінчують і для підрахунку приймають результати останнього зважування. При збільшенні маси навіски палива для підрахунку приймають результати попереднього зважування.

Проводити контрольні просушування з первинним висушуванням інших навісок палива в одній сушильній шафі не допускається.

2.3.2 Визначення вмісту аналітичної вологи прискореним стандартним методом

Метод заснований на висушуванні навіски палива в сушильній шафі при температурі $(140 \pm 5)^\circ\text{C}$ і обчисленні втрати маси. При визначенні використовуються апаратура і посуд, перераховані в підрозділі 2.3.

Відбір навісок палива з аналітичної проби роблять так само, як і в основному методі визначення, тобто із двох-трьох місць ретельно перемішаної аналітичної проби. Маса палива, що відбирається в навіску, повинна бути також $(1 \pm 0,1)$ г.

Сушильну шафу нагрівають до $(160...165)^\circ\text{C}$ при відкритих вентиляційних засувках. Стаканчики із навісками встановлюють на полицю шафи з таким розрахунком, щоб частина отворів полиці залишалася відкритою. Кришки зі стаканчиків знімають і розміщують поруч або встановлюють у повернутому положенні. Полицю зі стаканчиками встановлюють у сушильну шафу і вміст стаканчиків висушують при температурі $(140 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Тривалість просушування при аналізі, хв.:

- кам'яних вугілля, антрациту і продуктів мокрого збагачення - 5;

- бурих вугіль - 20.

При закінченні часу висушування стаканчики із навісками палива закривають кришками, разом з полицею виймають з сушильної шафи, охолоджують на повітрі протягом (2...3) хв., а потім охолоджують в ексикаторі до кімнатної температури, але не більше 20 хв., і зважують.

При визначенні аналітичної вологи прискореним стандартним методом контрольних просушувань не проводять.

2.4 Підрахунок результатів аналізу

Вміст робочої W^P , лабораторної W^L і аналітичної W^a вологи вираховують по формулі, %

$$W = \frac{M - M_1}{M} \cdot 100,$$

де M — маса навіски палива до висушування, г; M_1 — маса навіски палива після висушування, г.

Максимальне розходження між результатами паралельних визначень, а також між результатами аналізів, виконаних різними лабораторіями з однієї і тієї ж проби, не повинні перевищувати розмірів допустимих розходжень, що вказані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Вміст вологи в паливі, %	Вид вологи	Допустимі розходження, %	
		По визначенням в одній лабораторії, абс.	По визначенням в різних лабораторіях абс.
До 10	Робоча W^P , лабораторна W^L , аналітична W^a	0,3	0,4
Більше 10	Робоча W^P , лабораторна W^L , аналітична W^a	0,3	

При отриманні результатів з розходженням більше вказаних, роблять третє визначення. За результат приймають середнє арифметичне з двох найбільш близьких визначень. Якщо результат третього визначення знаходиться в межах допустимих розходжень по відношенню до кожного з двох попередніх, то за результат аналізу приймають середнє з трьох визначень.

Підрахунок результатів роблять з точністю до 0,01 %. Остаточні результати округляють до десятих часток процента.

2.5 Обробка результатів дослідів

Результати вимірів, проведених у ході лабораторної роботи, наступні: маса тари без навіски палива $m_1 = 32,7235\text{г}$; маса тари з навіскою до висушування $m_2 = 33,9498\text{г}$; те ж після висушування $m_3 = 33,8465\text{г}$.

Тоді $M = m_2 - m_1 = 1,2263\text{г}$; $M_1 = m_3 - m_1 = 1,123\text{г}$.

$$W = \frac{1,2263 - 1,123}{1,2263} \cdot 100 = 8,4 \text{ \%}.$$

Висновок: у ході лабораторної роботи визначили вологість палива. Результат трохи відрізняється від табличного через погрішність вимірювань.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ЗОЛЬНОСТІ БУРИХ І КАМ'ЯНИХ ВУГІЛЬ, АНТРАЦИТУ І ГОРЮЧИХ СЛАНЦІВ

Мета роботи - освоїти методику визначення зольності деяких видів твердого палива і придбати навички в практичному виконанні визначень.

Зольність палива є однією з основних характеристик його якості. Дані про зольність враховуються при плануванні поставок товарного палива, вони ж приймаються за вихідні дані при проектуванні установок, що використовують паливо.

3.1 Сутність процесу. Зміст методики виконання аналізу

У всіх видах твердого палива міститься деяка кількість мінеральних речовин. Більша їхня частина не пов'язана з органічною масою палива, будучи її механічною домішкою. Інша частина цих речовин входить до складу органічної маси палива, утворюючи з нею складні хімічні з'єднання. Такими, зокрема, є гумати - солі органічних (гумінових) кислот.

При згорянні палива мінеральні з'єднання піддаються перетворенням. Одні з них розкладаються, утворюючи нові з'єднання, інші вступають у взаємодію з компонентами палива або киснем повітря. В результаті цих взаємодій утворюється мінеральний залишок, склад якого відрізняється від складу вихідних мінеральних речовин палива. Цей залишок прийнято називати золою.

Кількість золи залежить від виду і якості палива та вихідного складу мінеральних домішок. Разом з тим вона в значній мірі залежить від умов озолення навісок досліджуваного палива. Для одержання відтворюваних результатів аналізу необхідно дотримувати певні умови виконання визначень. Найбільш важливими з них є:

а) озолення варто робити при температурі не вище 830 °С. Більш високу температуру озолення - 850 °С приймають лише при аналізі горючих сланців, щоб забезпечити повне розкладання карбонатів;

б) при озоленні неприпустима поява полум'я, оскільки при полум'яному горінні відбувається віднесення часток палива, що не догоріли та містять мінеральні речовини;

в) зола, що утворилася, повинна бути прожарена до постійної маси або до рівномірної її зміни. Рівномірне за часом зменшення маси зольного залишку відбувається за рахунок поступового вигорання вуглецю. Рівномірне збільшення маси пояснюється переходом закисних форм заліза в окисні. Рівномірність зміни маси зольного залишку встановлюється контрольними прожарюваннями.

Методика визначення зольності бурих і кам'яних вугілів, антрациту і горючих сланців регламентована ДСТУ 11022-75[3]. Стандартом передбачено три методи:

- повільного озолення в муфельній печі;
- швидкого озолення в муфельній печі із природною тягою;
- швидкого озолення з подачею кисню в муфельну піч.

