

УДК 631.3:621.1

СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОТВОРНОЇ ВЛАСТИВОСТІ ПАЛИВ НА ПРИКЛАДІ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА

В. Є. Василенков, кандидат технічних наук, доцент

А. Б. Грабарчук, студент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: wasill4 @ ukr. net

Анотація. Одним з найважливіших показників, що визначають якість біопалива, а значить їх вартість, є їх теплотворна здатність. Теплотворна здатність визначається вищою теплотою згоряння (вища теплотворна здатність – ВТЗ) або нижчою теплотою згоряння (нижча теплотворна здатність – НТЗ)

Мета роботи – дослідження структури теплотворної властивості палив і вплив складових параметрів на її величину.

Теоретична та експериментальна складова досліджень структури теплотворної властивості здійснювалась на калориметричній установці по визначенню теплотворної властивості твердого і рідкого палив згідно ГОСТ 147 – 95 (ИСО 1928 – 76), ГОСТ 10062 – 75, ДСТУ ІСО 1928 : 2006 Передбачається, що енергія утворюється при горінні сухої беззольної маси. Досліди показали, що теплотворна здатність в значній мірі визначається рівнем вологості, так як випаровування води вимагає витрат енергії, а саме теплотворна властивість твердого біопалива в залежності від відносної вологості може коливатися в межах від 20 МДж/кг при вологості 0 % до 1,5 при вологості 90 %.

Ключові слова: калориметричний процес, калориметрична бомба, вища, нижча теплота згоряння, структура, теплотворна властивість

Актуальність. Органічне паливо складається з горючих речовин, негорючих домішок і вологи. Горючими елементами палива є вуглець, водень і сірка летка. До негорючих мінеральних домішок відносяться кисень, азот, сірка сульфатна, яка входить до складу оксидів, наприклад $FeSO_4$ і зола. При спалюванні палива виділяється певна кількість теплоти, яка залежить від виду спалюваного палива і його кількості. Теплоту, яка виділилася, відносять до 1 кг твердого або 1 м³ рідкого чи газоподібного палив, отримуючи тим самим питому теплоту згоряння. Питому теплоту згоряння прийнято називати просто теплотою

згоряння або теплотворною здатністю палива. Теплота, що виділилася, є хімічною енергією, ув'язненою в одиниці палива. При горінні палива утворюються водяні пари, інші утворення, на утворення яких витрачається частина теплоти палива, тому розрізняють вищу і нижчу теплотворну здатність палива, що дозволяє оцінити і порівняти з іншими максимально можливе тепловиділення тієї чи іншої окислювально-відновлювальної реакції. Тому дослідження утворення структури теплотворної властивості палив і вплив складових параметрів на її величину при калориметричних дослідженнях являється актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Процес горіння палива заснований на хімічній реакції сполучення кисню повітря з горючими елементами палива [1–2]. Внаслідок процесу горіння створюються нові продукти, які називаються продуктами згоряння. Необхідною умовою горіння є нагрівання палива до температури загорання. Розрізняють повне та неповне згоряння горючих елементів палива. При повному згорянні горючих елементів створюється горючий газ та виділяється у вигляді сажі водень і вуглець. При неповному згорянні палива збільшуються витрати тепла з вихідними газами. Газ спалюють тільки в стані руху. Якщо суміш газу із повітрям знаходиться в спокої, то згоряння її проходить миттєво, у вигляді вибуху. Важливою якісною характеристикою палива є його теплота згоряння або теплотворна властивість палива [1–6]. Теплотою згоряння палива називають кількість тепла, яка виділяється при повному згорянні одиниці маси речовини. Теплота згоряння різноманітних видів палива неоднакова [4–6]., залежить від утворення структури теплотворної властивості палива, тому при розрахунках для співставлення різноманітних видів палива та вирішення питання про заміну одного виду палива іншим введено поняття "умовне паливо". Умовним називають таке паливо, теплота якого при згорянні складає 29,3 МДж/кг.

Тому дослідження структури теплотворної властивості, що визначає повноту згоряння палива являє собою одну з головних задач при розрахунку термодинамічних систем.

Мета дослідження – аналіз структури теплотворної властивості палив і вплив складових параметрів на її величину.

Матеріали та методи дослідження ґрунтуються на використанні прямих методів безпосереднього вимірювання теплоти згоряння різних видів палива з застосуванням методів теорії теплообміну, термодинаміки, теплофізики, теорії вимірювань в стаціонарних умовах.

Теоретична і експериментальна складова досліджень теплотворної властивості палив здійснювалась на калориметричній бомбі типу В – 08 М.

Результати досліджень та їх обговорення. Паливо, що подається в топку, називається робочим паливом. До складу органічного палива входять горючі елементи і негорючі домішки (баласт).

Горючі складові твердого та рідкого палива – вуглець С, водень Н, кисень О, сірка органічна S_{op} і сірка колчеданна S_K – утворюють з киснем О і азотом N складні хімічні сполуки. Баластом палив є зола А і волога W. Склад палив виражається у відсотках, віднесених до 1 кг маси. В паливі вуглецю міститься 50-95%, тоді як водню 1-11%, горючої сірки 0-8% [2].

Рівняння складу робочої маси рідкого і твердого палива

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_{op}^P + S_K^P + A^P + W^P = 100\% \quad (1)$$

Склад палива по робочій масі використовують при теплових розрахунках котельних агрегатів.

