

УДК 631.95

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА

*В. Є. Василенков, кандидат технічних наук, доцент*

*А. Б. Грабарчук, студент*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*e-mail: wasil14@ukr.net*

**Анотація.** Представлена поетапна технологія визначення основного показника енергетичної цінності палива, а саме отримання нижчої теплота згоряння робочої маси палива з урахуванням кислотного утворення.

Наведено методику графо-аналітичного визначення зміни температури, температурного стрибка при калориметричних дослідженнях.

Мета роботи. Експериментальне визначення вищої теплоти згоряння по бомбі для аналітичної проби палива, перерахунок її на нижчу теплоту згоряння.

Теоретична і експериментальна складова калориметричних досліджень здійснювалась на основі принципового устрою калориметричної бомби, визначення вищої теплоти згоряння по бомбі для аналітичної проби палива згідно ГОСТ 147 – 95 ( ИСО 1928 – 76), ГОСТ 10062 – 75, ДСТУ ІСО 1928 : 2006 з послідуочим перерахунком її на нижчу теплоту згоряння. Визначено, що за рахунок реакції утворення азотної кислоти виділяється теплоти (0,001 – 0,0015)  $Q_6^a$  кДж / кг., сірчаної кислоти – 9400 кДж / кг.

**Ключові слова:** температурний стрибок, калориметричний процес, калориметрична бомба, вища, нищча

**Актуальність.** Визначення складу, властивостей і оцінка якості продукції будь-якої галузі промисловості виконується за допомогою технічного аналізу. Але не тільки промисловість, але і агропромисловий комплекс вже сьогодні реально перетворюється на виробництво всіх видів біопалива (твердого, рідкого і газоподібного) зі значним потенціалом у майбутньому, для якого теж потрібно проводити технічний аналіз. Одна із важливих задач цього аналізу є визначення теплотворної властивості біопалив, органічних палив і їх сумішів [1, 2, 3].

Тому технологія і кількісне визначення параметрів теплотворної властивості при калориметричних дослідженнях являє собою одну з головних задач в термодинамічних системах і являється актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Під теплотворною властивістю розуміють теплоту повного згорання одиниці маси речовини. У ній враховуються втрати тепла, пов'язані з дисоціацією продуктів згорання і незавершеністю хімічних реакцій горіння. Теплотворна властивість - це максимально можлива теплота згорання одиниці маси речовини. Теплотворна властивість є важливою характеристикою. Вона дозволяє оцінити і порівняти з іншими максимально можливе тепловиділення тієї чи іншої окислювально-відновлювальної реакції і визначити по відношенню до неї повноту протікання реальних процесів горіння. Знання теплотворної властивості необхідно при виборі компонентів палив і сумішей різного призначення і при оцінці їх повноти згорання.

Розрізняють вищу  $Q_V$  і нижчу  $Q_H$  теплотворні властивості. Вища теплотворна властивість на відміну від нижчої включає теплоту фазових перетворень (конденсації, затвердіння) продуктів згорання при охолодженні до кімнатної температури. Таким чином, вища теплотворна властивість - це теплота повного згорання речовини, коли фізичний стан продуктів згорання розглядається при кімнатній температурі, а нижча - при температурі горіння. Переважна більшість дослідників і практиків у наш час визначають вищу теплотворну властивість твердого і рідкого палив двома шляхами:

1) теоретичним шляхом за даними його елементарного складу. Для цього використовується формула Д.І. Менделєєва для твердого і рідкого палива [2, 3]:

$$Q_H^p = 81C^p + 300H - 26(O^p - S_H^p) - 6(9H^p + W^p), \text{ ккал/кг}$$

де  $C^p$ ,  $H^p$ ,  $O^p$ ,  $S_H^p$ ,  $W^p$  - відповідно вагова кількість вуглецю, водню, кисню, горючої сірки і вологи в робочій масі палива, %.

Для газоподібного палива

$$Q_B^r = 0,01(Q_{CO}CO + Q_{H_2}H_2 + Q_{H_2S}H_2S + Q_{CH_4}CH_4 + Q_{C_2H_6}C_2H_6 + \dots + Q_{C_nH_m}C_nH_m)$$

де  $Q_{CO}$  ;  $Q_{H_2}$  і тому подібне – теплота згоряння кожного газу, що входить в склад палива;  $CO$ ,  $H_2$  і тому подібне – процентний зміст кожного газу в  $1\text{ м}^3$  палива.

Але, як наголошує автор, цією формулою можна користуватися тільки для орієнтовних підрахунків.