3.2 Апарати, прилади і матеріали, що використовуються при визначенні зольності

Апарати, прилади і матеріали наступні:

- піч муфельна з електричним обігрівом, що забезпечує рівномірне нагрівання простору печі до температури 900 °С. Для проведення прискореного озолення із природною вентиляцією муфельна піч повинна мати витяжну трубу із зовнішнім діаметром (20...22) мм і товщиною стінки (1,5...2) мм, що розташована в задній стінці нижче отвору для термопари, і виступаючою над корпусом муфельної печі на 30 мм. Для проведення прискореного озолення з подачею кисню муфельна піч повинна мати отвір у нижній частині задньої стінки для розміщення в ньому трубки діаметром (10...12) мм;
- трубка металева з жаротривкої сталі довжиною 350 мм із зовнішнім діаметром (10...12) мм і товщиною стінки (1,5...2) мм для подачі кисню в муфельну піч. Поверхня трубки повинна бути перфорована отворами діаметром 1,5 мм;
- термопара за ДСТУ 6616-74 із вторинним вимірювальним приладом;

- лодочки порцелянові прямокутні № 1, 2, 3 за ДСТУ 9147-80Е, про- нумеровані і попередньо прожарені при температурі не нижче 900 °С ;

- пластинка керамічна або з жаротривкого матеріалу товщиною не більше 5 мм, на 10 мм вужче і на 20 мм коротше поду муфельної печі;

- ваги аналітичні з важками;

- ексикатор, завантажений хлористим кальцієм за ДСТУ 6317-73;

- шпатель або ложечка для перемішування аналітичної проби в банці і взяття навіски;

- щипці тигельні;

- кисень газоподібний технічний за ДСТУ 5583-78;

- редуктор кисневий;

- реометр із поворотними діафрагмами, що забезпечує необхідну точність виміру кількості кисню, що подається в муфельну піч.

3.3 Підготовка до проведення дослідів

Послідовність операцій для всіх стандартних методів визначення зольності однакова і наступна:

а) попередн

ьо прожарену лодочку, що зберігається в ексикаторі з речовиною, що осушує, зважують на аналітичних вагах з точністю до 0,0002 г;

б) з аналітичної проби палива, приготовленої за ДСТУ 10742-71, беруть навіску масою $(1 \pm 0,1)$ г і легким струшуванням розподіляють її рівним шаром по дну лодочки;

в) лодочку з навіскою зважують на аналітичних вагах з точністю до 0,0002г. Масу лодочки до взяття навіски і масу лодочки з навіскою записують у журнал аналізу. Аналіз зольності кожної аналітичної проби виконується по двох навісках. Друга навіска береться в такій же послідовності вслід за першою.

Для подальшого перерахунку зольності аналітичної проби на суху масу одночасно із цієї ж пробою беруть навіски для визначення вологості по ДСТУ 11014-81 . Методика визначення вологості викладена в лабораторній роботі №2 цих методичних вказівок.

3.4 Проведення визначення зольності

3.4. 1 Метод повільного озолення в муфельній печі

Лодочки із навісками досліджуваної проби встановлюють на керамічній пластинці і розміщують у холодну муфельну піч. Для озолення кам'яних вугілля і антрациту початкову температуру муфельної печі підвищують протягом 30 хв. до 500 °С, протягом наступних (30...60) хв.- до (800...830) °С.

Для озолення бурих вугілля і сланців початкову температуру муфельної печі підвищують протягом 30 хв. до 250 °С, протягом наступних 30 хв. до 500 °С і потім протягом 1 години — до (800...830) °С.

По досягненні зазначеної температури зольний залишок, що утворився, прожарюють у закритій муфельній печі: при озоленні кам'яних вугілля і антрацитів - 1,5 год., бурих вугілля і сланців - 1 год..

Відлік часу прожарювання починають із моменту досягнення необхідної температури в просторі печі (800...830) °С .

Після закінчення зазначеного часу прожарювання лодочки із зольним залишком виймають із муфельної печі, охолоджують на повітрі до кімнатної температури і зважують. Дані зважувань записують в журнал аналізу.

Роблять контрольне прожарювання лодочок із зольним залишком протягом 30 хв. і підраховують зміну маси. Якщо значення зміниться (у бік зменшення або збільшення) менше, ніж на 1 мг, то випробування закінчують і для розрахунку приймають останнє значення маси.

При зміні маси на 1 мг (тобто при різниці 0,0010 результатів зважувань) і більше роблять додаткові контрольні прожарювання тривалістю 30 хв. кожне доти, поки зміна маси по двох зважуваннях не стане менше 1 мг.

При визначенні зольності методом повільного озолення допускається встановлювати лодочки із навісками палива не в холодну піч, як зазначено на початку цього підрозділу, а в попередньо нагріту до 300 °С. Це скорочує тривалість аналізу.

3.4.2 Метод прискороного озолення в муфельній печі із природною вентиляцією робочого простору печі

При озоленні навісок палива по цьому методу муфельну піч нагрівають до температури (850...870) °С. Далі визначають зольність у такій послідовності:

- лодочки із навісками палива встановлюють на керамічну пластину (або металеву з жаротривкого матеріалу);

- взявши пластинку тигельними щипцями, встановлюють її так, щоб передній край її опирався на край поду муфельної печі, і в такому положенні витримують при озоленні кам'яних вугіль і антрациту - 3 хв., горючих сланців - 5 хв.;

- пластинку із лодочками пересувають у піч зі швидкістю не більше 2 см/хв. і після розміщення пластинки в печі закривають дверцята.

Температура в робочому просторі печі і тривалість прожарювання зольного залишку повинні відповідати значенням, наведеним у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Вид палива	Температура в печі, °С	Тривалість озолення в лодочках, хв.	
		№ 2	№ 3
Вугілля кам'яні і антрацит	800...830	35	25
Вугілля бурі	800...830	25	20
Сланці горючі	850...875	25	20

Відлік часу прожарювання починають із моменту, коли після закриття дверцят в муфельній печі буде досягнута температура не нижче 800 °С (або 850 °С при озоленні сланців). По закінченні озолення пластинку з лодочками виймають із муфельної печі, охолоджують на повітрі до кімнатної температури і зважують лодочки з зольним залишком.

При використанні описаного методу озолення ДСТУ 11022-75 не передбачає проведення контрольних прожарювань. Однак, щоб

уникнути можливих помилок у визначенні, зольний залишок після основного прожарювання необхідно піддавати контрольним прожарюванням. Тривалість прожарювання 15 хв..

