

УДК 681.121 (536.66:53.058)

ОЦІНЮВАННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ*Коробко І. В., Писарець А. В., Місяць А. С.**Національний технічний університет України**“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна**E-mail: i.korobko@kpi.ua, anna.v@ukr.net, andrii.misiats@gmail.com*

Дефіцит паливно-енергетичних ресурсів, зростання ціни на природний газ та неперервне збільшення обсягів його споживання підкреслюють актуальність питань вимірювання кількості природного газу та оцінки його якісних показників. Україна впроваджує Європейську методику розрахунків за спожитий газ за його якістю та ефективністю. Питання визначення якості газу в Україні потребує досконалого оцінювання й дослідження. Основним фізико-хімічним показником якості природного газу, що характеризує його енергетичну цінність, є питома об'ємна теплота згоряння, яка визначає ефективність його застосування і в побуті, і в промисловості.

Метою роботи є аналіз основних методів визначення теплоти згоряння природного газу: калориметричних, хроматографічних та кореляційних.

Калориметричний метод характеризується складністю процесу вимірювання, необхідністю повного згоряння досліджуваного газу, значними часовими витратами. Водночас, забезпечується об'єктивність результатів, що ґрунтується на враховуванні вологості газу та наявності в ньому негорючих компонентів.

Сутність хроматографічного методу полягає в розділенні компонентів зразка газу в хроматографічній колонці, результатом якого є відсотковий склад вуглеводнів у газі. Характерними ознаками методу є виявлення широкого спектру компонентів і повторюваність результатів вимірювань. При застосуванні кореляційних методів визначення теплоти згоряння природного газу вимірюють різні фізико-хімічні параметри проб (загальна концентрація вуглеводнів, теплосміст, швидкість поширення акустичних хвиль, концентрація діоксиду вуглецю, теплопровідність, діелектрична проникність, динамічна в'язкість тощо). Кореляційна залежність, що ґрунтується на виборі та об'єднанні таких параметрів, досліджується на різних тестових газових сумішах, що відповідають газу з різною теплою згоряння, дозволяє отримати емпіричну залежність. Остання слугує основою для реєстрації теплоти згоряння реального природного газу.

В роботі оцінено особливості застосування зазначених методів та приладів на їх основі.

Ключові слова: природний газ; теплота згоряння; калориметр; хроматограф.

Вступ. Постановка проблеми

В умовах постійного дефіциту паливно-енергетичних ресурсів, зростання ціни на природний газ (ПГ) та неперервного збільшення об'ємів його споживання актуальними є питання вимірювання кількості ПГ та визначення його якісних показників. Визначення якості ПГ, як пріоритетного енергетичного ресурсу для держави, відноситься до питань енергетичної безпеки України.

У 2022 році в Україні набув чинності Закон України “Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження на ринку природного газу обліку та розрахунків за обсягом газу в одиницях енергії” [1], який регламентує перехід до Європейської методики обчислень в кіловат-годинах, здійснення плати за спожитий ПГ не за об'ємом, а за його якістю та ефективністю.

Визначення обсягу ПГ в одиницях енергії на ринку ПГ здійснюється вимірюванням його обсягу в одиницях енергії, а також переведенням обсягу

газу в одиницях об'єму (кубічних метрах) в обсяг в одиницях енергії (кіловат-години), що визначається за відповідним алгоритмом згідно з Кодексом газотранспортної системи та Кодексом газорозподільних систем, затвердженим регулятором [2, 3].

В той же час, на сьогодні питання визначення якості газу в Україні потребує досконалого оцінювання й дослідження. Основним фізико-хімічним показником якості ПГ, який окреслює його енергетичну цінність, є питома об'ємна теплота згоряння газу. Теплота згоряння газу різних родовищ відрізняється, й відповідно має різну споживчу цінність. Ця властивість газу визначає ефективність його застосування і в побуті, і в промисловості. Дуже важливим і актуальним є повний контроль над якістю ПГ від видобування та до кінцевого використання, адже оперативне визначення цього показника газу надає можливість знайти співвідношення якості – ціна.

При визначенні теплоти згоряння ПГ в європейських країнах використовуються різні

значення кінцевої температури продуктів згоряння, значення вищої або нижчої теплоти згоряння. В цілому це зумовлює відмінність теплоти згоряння ПГ з однаковим складом залежно від встановлених у конкретній країні стандартних умов.