2) експериментальним шляхом спалювання наважки палива в калориметрі. Цей спосіб дає найбільш достовірні результати [2]. Визначення вищої теплоти згоряння і підрахунки нищої теплоти згоряння згідно ГОСТ 147 – 95 ( ИСО 1928 – 76), ГОСТ 10062 – 75, ДСТУ ІСО 1928 : 2006

Методику калориметрії використовують при визначенні оцінки енергетичної поживності кормів експериментально - розрахунковим способом [3].

Але навика, методика експериментального визначення вищої теплоти згоряння по бомбі для аналітичної проби палива, перерахунок її на нижчу теплоту згоряння, являє собою одну з головних задач при калориметричних дослідженнях.

**Мета дослідження** – експериментальне визначення вищої теплоти згоряння по бомбі для аналітичної проби палива, перерахунок її на нижчу теплоту згоряння.

**Матеріали і методи дослідження.** Теоретична і експериментальна складова калориметричних досліджень здійснювалась на основі принципового устрою калориметричної бомби, визначення вищої теплоти згоряння по бомбі для аналітичної проби палива згідно ГОСТ 147 – 95 ( ИСО 1928 – 76), ГОСТ 10062 – 75, ДСТУ ІСО 1928 : 2006 з послідуочим перерахунком її на нижчу теплоту згоряння.

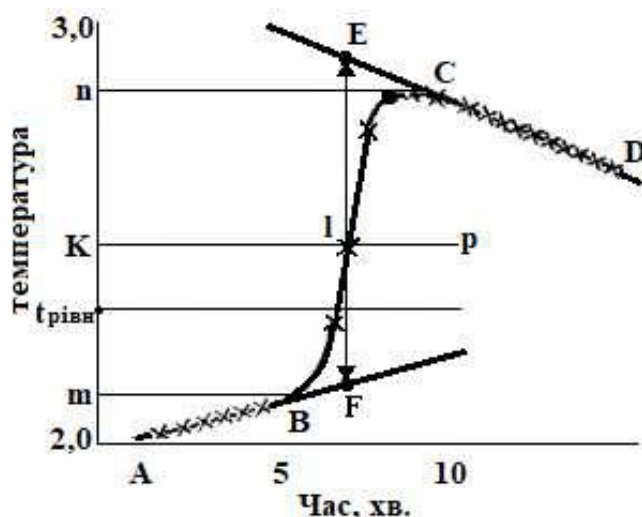
**Результати досліджень та їх обговорення.** Сутність калориметричного методу визначення теплоти згорання полягає в тому, що наважка випробуваного палива спалюється в середовищі кисню під тиском  $29,4 \cdot 10^5$  Па ( $30$  кгс /  $\text{см}^2$ ) в спеціальній камері – калориметричній бомбі, зануреної в калориметричну посудину, заповнену дистильованою водою. Конструкція калориметричної системи і бомби, а також поетапна технологія визначення теплотворної властивості твердого і рідкого біопалив в роботах [4, 5].

Теплота, що виділяється при згорянні наважки, через стінки бомби передається воді калориметричної посудини. Вимірявши підвищення температури води за час досвіду, з рівняння калориметрії (без урахування поправок) визначається питома теплота згорання палива, кДж / кг.

$$Q = \frac{C_i \Delta t}{m}$$

де  $C_i$  - ефективна теплоємність калориметра (зазвичай задається);  $\Delta t$  - зміна температури посудини калориметра при спалюванні наважки палива;  $m$  - маса наважки палива.

Типовий вигляд температурної кривої достовірно поставленого калориметричного дослідження показано на рисунку.



**Рис. Визначення температурного стрибка у процесі калориметричного дослідження**

При графічному визначенні  $\Delta t$  на міліметровому папері на осі абсцис відкладають час у масштабі  $1 \text{ хв} = 1 \text{ см}$ , по осі ординат – температуру, вибір масштабу якої залежить від величини  $\Delta t$ . При  $\Delta t \leq 1^\circ = 10 \text{ см}$ ;  $\Delta t \geq 1^\circ = 5 \text{ см}$ .

Після нанесення всіх експериментальних точок, отримуємо криву АВСД. Відрізок АВ називається початковим періодом, ВС – головним, СД – кінцевим. Для визначення температурного стрибка ( $\Delta t$ ) з урахуванням теплообміну, що відбувається протягом головного періоду, продовжують відрізки АВ і СД до перетину з вертикальною прямою ЕF. Для цього точки m і n, що відповідають початковій і кінцевій температурам головного періоду, наносять на вісь ординат. Через середину відрізка mn проводять лінію КР. Перетин цієї лінії з кривою ВС дасть точку l, що визначатиме положення прямої ЕF. Відрізок ЕF дорівнюватиме  $\Delta t$ , відрізок mn =  $\Delta t'$ . Чим менший температурний хід у початковому і кінцевому періодах, тим менші втрати теплоти за рахунок теплообміну і тим ближче  $\Delta t'$  до  $\Delta t$ . Якщо температурний хід калориметра при працюючій мішалці дорівнює 0, то цей стан відповідає ідеальній роботі калориметра. Характер лінії ВС залежить від умов протікання теплового процесу, нахил лінії АВ і СД залежить від характеру теплообміну з навколишнім середовищем. Таким чином, вигляд кривої АВ і СД свідчить про правильність проведеного дослідження. Нахил температурної кривої змінюється від  $10^{-3}$  до  $10^{-1}$  К/с.