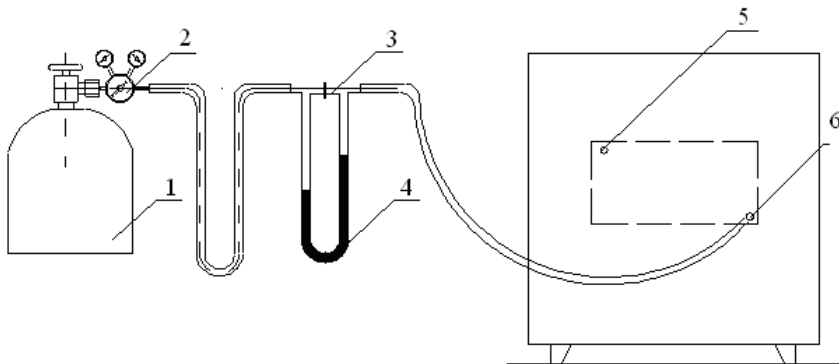
3.4.3 Метод прискороного озолення з подачею кисню у робочий простір муфельної печі

Для озолення проб палива по цьому методу збирають установку по схемі, показаної на рисунку 3.1.

Розмір зольного залишку визначають у такій послідовності:

- нагрівають муфельну піч до температури $(850...875)^{\circ}\text{C}$;
- лодочки із навісками встановлюють на керамічній або металевій жаротривкій пластинці;
- взявши пластинку тигельними щипцями, встановлюють її з краю робочого простору муфельної печі і витримують при озоленні вугіль і антрациту - 3 хв., сланців - 5 хв.;
- пластинку із лодочками пересувають у муфельну піч зі швидкістю

2 см/хв., закривають дверцята і подають кисень зі швидкістю, що відповідає об'ємній витраті 3 л/хв.



1 - кисневий балон; 2 - редуктор кисневий; 3 - реометр; 4 - манометр; 5 - термопара; 6 - перфорована трубка для введення кисню в піч.

Рисунок 3.1 - Підведення кисню в муфельну піч

Температура і тривалість озолення повинні відповідати значенням таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Вид палива	Температура в печі, °С	Тривалість озолення в лодочках, хв.	
		№ 2	№ 3
Вугілля кам'яні і антрацит	800...830	25	20
Вугілля бурі	800...830	15	10
Сланці горючі	850...875	20	15

По закінченні озолення подачу кисню припиняють, пластинку з лодочками виймають із муфельної печі, охолоджують на повітрі до кімнатної температури і зважують лодочки з зольним залишком.

Контрольні прожарювання при озоленні навісок окисним методом ДСТУ 11022-75 не передбачає. Однак, якщо при аналізі виникнуть сумніви в повноті озолення, варто виконати контрольні визначення тривалістю 10 хв. кожне.

Охолодження зольного залишку до кімнатної температури, що передбачуване стандартом, перед зважуванням треба проводити на повітрі. Переважніше цю частину аналізу виконувати так: лодочки з зольним залишком на повітрі охолоджувати до температури (40...50) °С, а потім переносити їх в ексикатор для остаточного охолодження. Це виключить збільшення маси зольного залишку за рахунок вологи, що поглинається з повітря.

3.5 Обробка результатів визначень

При підрахунку зольності палива за вихідне приймають результати зважувань, виконаних в період проведення визначення.

Зольність аналітичної проби випробуваного палива обчислюють по формулі, %

$$A^a = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100,$$

де m_1 , m_2 , m_3 — маса лодочки відповідно прожареної, з навіскою випробуваного палива, із зольним залишком після прожарювання, г.
 $m_1 = 14,501$ г; $m_2 = 15,8565$ г; $m_3 = 15,2637$ г, тоді

$$A^a = \frac{15,2637 - 14,501}{1,3555} \cdot 100 = 56,27\%.$$

Зольність по кожній пробі визначають паралельно у двох навісках. За остаточний результат приймають середнє арифметичне двох таких паралельних визначень, якщо розходження результатів не перевищує допущених величин. Допущене розходження між результатами двох визначень не повинно перевищувати значень, вказаних у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Зольність	Допущене розходження між результатами, %	
	двох паралельних визначень в одній лабораторії	двох визначень по дублікатам однієї лабораторної проби в різних лабораторіях
До 10	0,2	0,3
10...20	0,3	0,4
20...25	0,4	0,5
25	0,5	0,7

Якщо розходження між результатами двох паралельних визначень перевищує приведене в таблиці, роблять третє визначення і за остаточний результат приймають середнє арифметичне результатів двох визначень, що має менше розходження і не перевищує допущене розходження.

Якщо результат третього визначення знаходиться в межах допущених розходжень по відношенню к результатам кожного з двох попередніх визначень, то за остаточний результат приймають середнє арифметичне результатів трьох визначень.

Перерахування зольності аналітичної проби на суху масу проводять по формулі, %

$$A^c = A^a \frac{100}{100 - W^a} = 56,27 \cdot \frac{100}{100 - 8,4} = 61,430.$$

Перерахування зольності аналітичної проби на робочу масу палива здійснюється аналогічно, %

$$A^p = A^a \frac{100 - W^p}{100 - W^a} = 56,27 \cdot \frac{100 - 12}{100 - 8,4} = 54,06,$$

де W^p , W^a — вміст вологи, що визначене за ДСТУ 11014-81, відповідно в робочій масі випробуваного палива і в аналітичній пробі, %.

Висновок: у ході лабораторної роботи стандартним методом визначили зольність аналітичної проби палива і зробили перерахування аналітичної зольності на суху і робочу масу палива. Результати трохи розходяться з очікуваними (табличними) через погрішність вимірів.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ВИХОДУ ЛЕТЮЧИХ РЕЧОВИН У БУРИХ І КАМ'ЯНИХ ВУГІЛЛЯХ І АНТРАЦИТІ

Мета роботи - освоїти стандартну методику визначення виходу летючих речовин і придбати навички в практичному виконанні аналізу.

4.1 Методика визначення виходу летючих речовин

При нагріванні твердого палива без доступу повітря відбувається руйнування термічно нестійких молекул з утворенням газоподібних продуктів розкладання, що названі летючими речовинами. Частина палива, що не розклалася при нагріванні, прийнято називати коксовим залишком.