Україна переходить на єдині стандартні умови вимірювання обсягів ПГ і значні його обсяги надходять в Україну з Європи, тому проблема визначення якісних характеристик ПГ є надзвичайно актуальною.

Метою роботи є аналіз основних методів визначення теплоти згоряння ПГ, їх недоліків та переваг, для розроблення ефективного методу реєстрації енергетичної здатності ПГ.

Методи визначення теплоти згоряння природного газу

До основних методів визначення теплоти згоряння ПГ відносять прямі (калориметричні) та непрямі (хроматографічні та кореляційні) методи.

Калориметричні методи. Розрізняють три основні калориметричні методи визначення теплоти згоряння ПГ [4]:

- 1) метод дискретного спалювання газу в калориметричній бомбі при постійному об'ємі;
- 2) метод неперервного спалювання газу в проточному газовому калориметрі за сталого тиску;
- 3) метод дискретного спалювання газу в газовому пальнику калориметра за сталого тиску.

Зміни значення ентальпії, які супроводжують реакції горіння, вимірюють за допомогою калориметра постійного об'єму, такого як калориметр із бомбою. Реагент розміщують у сталевому стакані всередині сталевій посудини з фіксованим об'ємом («бомба»). Потім бомбу закривають, наповнюють надлишком газоподібного кисню та поміщають в ізоляційний контейнер, який містить відому кількість води. Оскільки реакції горіння є екзотермічними, температура ванни та калориметра під час горіння підвищується. Якщо відомі теплоємність бомби та маса води, можна розрахувати теплоту, що виділяється.

Оскільки об'єм системи (внутрішня частина бомби) фіксований, реакція горіння відбувається за умов, коли об'єм, але не тиск, є сталим. Тепло, що виділяється в результаті реакції, що відбувається при постійному об'ємі, ідентично зміні внутрішньої енергії (ΔU), а не зміні ентальпії (ΔH). Зміна внутрішньої енергії ΔU пов'язана із ΔH виразом, що залежить від зміни кількості молей газу під час реакції. Однак різниця між тепловим потоком, вимірним при сталому об'ємі, і зміною ентальпії зазвичай є невеликою (порядку кількох відсотків).

Припускаючи, що $\Delta U < \Delta H$, зв'язок між вимірною зміною температури та ΔH_{comb} можна

навести рівнянням

$$\Delta H_{comb} < q_{comb} = q_{calorimeter} = C_{bomb} \Delta T,$$

де C_{bomb} – загальна теплоємність сталевій бомби та води, що її оточує;

ΔT – різниця кінцевої та початкової температур;

ΔH_{comb} – різниця кінцевої та початкової ентальпій;

q_{comb} – комбінована кількість теплоти відповідно до зміни температури, виміряна в джоулях;

$q_{calorimeter}$ – кількість теплоти бомби відповідно до зміни температури, виміряна в джоулях.

Водночас, досліджуються газові суміші, які в процесі вимірювання не змінюють свого компонентного складу та фізико-хімічних властивостей, зокрема, вологості та наявності негорючих компонентів.

Перевагою калориметричного методу, незважаючи на складність процесу вимірювання, є об'єктивність результатів, оскільки він враховує вологість газу та наявність у видобутому газі негорючих компонентів. Незважаючи на те, що метод є дуже точним, він закінчується використанням усього газу, наявного під час згоряння. Окрім того, він вважається розривним методом вимірювання, тому не використовується на великих газоспоживаючих виробництвах.

Зокрема, для визначення теплоти згоряння ПГ калориметричним методом необхідні значні часові витрати, оскільки потрібно спалити достатньо велику кількість газу, а також для отримання конкретного значення теплоти згоряння палива необхідно здійснити математичну обробку розрізних даних, отриманих в результаті спалювання палива.

Прикладом застосування калориметричного методу визначення теплоти згоряння ПГ є калориметр *RGQ5* (компанія *RMG*), розроблений для безперервного вимірювання горючих газів [5], в якому газ переміщується з невеликою швидкістю (до 50 мл/хв). Такий калориметр не має рухомих частин і хімічних сенсорів, визначає індекс Воббе та має похибку вимірювань менше 1 % (рис.1). До недоліків можна віднести обмежений діапазон робочих температур – від 0 до 50 °C.

Іншим калориметром неперервної дії є прилад *CWD2005 Plus* фірми *UNION Apparatebau GmbH* [6], в якому використана залежність теплоти згоряння газу від його густини та числа Воббе.