Розрахункова формула для визначення теплоти згорання в бомбі аналітичної проби палива з урахуванням поправок на показання термометра і теплообмін з навколишнім середовищем має вигляд, кДж / кг

$$Q_0^a = \frac{C_i H [(t_K + h_K) - (t_H + h_H) + C_t] - q_1 G_1}{m}$$

де  $G_1$  - маса частини запального дроту, що згоріла, кг;

$$G_1 = G - G_2$$

$G$  - маса запального дроту до початку досліду, кг;  $G_2$  - маса залишку дроту після досліду;  $q_1$  - теплота згоряння запального дроту, кДж / кг (для міді - 2510, константана - 3140, нікеліна - 3240, заліза - 6690)

Сірка, що міститься в паливі, згорає в калориметричній бомбі при більшій кількості кисню, ніж у топках промислових установок, з утворенням  $SO_3$ , а не  $SO_2$ . При цьому  $SO_3$  розчиняється у воді, утворює сірчану кислоту. Тому при спалюванні 1 г сірки в бомбі виділяється теплоти на 9400 кДж більше, ніж у топці.

В бомбі, на відміну від реальних умов згоряння палива в топці, має місце також деяка теплова віддача за рахунок реакції утворення азотної кислоти, пропорційної теплоті спалення  $Q_o^a$ , вона приймається рівним 0,001  $Q_o^a$  для низько калорійного вугілля та антрацитів: 0,0015  $Q_o^a$  – для інших вуглів, торфа та горючих сланців. Вищу теплоту спалювання аналітичної проби палива з урахуванням кислотного утворення визначають за формулою, кДж / кг

$$Q_B^a = Q_o^a - 94S_o^a - (0,001...0,0015)Q_o^a,$$

де  $S_o^a$  -S кількість сірки, яка перетворилася при спалюванні палива в бомбі в сірчану кислоту (визначається при змитті внутрішньої поверхні бомби).

При спалюванні палива з теплотою спалення більше 14650 кДж/кг і загальним вмістом сірки  $S_l^a < 4\%$  замість  $S_o^a$  використовують  $S_l^a$ . При визначенні найвищої робочої теплоти згоряння враховують теплоту, що виділяється при конденсації водяних парів, що містяться в продуктах спалювання палива.

Перерахунок на робочу масу здійснюють за формулою, кДж / кг

$$Q_B^p = Q_B^a \frac{100 - W^p}{100 - W^a},$$

де  $W^p$ ,  $W^a$  - вологість палива на робочу масу аналітичної проби відповідно, %.

При температурі ухідних димових газів вище температури конденсації водяних парів, як це має місце в реальних умовах, теплота конденсації не враховується. У такій ситуації при виконанні теплових розрахунків використовують нижчу теплоту згоряння, кДж/кг

$$Q_H^p = Q_B^p - 25(9H^p + W^p),$$

где 25 – прихована теплота пароутворення 0,01 кг водяного пара, кДж; 9 - коефіцієнт перерахунку вмісту водню в паливі на воду.  $H^p$  визначають з довідкових таблиць для випробуваного палива.

Нижча теплота згоряння робочої маси є основним показником енергетичної цінності палива. Для порівняння енергетичної цінності палив з різною теплотою згоряння введено поняття про умовне паливі з теплотою згоряння 29300 кДж / кг. Тепловий еквівалент палива представляє відношення

$$E = \frac{Q_H^p}{29300}$$

Цією характеристикою зручно користуватися при порівнянні працюючих установок по економічності і іншими показниками.

**Висновки та перспективи.** Представлена поетапна технологія визначення основного показника енергетичної цінності палива, а саме отримання нижчої теплота згоряння робочої маси палива з урахуванням кислотного утворення. За рахунок реакції утворення азотної кислоти виділяється теплоти (0,001 – 0,0015)  $Q_0^a$  кДж / кг., сірчаної кислоти – 9400 кДж / кг.

Наведено методику графо-аналітичного визначення зміни температури, тобто температурного стрибка при калориметричних дослідженнях з урахуванням і без урахування теплообміну з навколишнім середовищем, що дозволяє контролювати правильність поставленого калориметричного досліду і достовірність отриманих результатів із теплотворної властивості палива.