Кількість летючих речовин, що утворюються, залежить від умов проведення досліду і температури нагрівання. Для одержання порівнянних значень виходу летючих речовин різних палив прийняті однакові умови визначення, регламентовані ДСТУ 6382-80[4]. Зміст викладеної нижче методики визначення виходу летючих речовин відповідає зазначеному стандарту.

Метод визначення виходу летючих речовин, регламентований ДСТУ 6382-80, заснований на нагріванні навіски досліджуваного палива у порцеляновому або кварцовому тиглі, закритому кришкою, при температурі (840...860) °C протягом 7 хв. і визначенні виходу летючих речовин по різниці між загальною втратою маси палива і втратою за рахунок випару вологи.

4.2 Апаратура, матеріали і реактиви

Для проведення аналізу палива з метою визначення виходу летючих речовин необхідні:

а) муфельна піч із терморегулятором, що забезпечує нагрівання до температури 1000 °C. Муфельна піч повинна мати отвори в передній стінці для видалення летючих речовин, у задній - для установки термопари;

б) термопара з гальванометром (або іншим вимірювальним приладом) для виміру температури до 1000 °С;

в) тиглі порцелянові за ДСТУ 9147-80 високої форми № 3 із притертими кришками. Нові тиглі і кришки повинні бути пронумеровані, прожарені до постійної маси і зберігатися в ексикаторі з речовиною, що осушує ;

г) підставки з тонкої листової корозійно- і жаротривкої сталі або з ніхромового дроту. Розміри підставки повинні забезпечувати можливість розміщення тиглів в зоні стійкої температури печі (840...860) °С, а також мати відстань 20 мм між дном тигля і подом печі;

д) прес лабораторний для брикетування вугіль;

е) ваги аналітичні з важками;

ж) речовини, що осушують (сірчана кислота, кальцій хлористий двухводний або плавлений, силікагель);

з) ексикатор з порцеляновими колами-підставками;

и) щипці тигельні довжиною (250...300) мм;

к) ложечка або шпатель для взяття навіски.

4.3 Підготовка до випробування

При визначенні виходу летючих речовин у кам'яних вугіллях і антрациті з метою їхньої класифікації зольність досліджуваних проб не повинна перевищувати 10 %. При більш високій зольності проби піддають збагаченню.

Збагачення здійснюється за ДСТУ 1186-69. У виробничій діяльності інженера-теплоенергетика подібні визначення малоїмовірні і тут не розглядаються.

Вихід летючих речовин у пробах концентрату і товарних вугіль, що використовуються у незбагаченому виді, визначають без попереднього збагачення.

Навіску бурих вугіль перед визначенням брикетують, якщо попередньо встановлено, що вихід летючих речовин в аналітичній масі проб не більше 20 %, а летючий залишок порошкоподібний або злиплий. Навіски антрациту і кам'яних вугіль із виходом летючих речовин менш 20 % перед визначенням не брикетують.

У випадку визначення виходу летючих речовин із попереднім брикетуванням чинять у такий спосіб:

- на аналітичних вагах зважують вагове скло (або листочок фольги розміром 50×50 мм);

- аналітичну пробу досліджуваного палива, що приготовлена за ДСТУ 10742-71, перемішують у відкритій банці шпателем або ложечкою на повну глибину банки і на різній глибині із двох-трьох місць беруть на вагове скло навіску масою $(1 \pm 0,01)$ г;

- навіску переносять у матрицю преса, вставляють пуансон і стискають гвинтом до одержання брикету;

- тигель для визначення разом із кришкою зважують на аналітичних вагах, в нього переносять отриманий брикет і знову зважують. По різниці зважувань визначають фактичну масу навіски досліджуваного палива. Зважування порожнього тигля і тигля із брикетом ведуть з погрішністю не більше 0,2 мг (з точністю 0,0002г). Результати зважувань записують до протоколу.

При визначенні виходу летючих речовин без попереднього брикетування навіски операція підготовки скорочується. Зважують тигель для визначення і в нього із двох-трьох місць перемішаної аналітичної проби беруть навіску масою $(1 \pm 0,01)$ г. Фактичну масу навіски встановлюють по різниці зважувань тигля з навіскою і порожнього тигля. Зважування здійснюється із погрішністю не більше 0,2 мг.

Перевіряють правильність установки термопари в муфельній печі. Гарячий спай термопари повинен перебувати на відстані (10...20) мм від поду печі, розташовуватися в зоні стійкої температури (840...860) °С і не заважати установці підставки з тиглями.

4.4 Проведення випробування

Муфельну піч, підготовлену для виконання визначення, нагрівають до температури 860 °С. Тиглі з навісками вугілля (у вигляді порошку або брикетів), закриті кришками, встановлюють у підставку. Взявши підставку щипцями, швидко вносять у піч і встановлюють у зоні стійкої температури. Відразу ж закривають дверцята печі.

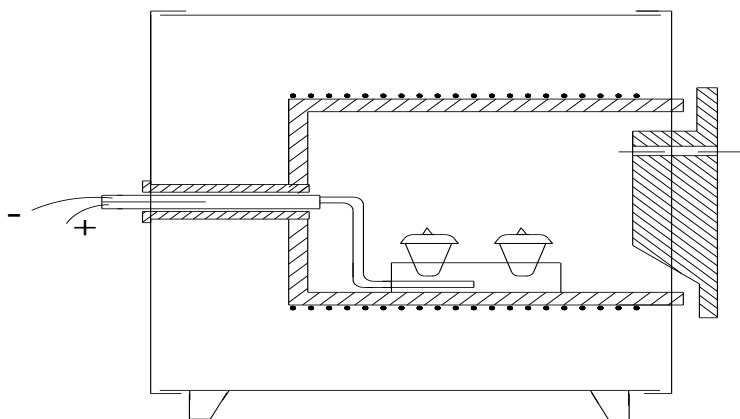


Рисунок 4.1

У підставку встановлюють два або чотири тиглі. Схема розміщення підставки з тиглями в печі зображена на рисунку 4.1. Тиглі в закритій печі витримують протягом 7 хв., фіксуючи температуру в зоні розміщення тиглів щохвилини. Результати спостережень вносять до протоколу визначень.

Перший (нульовий) запис температури роблять відразу ж після установки підставки і закриття дверцят печі.

Температура, що понизилася при установці тиглів у піч, повинна знову досягти (840...860) °C не більш ніж за 3 хв.. Якщо наприкінці третьої хвилини температура печі не досягне заданого значення, дослід бракується і випробування повторюються.