Невідомі або неочікувані горючі компоненти у факельному або технологічному газі також уловлюються та спалюються, і тому враховуються під час вимірювання. Це важливо для отримання достовірних даних із факельних і технологічних газів зі швидкими змінами складу газу або для синтетичних газів у металургійній промисловості.

Рис. 1. Калориметр *RQ5* фірми *RMG* [5]

До недоліків калориметра *CWD2005 Plus* слід віднести: значну витрату газу до 300 л/год., що залежить від складу газу, великі габарити та вагу, обмежений діапазон робочих температур від -5 до 40°C.

Рис. 2. Калориметр *CWD2005 Plus* фірми *UNION Apparatebau GmbH* [6]

Хроматографічні методи. Газова хроматографія є одним із найпоширеніших методів аналізу вуглеводневих сумішей. Метод полягає в розділенні компонентів зразка газу в хроматографічній колонці. Газові компоненти утримуються внаслідок адсорбції в стаціонарній фазі, змінюючи час їх елюції залежно від їх молекулярної маси. Чим менша молекулярна маса, тим коротший час елюції, та навпаки. Коли гази виходять з колони, вони стикаються з селективним вуглеводневим детектором. Вони працюють внаслідок властивостей теплопровідності.

При аналізі результатів отримують хроматограму, що показує, який відсоток кожного вуглеводню міститься в газі, за якими можна розрахувати теплотворну здатність.

Відповідно до ДСТУ ISO 6974 [7, 8] можна виділити наступні хроматографічні методи:

- метод А – метод визначення азоту, кисню, гелію, водню, діоксиду вуглецю та вуглеводнів C1 – C6 при об'ємній частці вуглеводнів C5 і вищих не більше від 1 % та азоту не більше від 20 %;
- метод Б – метод визначення вуглеводнів від C4 і вищих (до C8) при об'ємній частці від 0,001 % до 0,5 %.

Деякі з переваг хроматографії полягають у діапазоні вимірювань, виявленні широкого спектру компонентів і повторюваності вимірювань. Хроматографія використовується в лабораторії, у стаціонарно встановлених онлайн-системах і в польових умовах із портативними системами.

Незважаючи на те, що є багато моделей газових хроматографів, які використовуються в різних галузях, усі вони мають однакові основні компоненти та ідеологію функціонування. До основних компонентів відносяться: система дозування зразків, плита з термостатом, хроматографічна колонка, детектор, записувальний пристрій. Зразок необхідно очистити, висушити, а тиск контролювати за допомогою ефективної системи обробки зразків. Аналітичні компоненти газового хроматографа містяться в печі з контрольованою температурою.

Різні хроматографічні колонки розділяють окремі компоненти зразка. Багатопортові аналітичні клапани малого об'єму контролюють вприскування зразка. Детектори вимірюють концентрацію кожного компонента, коли він виділяється з колонок. Сигнал детектора обробляється контролером, який створює хроматограму та обчислює індивідуальні концентрації, а також інші фізичні властивості зразка.

Для зв'язку з контролером використовуються цифрові послідовні інтерфейси або дискретні виходи. Безперервне вимірювання досліджуваного газу здійснюється за допомогою онлайн-газової хроматографії. Хроматограф *PGC9300* компанії *RMG* [9] наведений на рис. 3.

Рис. 3. Хроматограф *PGC9300* компанії *RMG* [9]

Через складність вимірювання у таких системах необхідно дотримуватися жорстких умов. У газовому хроматографі використовуються газогони малого діаметра та значні обмеження потоку, тому зразок, що вводиться в аналізатор, має бути сухим і вільним від твердих частинок. Крім того, газовий хроматограф вимагає введення зразків під тиском, який значно відрізняється від

тиску джерела зразка.

Система обробки зразків повинна контролювати тиск зразка та видаляти тверді та рідкі речовини, щоб переконатися, що зразок, поданий до газового хроматографа, є чистим і сухим.

Вибір потоку в багатопотокових програмах також є функцією систем обробки зразків і зазвичай здійснюється простими електромагнітними клапанами.