### Список літератури

1. Дубровін В. О. Біопалива (Технології, машини і обладнання) / В. О. Дубровін, М. О. Корчемний, І. П. Масло. – К.: Центр Технічної інформації „Енергетика і електрифікація”, 2004. – 256 с.
2. Швець И. Т. Общая теплотехника / И. Т. Швець, В. И. Голубинский – К.: Вид-во Київського університету, 1963. – 561 с.
3. Костенко В. М. Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин / В.М. Костенко, В.В. Панько, К.М. Сироватко. – Вінниця: РВВ ВДАУ, 2008. – 141 с.
4. Василенков В. Є. Поетапна технологія визначення теплотворної властивості твердого біопалива / В. Є. Василенков // Науковий вісник НУБіП України. – 2010. – Вип. 144, ч.3. – С.157–163.
5. Василенков В. Є. Визначення теплотворної властивості рідкого біопалива / В.Є. Василенков // Вісник Харківського Національного університету с.г. ім. Петра Василенка, вип.93, 2010. – с. 363–367.

### References

1. Dubrovin, V. O., Korchemny, M. O., Maslo, I. P. (2004) Biopalyva (Tekhnolohii, mashyny i obladnannia) [Biofuels (Technology, Machinery and Equipment)]. Kyiv: Tsentr Tekhnichnoi informatsii „Enerhetyka i elektryfikatsiia”, 256
2. Shvets, I.T., Golubinsky, V.I. (1963). Obshchaia teplotekhnika [General heat engineering]. Vydavnytstvo Kyivskoho universytetu, 561
3. Kostenko, V. M., Panko, V. V., Syrovatko, K. M. (2008). Praktykum z hodivli silskohospodarskykh tvaryn [Workshop on feeding farm animals]. – Vinnytsia: RVV VDAU, 141.
4. Vasilenkov, V. E. (2010). Poetapna tekhnolohiia vyznachennia teplotvornoii vlastyvoli tverdoho biopalyva [Phased technology for determining the calorific value of solid biofuels]. Naukovyj visnyk NUBiP Ukrainy. Serija: Tehnika ta enerhetyka APK, 144, 157–163.
5. Vasilenkov, V.E. (2010) Vyznachennia teplotvornoii vlastyvoli ridkoho biopalyva [Determination of the calorific value of liquid biofuels]. Bulletin of Kharkiv National University them Petr Vasilenko, 93, 363–367

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

*В. Е. Василенков, А. Б. Грабарчук*

*Аннотация. Представлена поэтапная технология определения основного показателя энергетической ценности топлива, а именно получения нижней теплота сгорания рабочей массы топлива с учетом кислотного образования. Приведена методика графо-аналитического определения изменения температуры, температурного скачка при калориметрических исследованиях.*



*Цель работы. Экспериментальное определение высшей теплоты сгорания по бомбе для аналитической пробы топлива, перерасчет ее на низшую теплоту сгорания.*

*Теоретическая и экспериментальная составляющая калориметрических исследований осуществлялась на основе принципиального устройства калориметрической бомбы, определения высшей теплоты сгорания по бомбе для аналитической пробы топлива согласно ГОСТ 147 - 95 (ИСО 1928 - 76), ГОСТ 10062 - 75, ГОСТ ИСО 1928: 2006 с последующим перерасчетом ее на низшую теплоту сгорания. Определено, что за счет реакции образования азотной кислоты выделяется теплоты (0,001 – 0,0015)  $Q_0^a$  кДж/кг., серной кислоты - 9400 кДж/кг*

**Ключевые слова:** *теплотворная способность, температурный скачок, калориметрическая бомба, высшая, низшая теплота сгорания топлива*

## **EXPERIMENTAL DETERMINATION OF HEAT OF COMBUSTION OF FUEL**

**V. E. Vasilenkov, A. B. Grabarchuk**

**Abstract.** *A step-by-step technology for determining the main indicator of the fuel's energy value is presented, namely, obtaining the lower heat of combustion of the fuel mass, taking into account the acid formation.*

*The technique of grapho-analytical determination of temperature variation, temperature jump in calorimetric studies is presented. Objective. Experimental determination of the higher calorific value of a bomb for an analytical fuel sample, recalculation of it to a lower calorific value.*

*The theoretical and experimental component of calorimetric studies was carried out on the basis of the principle design of a calorimetric bomb, the determination of the highest calorific value of a bomb for an analytical fuel sample in accordance with GOST 147 - 95 (ISO 1928 - 76), GOST 10062 - 75, GOST ISO 1928: 2006, and then recalculating it to a lower calorific value. It is determined that due to the reaction of nitric acid formation, heat (0,001 – 0,0015)  $Q_0^a$  is released, sulfuric acid - 9400 kJ / kg*

**Key words:** *calorific value, temperature jump, calorimetric bomb, higher, lower heat of combustion of fuel*