Після закінчення 7 хв. підставку з тиглями виймають із печі, охолоджують тиглі спочатку близько 5 хв. на повітрі, а потім в ексикаторі до кімнатної температури. Тиглі в ексикатор переносять щипцями, не знімаючи кришок.

Охолоджені тиглі зважують, звільняють від нелетючого залишку, дають характеристику цьому залишку.

Нелетучий залишок, отриманий у тиглі після визначення виходу летючих речовин, класифікують залежно від зовнішнього вигляду:

- порошкоподібний - вся маса залишку представляє дрібний порошок;
- злиплий - при легкому натиску розсипається в порошок;
- слабоспечений - при легкому натисканні розсипається на окремі шматочки;
- спечений, не сплавлений - для розколювання на окремі шматочки необхідно прикласти зусилля;
- сплавлений, не спучений - плоский корж зі срібленим металевим блиском на поверхні;
- сплавлений, спучений - залишок зі срібленим металевим блиском поверхні висотою не менш 15 мм;
- сплавлений, сильно спучений - залишок зі срібленим металевим блиском поверхні висотою більше 15 мм.

4.5 Обробка результатів визначень

Так як вміст двоокису вуглецю карбонатів в аналітичній пробі $(CO_2)_k = 0$, то вихід летючих речовин в аналітичній пробі досліджуваного палива V^a обчислюють по формулі, %

$$V^a = \frac{m_1}{m} \cdot 100 - W^a,$$

де m — маса палива, взятого для випробування, г; m_1 — загальна втрата маси після нагрівання, г; W^a — вміст вологи у випробуваній аналітичній пробі, визначене за ДСТУ 11014-81, %.

Маса тари 32,5245 г; те ж з таблеткою 33,1622 г; після нагрівання 32,9835 г, тоді $m_1 = 0,1787$ г; $m = 0,6377$ г.

$$V^a = \frac{0,1787}{0,6377} \cdot 100 - 8,4 = 19,623\%.$$

Вихід летючих речовин у перерахуванні на умовну горючу масу V^z обчислюють по формулі, %

$$V^z = V^a \frac{100}{100 - A^a - W^a} = 19,623 \cdot \frac{100}{100 - 56,27 - 8,4} = 55,54.$$

Якщо вихід летючих речовин обчислюють після визначення аналітичної вологи через 12 годин і більше в пробі, що не доведена до повітряно-сухого стану, або через 7 діб і більше в пробі, доведеної до повітряно-сухого стану, то визначення вологи повторюють і при розрахунку приймають нові дані по вмісту вологи в аналітичній пробі.

Вихід летючих речовин по кожній аналітичній пробі визначають в двох навісках. За кінцевий результат приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, якщо розходження між ними не перевищує допущеного значення.

Допущене розходження між результатами двох паралельних визначень виходу летючих речовин по одній аналітичній пробі не повинно перевищувати, при виході летючих речовин, % : 0,3- менш 9; 0,5- від 9 до 45;

1,0 від 45 і більш.

Якщо розходження між результатами двох паралельних визначень перевищує вказане значення, роблять третє визначення, і за кінцевий результат приймають середнє арифметичне двох найбільш близьких визначень в межах допущених розходжень. Якщо результат третього визначення знаходиться в межах допущених розходжень по відношенню к результатам кожного з двох попередніх, то за кінцевий результат приймають середнє арифметичне результатів трьох визначень.

Висновок: у ході лабораторної роботи стандартним методом визначили вихід летючих речовин аналітичної маси палива і перерахували його на умовну горючу масу. Розбіжності результату з табличним викликані погрішністю вимірів.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

АНАЛІЗ ДИМОВИХ ГАЗІВ І ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВ

Мета роботи - освоєння методики проведення випробувань і придбання практичних навичок по проведенню дослідів і обробці отриманих експериментальних даних, закріплення теоретичних знань по застосуванню найпоширеніших в теплотехніці способів визначення об'ємного складу димових газів та втрат теплоти з відхідними газами і хімічним недопалом на основі вимірів складу димових газів. Випробування проводяться на водогрійних котлах Дніпровського підприємства концерну ” Міські теплові мережі ”. Випробування складаються з проведення дослідів, його обробки і складання звіту.

Завдання:

- визначити об'ємну частку O_2 у повітрі;
- визначити об'ємні частки CO_2 і O_2 у димових газах;
- визначити об'ємну частку CO у димових газах;
- визначити втрату тепла з відхідними газами;
- визначити втрату тепла від хімічного недопалу.

5.1 Теоретичні основи

Тепловим балансом будь-якої теплотехнічної установки встановлюється рівність між приходом і витратою тепла з віднесенням до останнього як тепла використаного, яке втримується у продукті, що виробляється, так і теплових втрат, завжди наявних у процесі передачі або перетворенні будь-якого виду енергії.

Первинним джерелом тепла є паливо, хімічно зв'язана енергія якого перетворюється при спалюванні у топці в фізичне тепло нагрітих димових газів.

Рівняння теплового балансу виглядає в такий спосіб, МДж/кг

$$Q^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5,$$

де Q_1 — корисно використане тепло, МДж/кг;

Q_2 — втрата тепла з відхідними газами, МДж/кг;

Q_3 — втрата тепла від хімічного недопалу, МДж/кг;

Q_4 — втрата тепла від механічного недопалу, МДж/кг;

Q_5 — втрата тепла в навколишнє середовище, МДж/кг.

Визначення вмісту окремих компонентів, що становлять продукти згоряння, має велике значення як спосіб контролю якості і економічності спалювання палива.

По вмісту в димових газах вуглекислоти CO_2 і вільного кисню O_2 судять про надлишок або нестачу повітря, що приймає участь у процесі згоряння.

Втрата тепла з відхідними газами залежить від коефіцієнта надлишку повітря. Чим вище надлишок повітря в топці, тим більше об'єм продуктів згоряння за агрегатом, що збільшує Q_2 .

Втрата Q_2 є найбільшою із всіх теплових втрат (для котельних установок з урівноваженою тягою становить (5...10)%). Тому необхідно регулювати подачу повітря в топку, щоб не допустити занадто великого зменшення або надмірного збільшення його кількості.