Більшість газових хроматографів здійснюють контроль дослідного зразка під тиском від 100 і 200 кПа. У більшості застосувань зразок буде під значно вищим тиском, тому тиск зразка необхідно регулювати в межах прийнятого діапазону. Важливим моментом є ефект Джоуля-Томпсона, за якого температура газу зменшується зі зниженням тиску. У той час, як ступінь охолодження залежить від складу газу, типове значення, яке використовується для оцінки охолодження ПГ, становить 5,6 °C на 1000 кПа. Коли температура суміші вуглеводневих газів знижується, деякі з більших вуглеводневих компонентів почнуть випадати з газової фази в рідку фазу. Температура, за якої це починає відбуватися, є точкою роси вуглеводнів. Якщо зразок знаходиться поблизу точки роси вуглеводнів під час відбору, температура газу може впасти нижче цієї точки, якщо тиск регулюється на зниження, і склад газу зміниться, в час, коли важкі компоненти випадають у вигляді рідини.

Метою системи обробки зразків є збереження складу газу, тому важливо враховувати шкідливий вплив на зразок ефекту Джоуля-Томпсона. Для цього температура зразка підтримується щонайменше на 16,7°C вище точки роси вуглеводнів [9].

Вбудовані фільтри зазвичай використовуються для видалення твердих частинок розміром до двох мікрометрів. Чим більший об'єм всередині системи обробки зразків, тим довший час затримки між тим, коли зразок потрапляє в зонд, і коли він потрапляє в газовий хроматограф. Щоб уникнути введення в систему великого часу затримки вибірки, фільтри твердих частинок не повинні мати великих об'ємів, тому фільтри зазвичай не рекомендуються.

Багато зондів для проб, які використовуються сьогодні, містять фільтр твердих частинок. Застосування такого фільтра запобігає потраплянню забруднення в систему; однак потребує регулярного проведення регламентних робіт для забезпечення достатньої течії пробі через фільтр/зонд.

Рідини можна видалити за допомогою мембранних фільтрів, у яких використовується спеціально розроблена мембрана, що пропускає лише газ. Мембрана може бути розташована на наконечнику зонда або в мембранному

фільтрі/сепараторі, що знаходиться в системі обробки зразків газового хроматографа. Типовий рідинний мембранний фільтр пропускає зразок газу через мембрану та відводить видалені рідини крізь обхідний шлях потоку. Обхідний потік також дозволяє зменшити час затримки зразка, оскільки він забезпечує більшу швидкість потоку від зонда до системи обробки зразків аналізатора (до 500 см³/хв), ніж швидкість потоку в газовий хроматограф, яка зазвичай становить від 30 см³/хв до 50 см³/хв.

Аналітичні компоненти газового хроматографа (колонки, клапани та детектори) розміщені в камері печі. Продуктивність хроматографічних колонок і детекторів дуже чутлива до змін температури, тому піч розроблена таким чином, щоб ізолювати ці компоненти від впливу змін температури навколишнього середовища та підтримувати дуже стабільну температуру всередині. Продуктивність газового хроматографа безпосередньо залежить від температурної стабільності колонок і детектора, тому контроль температури зазвичай кращий, ніж $\pm 0,3$ °C.

Температура, за якої регулюється піч, залежить від застосування: чим важча очікувана вуглеводнева суміш, тим вище температура печі. У системах, що працюють на природному газі, стандартна температура печі становить близько 80 °C. Температура печі зазвичай встановлюється у лабораторіях і рідко регулюється в польових умовах.

Найважливішою частиною газового хроматографа є колонки, які розділяють газову суміш на окремі компоненти, використовуючи деякі фізичні характеристики. У випадку більшості застосувань вуглеводнів використовуються колонки «точка кипіння», які розділяють компоненти за їх індивідуальними точками кипіння; однак в інших застосуваннях для досягнення розділення можуть використовуватися молекулярні розміри (колонки молекулярних сит) або відмінності полярності.

Зразок газу переноситься через колонки газом-носієм. Комбінація газу-носія та газу зразка називається рухомою фазою. Газ-носієй – газ, який не є компонентом, що представляє інтерес (його не вимірюють), і діє як фоновий газ, що дозволяє легко виявляти вимірювані компоненти. Здебільшого для вуглеводнів використовується гелій; однак залежно від застосування також використовуються водень, аргон і азот.

Коли зразок газу рухається через колонку, компоненти з нижчими температурами кипіння рухаються повільніше, ніж компоненти з вищими температурами кипіння. Швидкість, з якою відбувається це відділення, залежить від температури колонки.