Втрати тепла з відхідними газами визначаються, МДж/кг

$$Q_2 = \left[(\sum VCg)_{yx}^0 + (\alpha - 1)I_{\epsilon}^0 \right]_{9yx} - I_{x.в.},$$

де $(VCg)_{yx}^0$ — ентальпія газів при $\alpha = 1$, МДж/кг;

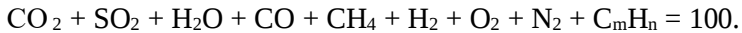
α — коефіцієнт надлишку повітря;

$(\alpha - 1)I_{\epsilon}^0$ — ентальпія надлишкового повітря при $\alpha > 1$, МДж/кг;

$I_{x.в.}$ — ентальпія холодного повітря, МДж/кг.

В продуктах згоряння можуть перебувати в газовій фазі продукти неповного горіння, частина вихідного палива CO , H_2 , CH_4 і інші гази. Їх догорання за межами топкової камери неможливо внаслідок недостатньо високої для цього температури. Тепло, що могло бути виділене в топковій камері у випадку догорання газоподібних горючих, становить хімічний недопал.

Для випадку неповного горіння повний склад продуктів згоряння складає, %



При спалюванні твердого і рідкого палива вміст у продуктах згоряння H_2 і CH_4 мізерно, тому втрату тепла від хімічного недопалу визначають по вмісту CO , МДж/кг

$$Q_3 = 0,237 \left(C^p + 0,375 \cdot S_{\text{л}}^p \right) \cdot \frac{\text{CO}}{\text{RO}_2 + \text{CO}}.$$

Цією формулою зручно користуватися при обробці результатів теплотехнічних випробувань, отриманих газовим аналізом.

Основними факторами, що викликають хімічний недопал, є : нестача повітря для горіння, погане перемішування повітря з паливом , недостатня тривалість перебування газів у топковій камері, мала температура в зоні горіння.

З вищесказаного слідує, що для визначення Q_2 і Q_3 необхідно знати склад димових газів, який визначають аналізом проби продуктів згоряння, що відбирається з газоходу.

Розрізняють неповний газовий аналіз із визначенням тільки RO_2 і O_2 і повний, при якому, крім того, визначають горючі складові CO , H_2 , CH_4 .

Неповний газовий аналіз виконують на лабораторному газоаналізаторі ГХП - 3 М (Орса).

Для одержання повних даних про склад продуктів згоряння з визначенням горючих складових застосовують лабораторний газоаналізатор ВТИ- 2.

Перспективний хроматографічний метод аналізу газу в останній час отримав широке застосування, особливо при спалюванні газу і мазуту.

Використовуються автоматичні газоаналізатори:

- теплові - газовий аналіз виконується на основі залежності теплопровідності суміші від складу суміші;
- термомагнітні — аналіз суміші газів на O_2 на основі магнітної сприйнятливості O_2 .

5.2 Призначення і пристрій приладу «ОРСА» (ГХП - 3М)

Прилад Орса (рис. 5.1) є ручним хімічним газоаналізатором. Він призначений для визначення процентного вмісту окремих компонентів CO_2 , O_2 і CO .

Принцип дії газоаналізатора заснований на вибіркового поглинанні окремих компонентів газу CO_2 , O_2 і CO відповідними поглинальними розчинами.

Визначення процентного вмісту компонентів здійснюється шляхом визначення скорочення об'єму аналізованої проби газу. Зміна об'єму випробуваної газової суміші після поглинання визначається різницею відліків по вимірювальній бюретці.

CO_2 поглинається розчином лугу (їдкий калій КОН або їдкий натрій NaOH). O_2 поглинається розчином пірогалолу «А» $\text{C}_{12}\text{H}_{12}\text{O}_6$. CO поглинається аміачним розчином напівхлористої міді або сірчанам закисом міді.

5.3 Підготовка приладу до роботи. Приготування поглинальних розчинів

5.3.1 Розчин їдкого калію КОН

Розчин їдкого калію КОН готується за ДСТУ 5439 - 56 в такий спосіб: (60...70) г хімічно чистого їдкого калію розчиняють у (130...140) мл дистильованої води. Можна користуватися технічно чистим КОН.

Приготування розчину їдкого калію рекомендується робити у порцеляновому посуді, тому що при розчиненні лугу значно підвищується температура розчину.

Багаторазове проведення аналізу з тим самим розчином приводить до насичення розчину CO_2 і виділенню з нього кристалів. З появою нальоту солі на стінках поглинальної посудини реактив варто змінити.

5.3.2 Пірогалол $\text{C}_{12}\text{H}_{12}\text{O}_6$

Пірогалол $C_{12}H_{12}O_6$ - речовина, що надзвичайно легко окисляється, особливо в лужних розчинах. Лужний розчин пірогалола - це поглинач кисню, що найбільш часто застосовується. Його легко приготувати, він не отруюється іншими газами, які можуть бути присутніми у газовій суміші, швидко поглинає кисень. Готують реактив за ДСТУ 5439 - 56 у такий спосіб:

35 г пірогалола розчиняють в 60 мл дистильованої води, цей розчин змішують із 120 мл 50 % їдкою калію. Щоб уникнути окислювання пірогалола під час приготування реактиву, змішування розчинів роблять безпосередньо в поглинальній посудині. Відкриту поверхню реактиву в поглинальній посудині варто ретельно оберігати від контакту з повітрям.

Так як лужний розчин пірогалола легко поглинає гази кислотного характеру (CO_2 , SO_2), останні повинні бути неодмінно вилучені з проби, що аналізується.

5.3.3 Суспензія закису міді в сірчаній кислоті

Суспензія закису міді в сірчаній кислоті готується в такий спосіб: до 200 мл сірчаної кислоти додати 25 мл води (кислоту додають у воду, а не навпаки). Отриманий розчин остудити до кімнатної температури. Зважити 20 г закису міді і поступово, маленькими порціями, розтирати з охолодженим розчином кислоти в порцеляновій ступці до одержання рідкої кашки. Цю кашку злити в склянку із притертою пробкою, куди маленькими порціями при встряхуванні додати (6 ... 10) г бетанафтола. Приготовлений розчин встряхувати протягом 30 хв.. Застосовувати розчин можна через (1 ... 2) дні після приготування.

При роботі варто пам'ятати, що бетанафтол - сильна отрута.

Через те, що розчин суспензії міді - це розчин складний у готуванні і небезпечний в експлуатації, у даній роботі застосовується індикаторна трубочка для визначення CO у димових газах.

Якщо в газі зміст CO більш, ніж 0,2 %, то розрахунок ведуть по формулам (див. нижче).