Теоретично, одна колонка може розділити всі

шукані компоненти у зразку; однак час аналізу буде довшим за 30 хвилин [10]. Щоб пришвидшити час аналізу до більш практичного часу, використовуються кілька стовпців, щоб розділити аналіз на менші та швидші додатки зі стовпцями. У типовій чотирьохвилинній системі С6+ із трьох колонок, перша колонка відокремлює гексани та більш важкі компоненти (компоненти С6+) від пентанів до вуглеводнів метану, азоту та вуглекислого газу. У другій колонці відокремлюють нормальний пентан, ізопентан, неопентан, нормальний бутан та ізопентан, дозволяючи азоту, метану, вуглекислому газу та етану переходити до третьої колонки та їх розділяти.

Введення зразка в аналізатор і перемикання шляхів аналізованого потоку для використання кількох колонок досягаються за допомогою спеціалізованих клапанів для аналізу. Такі клапани поставляються в шести- чи десятипортовій конфігурації з дуже малими внутрішніми об'ємами, щоб уникнути будь-яких мертвих об'ємів і забезпечити точне перемикання між компонентами, коли вони залишають колонки. Оскільки ці клапани розміщені всередині духової камери, вони пневматично керуються триходовими соленоїдами, встановленими поза зоною термоконтролю духовки. У деяких застосуваннях газ-носії використовуються як газ для запуску; однак чисте та сухе повітря або азот також можна використовувати для зменшення використання дорогого газу-носія.

Враховуючи усі умови, можна виділити такі недоліки хроматографічних методів:

- вміст неуглеводневих компонентів ігнорується при визначенні теплоти згоряння ПГ;
- висока вартість хроматографів та газів-носіїв;
- тривалий час, необхідний для виходу на режим (до 2 годин), та для здійснення вимірювання (від 5 до 20 хвилин);
- залежність від швидкості та температури газу-носія;
- наявні похибки при аналізі газу з киснем.

Кореляційні методи. В основу кореляційних методів покладено непряму реєстрацію теплоти згоряння ПГ на підґрунті результатів вимірювання, окреслених його фізико-хімічними властивостями із застосуванням визначених взаємозв'язків між теплою згоряння і даною властивістю. Такі взаємозв'язки між основними компонентами ПГ визначаються як дослідним, так і теоретичним методами. Це створює передумови можливості оцінювання теплоти згоряння досліджуваного ПГ.

При застосуванні кореляційних методів визначення теплоти згоряння ПГ вимірюють різні фізико-хімічні параметри тестованих проб, наприклад: загальна концентрація вуглеводнів, теплоємність, швидкість поширення акустичних хвиль, концентрація діоксиду вуглецю,

теплопровідність, діелектрична проникність, динамічна в'язкість та інші [11]. Вибір та об'єднання таких параметрів у найбільш прийнятну кореляційну залежність, що досліджується на різних тестових газових сумішах, які відображають ПГ із різною теплою згоряння, надає можливість отримати емпіричну залежність. За допомогою отриманої залежності здійснюють реєстрацію теплоти згоряння реального ПГ.

Для визначення компонентного складу газових сумішей застосовують оптичні, іонізаційні, електрохімічні та електрофізичні методи.

Прикладами використання кореляційного методу є наступні:

- встановлення кореляційних зв'язків між вимірюваною теплою згоряння ПГ та діелектричною проникністю [12];
- визначення теплоти згоряння ПГ за допомогою визначення швидкості поширення звуку в газі та визначення компонентного складу, а саме CO₂ [13].

Не дивлячись на те, що кореляційні методи є надійними, високоточними та швидкодіючими, вони рідко застосовуються, оскільки вартість їх реалізації є дуже високою, а власно методи досить часто не мають теоретичного обґрунтування.

Висновки

Нині оцінювання теплотворної здатності ПГ в основному базується на хроматографічному та калориметричному аналізах. Водночас, калориметри застосовуються за лабораторних умов із забезпеченням високої точності оцінювання теплоти згоряння ПГ.

Перспективою подальших досліджень є розвиток кореляційних методів визначення теплотворної здатності ПГ із забезпеченням високого рівня кореляції обраних фізико-хімічних властивостей газових проб.