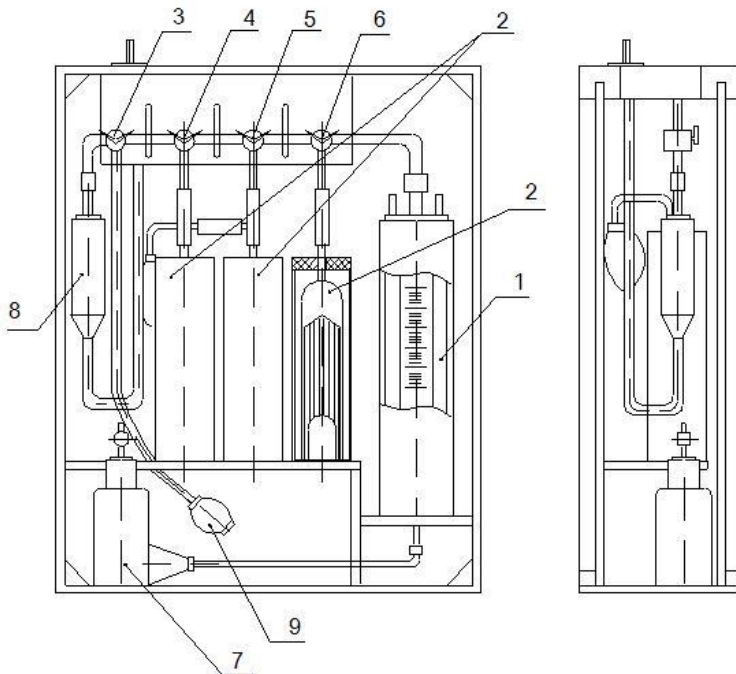


Рис. 1. Газоанализатор ГХП - 3м

- 1 - бюретка на 100 мл
- 2 - поглотительный сосуд
- 3, 4, 5, 6 - трехходовой кран
- 7 - уравнительная склянка
- 8 - фильтр
- 9 - резиновая груша

Рисунок 5.1-Газоаналізатор ГХП-3м

5.3.4 Підготовка приладу до роботи

Перед аналізом необхідно переконатися в герметичності всіх з'єднань, щоб уникнути похибки в результатах через підсмоктування повітря.

Варто переконатися в гарній реакційній здатності розчину пірогалолу. Для цього проводиться аналіз повітря. Концентрація O_2

повинна складати 20 % після(5...6) прокачувань проби через поглинальну посудину.

Для приведення приладу в робоче положення рівні всіх реактивів у поглинальних посудинах і в бюретці повинні бути доведені до відмітки на відповідних капілярах.

Підйом рівнів здійснюється шляхом обережного опускання зрівняльної склянки при відкритті відповідного крану над поглинальною посудиною.

Доведення рівня води до верхньої відмітки на бюретці здійснюється шляхом підняття зрівняльної склянки при з'єднанні крана з газозабірною трубою.

Точність аналізу залежить від багатьох факторів:

- точності газоаналізатора;
- старанності виконання газового аналізу;
- правильності відбору проби.

Обраний перетин для відбору проб газу повинний по можливості не мати ділянок з завихреними потоками.

При температурі газів до 600 °С і малому вмісті механічних домішок, як відбірний пристрій, варто застосовувати гладкі сталеві труби.

Для відбору проб газів з температурою вище 600 °С варто застосовувати охолоджувані водою газозабірні трубки, щоб запобігти догоранню газів у відбірній трубці.

Не допускається використання мідних і латунних трубок через можливості догорання СО над окислами міді.

5.4 Проведення аналізу приладом ОРСА (ГХП-3М)

Перед забором проби необхідно повернути трьохходовий кран 3 так, щоб газопровід був з'єднаний із грушею і кілька разів енергійно прокачати газ, забираючи та викидаючи його для очищення газопроводу і підведення свіжої проби до приладу. Після цього потрібно з'єднати зрівняльну склянку з газопроводом.

При опусканні напірної посудини газ заповнить бюретку, а рівень води відповідно знизиться. Потрібно забрати газу трохи більше 100 мл, опустити рівень нижче 0. Далі газ трохи стискується при підйомі зрівняльної склянки та підведенні рівня води до 0. Потім,

пережавши підведення до зрівняльної склянки, можна, відкривши кран 3, скинути частину газу в атмосферу, забезпечивши в такий спосіб атмосферний тиск у бюретці при нульовій відмітці рівня води у вимірювальній бюретці. Далі перевіряється рівень води в зрівняльній склянці. Він повинен перебувати в нульовій точці при суміщенні рівня в бюретці і у зрівняльній склянці.

Аналіз проводять спочатку на RO_2 , потім на O_2 .

Поглинання газу здійснюється прокачуванням газу при піднятті зрівняльної склянки та відкритому відповідному крані.

Число прокачувань до (3...4) для RO_2 і (5...6) для O_2 .

Закінчивши прокачування, рівень розчину в поглиначі підводять знову під мітку на капілярі поглинальної посудини. Підводити до мітки рідину потрібно обережно, стежачи поглядом за рівнем, що піднімається. Закривши краник над поглинальною посудиною та привівши воду в бюретці і у зрівняльній склянці до одного рівня, роблять відлік по бюретці, тобто відзначають скорочення об'єму проби. Так як початковий об'єм проби становив 100 мл, то відлік дає процентний об'ємний вміст компонента.

Після поглинання O_2 одержують суму $RO_2 + O_2$.

Після виконання аналізу проби залишки проби викидаються або в газопровід, або через краник 3 у повітря. При прокачуванні газів необхідно дотримувати наступних умов:

- а) стежити завжди за рівнем, що підвищується;
- б) не допускати різких підйомів і опускань зрівняльної склянки;
- в) закривати і відкривати крани без зусиль (краще правою рукою).

Після закінчення роботи потрібно опустити реактиви в поглинальних посудинах на середній рівень, а воду в бюретці донизу; вийняти крани, протерти їх і змазати вазеліном.

У випадку пропуску рідини в капіляр, зняти поглинальні посудини, закривши посудину для поглинання O_2 від контакту з повітрям. Всі проходи розподільчої гребінки і кранів потрібно промити водою. Після цього треба знову зібрати прилад.

5.5 Обробка результатів газового аналізу

Паливо, що спалюється - мазут малосірчистий . Його елементарний склад, %:

$$C^P = 84,65;$$

$$H^P = 11,7;$$

$$S_{\text{л}}^P = S_{\text{ор+к}}^P = 0,3;$$

$$O^P = 0,3;$$

$$W^P = 3; A^P = 0,05.$$

Результати газового аналізу: $RO_2 = 2\%$,
 $RO_2 + O_2 = 16,2\%$, звідки $O_2 = 14,2\%$.

Для того, щоб визначити вміст CO у димових газах, необхідно знати паливну характеристику β

$$\beta = 2,37 \frac{H^P - 0,125O^P}{C^P + 0,375S_{\text{л}}^P} = 2,37 \cdot \frac{11,7 - 0,125 \cdot 0,3}{84,65 + 0,375 \cdot 0,3} = 0,326.$$

Визначаємо вміст CO , %

$$CO = \frac{(21 - \beta RO_2) - (RO_2 + O_2)}{0,605 + \beta} = \frac{(21 - 0,326 \cdot 2) - (2 + 14,2)}{0,605 + 0,322} = 4,455$$

Коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3,762 \cdot \frac{O_2 - 0,5CO - 0,5H_2 - 2CH_4}{N_2}},$$

$$N_2 = 100 - (RO_2 + O_2 + CO + H_2 + CH_4) = 100 - 2 - 14,2 - 4,455 = 79,345\%$$

де

$$H_2 = 0, CH_4 = 0.$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3,762 \cdot \frac{14,2 - 0,5 \cdot 4,455}{79,345}} = 2,31.$$

Об'єм сухих газів при нормальних умовах, $\text{м}^3/\text{кг}$

$$V_{CF} = 1,86 \cdot \frac{C^P + 0,375 S_{\text{л}}^P}{RO_2 + CO} = 1,86 \cdot \frac{84,65 + 0,375 \cdot 0,3}{2 + 4,455} = 24,342.$$

Об'єм водяної пари при нормальних умовах, $\text{м}^3/\text{кг}$

$$V_{H_2O} = 1,24 \cdot \frac{W^P}{100} = 1,24 \cdot \frac{3}{100} = 0,0372.$$

Втрати тепла з відхідними газами

$$Q_2 = V_{RO_2}(C9)_{CO_2} + V_{N_2}(C9)_{N_2} + V_{H_2O}(C9)_{H_2O} - (\alpha - 1)V_{\theta}^0(C9)_{\theta} - I_{x.\theta},$$

$$V_{\theta}^0 = 0,0889 \cdot (C^P + 0,375 \cdot S_{\text{л}}^P) + 0,265 \cdot H^P - 0,0333 \cdot O^P =$$

$$= 0,0889 \cdot (84,65 + 0,375 \cdot 0,3) + 0,265 \cdot 11,7 - 0,0333 \cdot 0,3 = 10,626$$

$$\text{м}^3/\text{кг}$$

$$I_{x.\theta} = V_{\theta}^0(C9)_{\theta}^{30^\circ} = 10,626 \cdot 39 = 414,414 \text{ кДж/кг}.$$

$$V_{RO_2} = V_{CF} \cdot \frac{RO_2}{100} = 24,342 \cdot \frac{2}{100} = 0,487 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$V_{N_2} = V_{CF} \cdot \frac{N_2}{100} = 24,342 \cdot \frac{79,345}{100} = 19,314 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$Q_2 = 0,487 \cdot 1461 + 19,314 \cdot 946 + 0,0372 \cdot 1147 - (2,31 - 1) \cdot 10,626 \cdot 979 -$$

$$- 414,414 = 4983,07 \text{ кДж/кг}.$$

Втрати тепла від хімічного недопалу, кДж/кг

$$Q_3 = 0,236 \cdot (C^P + 0,375 \cdot S_{\text{л}}^P) \frac{CO}{RO_2 + CO} = 0,236 \cdot (84,65 + 0,375 \cdot 0,3) \times \\ \times \frac{4,455}{2 + 4,455} = 13,806$$

Висновок: ознайомились зі способом визначення складу димових газів пристроєм газоаналізатора ГХП-3. За допомогою газоаналізатора визначили об'ємні частки RO_2 й O_2 у димових газах, обчислили CO . Обчислили втрати тепла з відхідними газами і від хімічного недопалу на основі складу димових газів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 10742-71. Вугілля бурі, кам'яні, антрацит, горючі сланці. Метод приготування первинних проб.
2. ДСТУ 11014-81. Вугілля бурі, кам'яні, антрацит, горючі сланці. Метод визначення вмісту вологи.
3. ДСТУ 11022-75. Вугілля бурі, кам'яні, антрацит, горючі сланці. Метод визначення зольності.
4. ДСТУ 6382-80. Вугілля бурі, кам'яні, антрацит, горючі сланці. Метод визначення виходу летючих речовин.
5. Частухин В.И., Частухин 1. В.В. Топливо и теория горения. Киев: Вища школа, 1989. 223 с.
6. Канюк Г.І., Пугачова В.М., Без'язичний В.Ф., Близниченко О.М. Основи енерго- і ресурсозбереження: навч. посіб. Харків: друкарня «Мадрид», 2016. 230с.
7. Товажнянський Л.П., Левченко Б.О., Маріїч Л.Й. Перспективи і практика розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу: навч. посіб. Харків: НТУ «ХП», 2013. 300с.
8. Акмен Р.Г. Паливо, основи теорії горіння та паливні пристрої: текст лекцій і задачі для окремих розділів курсу. Харків: НТУ «ХП», 2013. 95с.
9. Товажнянський Л.П., Левченко Б.О. Паливно-енергетичний комплекс. Стратегія розвитку : навч. посіб. Харків: НТУ «ХП», 2009. 400с.
10. Павловський В.Г. Термодинаміка фізико-енергетичних процесів : навч. посіб. Харків: НТУ «ХП», 2009. 332с.
11. Товажнянський Л.П., Левченко Б.О. Проблеми енергетики на межі ХХІ століття: навч. посіб. Харків: НТУ «ХП», 2006. 200с.
12. Рижов А. П. Паливо та теорія горіння, спалюючі пристрої: курс лекцій. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. 96с.
13. Кремнёв В.Е., Адаменко Д.С., Кремнёва Е.В., Перерва В.Я. Сжигание топлива. Часть I: конспект лекций. Днепропетровск: НМетАУ, 2011. 59 с.
14. Кремнев В.Е., Адаменко Д.С., Кремнева Е.В. Сжигание топлива. Часть II: конспект лекций. Днепропетровск: НМетАУ, 2012. 56с.

15. Костюк О.П. Паливо та обладнання для його спалювання : навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2011. 121с.

16. Пономаренко С.М. Основи фізики горіння: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 85 с.