Література

- [1] Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо запровадження на ринку природного газу обліку та розрахунків за обсягом газу в одиницях енергії». [Електронний ресурс]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1850-20#Text>
- [2] Кодекс газотранспортної системи, затверджений постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, від 30 вересня 2015 року №2493, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 06 листопада 2015 року за №1378/27823. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15/>
- [3] Кодекс газорозподільчих систем, редакція від 11.05.2023р. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0851874-23#Text>

- [4] О. О. Назаренко, “Квазидиференціальний кондуктивний калориметр вимірювання теплоти згоряння”, автореф. дис. канд. техн. наук: 05.11.04, НАН України, Ін-т техн. Теплофізики, Київ, 2017.
- [5] RMG. RGQ 5. Gas Quality calorimeter. [Online]. Available: www.rmg.com
- [6] Calorimeter CWD - Flare Gas Monitoring. [Online]. Available: www.union-instruments.com
- [7] ДСТУ ISO 6974-1:2021. Природний газ. Визначення складу із заданою невизначеністю методом газової хроматографії. Чинний від 01.07.2021. Київ: Держспоживстандарт України, 2021.
- [8] ДСТУ EN ISO 6974-2:2021 Природний газ. Визначення складу та пов'язаної з ним непевності методом газової хроматографії. Частина 2. Обчислювання непевності. Чинний від 01.07.2021. Київ: Держспоживстандарт України, 2021.
- [9] RMG. Process gas chromatograph PGC9300. [Online]. Available: <https://osscs.industrystock.com/31541/PGC9300-EN-Leaflet.pdf>
- [10] Jamie Marsden, Fundamentals of gas chromatography, Emerson Automation Solutions. [Online]. Available: <https://asgmt.com/wp-content/uploads/2018/10/014.pdf>
- [11] Х. М. Шинкарук, “Аналіз методів та засобів вимірювання теплоти згоряння природного газу в Україні та за кордоном”, *Методи та прилади контролю якості*, №2 (43), с. 78-87, 2019.
- [12] M. Jaeschke, P. Schley, R. Janssen-van Rosmalen, K. Koreman and H. J. Panneman, “High-Accuracy Energy Determination of Natural Gas Using Physical Properties”, in *Proceedings of 2001 International Gas Research Conference*, Amsterdam, The Netherlands, 2001.
- [13] І. Я. Дарвай, “Експрес-метод контролю якості ПГ”, автореф. дис. канд. техн. наук: 05.11.13, Львів, 2010.

UDC 681.121 (536.66:53.058)

I. Korobko, A. Pysarets, A. Misiats*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine***ASSESSMENT OF METHODS FOR DETERMINING THE NATURAL GAS HEAT OF COMBUSTION**

The shortage of fuel and energy resources, the increase in natural gas prices and the continuous increase in gas consumption indicate the relevance of the issues of measuring the natural gas amount and assessing its quality indicators. Ukraine is implementing the European methodology for calculating gas consumption based on its quality and efficiency. The problem of determining the gas quality in Ukraine requires a thorough assessment and research.

The main physical and chemical indicator of the natural gas quality, which characterizes its energy value, is the specific volumetric gas heat of combustion. The value of this parameter differs for different gas fields. The gas heat of combustion determines the efficiency of its use both in everyday life and in industry.

The aim of the work is to analyze the main methods for determining the calorific value of natural gas.

The gas heat of combustion is determined by calorimetric, chromatographic and correlation methods.

The calorimetric method is characterized by the complexity of the measurement process, complete combustion of the test gas, and long term process. This ensures the objectivity of the results, which is based on taking into account the moisture content of the gas and the presence of non-combustible components in it.

The basis of the chromatographic method is the separation of the components of a gas sample in a chromatographic column. The result is a chromatogram that shows the percentage composition of hydrocarbons in the gas. The characteristic properties of the method are the identification of a wide range of components and the repeatability of the results.

When using correlation methods for determining the heating value of natural gas, various physicochemical parameters of samples are measured (such as total hydrocarbon concentration, heat capacity, acoustic wave propagation velocity, carbon dioxide concentration, thermal conductivity, dielectric constant, dynamic viscosity, and others).

Correlation dependence is based on the choice and association of such parameters. This dependence is studied on different test gas mixtures and allows us to determine the empirical dependence. The mixtures correspond to gases with different calorific values. The obtained empirical dependence is used to register the heat of combustion of real natural gas. The paper evaluates the features of these methods application and instruments based on them.

Key words: natural gas; heating value; heat of combustion; calorimeter; chromatograph.

*Надійшла до редакції
20 квітня 2023 року*

*Рецензовано
24 травня 2023 року*



© 2023 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).