При класифікації та вивчення властивостей палива користуються поняттями «суха маса палива» і «горюча маса палива». Якщо $W = 0$, то маса палива називається сухою і виражається рівнянням

$$C^C + H^C + S_{op}^C + S_K^C + O^C + N^C + A^C = 100\% \quad (2)$$

Якщо $W = 0$, $A = 0$, то маса палива називається горючою, причому в неї умовно включаються кисень і азот, які не горять. Склад палива називають елементарним, тому

що воно складається із окремих, не сполучених між собою елементів.

Кисень (O) не горить, але сприяє горінню горючих елементів палива. Азот в процесі горіння не приймає участі. Наявність азоту в паливі знижує теплову цінність палива. Кисень та азот створюють внутрішній баланс. Попіл та волога складають зовнішній баланс палива. Попіл представляє собою мінеральний залишок, отриманий при повному згорянні палива. Вміст у паливі попелу та вологи теж знижує теплову цінність.

Характеристика палива за складом його робочої маси являється не стійкою, оскільки для одного й того ж сорту палива в залежності від способу його добування й зберігання вміст в ньому сірки, попелу й вологи може значно коливатись. Тому для характеристики палива користуються складом, який перерахований на суху, горючу та органічну маси палива. Кожна з них має свій склад компонентів. Якщо із робочої маси усунути вологу, отримують суху масу, попіл і вологу - горюча маса, а якщо усунути попіл, вологу та сірку, то отримують органічну масу. Структура теплотворної властивості палива представлена на рис. 1, який ілюструє залежність теплотворної здатності від різних параметрів. Передбачається, що енергія утворюється при горінні сухої беззольної маси. Як можна бачити, теплотворна здатність в значній мірі визначається рівнем вологості, так як випаровування води вимагає витрат енергії рис.2. Аналіз рис.2 показує, що теплотворна властивість твердого біопалива в залежності від відносної вологості може коливатися в межах від 20 МДж/кг при вологості 0 % до 1,5 при вологості 90 %. Сама теплотворна здатність визначається вищою теплотою згоряння (вища теплотворна здатність ВТЗ) або нижчою теплотою згоряння (нижча теплотворна здатність - НТЗ). Величина нижчої або вищої теплоти згоряння може визначатися на одиницю сухого палива (як правило, кг або м³) або на одиницю палива з урахуванням його вологості. Крім вологи, що міститься в паливі, волога також утворюється при згорянні водню. При визначенні значення ВТЗ допускають, що волога конденсується в воду, а при обчисленні значення НТЗ передбачається, що волога знаходиться у вигляді

насиченої пари. Теплотворна здатність зазвичай виражається в МДж/кг. Значення ВТЗ, наприклад деревних пелет зазвичай становить від 17 до 21 МДж / кг [3]. Всі теплотехнічні розрахунки виконуються на робочу масу палива, а довідкова література дає відомості елементарного складу на горючу масу палива. Тому необхідно уміти перераховувати з однієї маси палива на іншу. Перерахунок виконується за допомогою перевідних коефіцієнтів, які є в літературі, але які можна просто визначити, застосувавши наступний прийом.

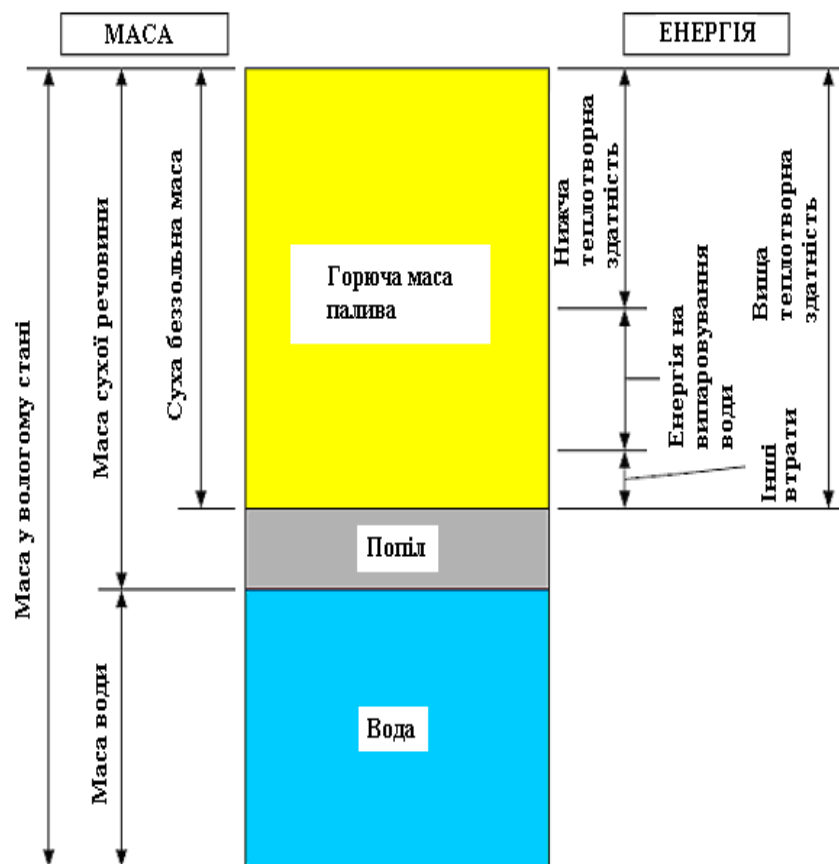


Рис.1 Структура теплотворної властивості

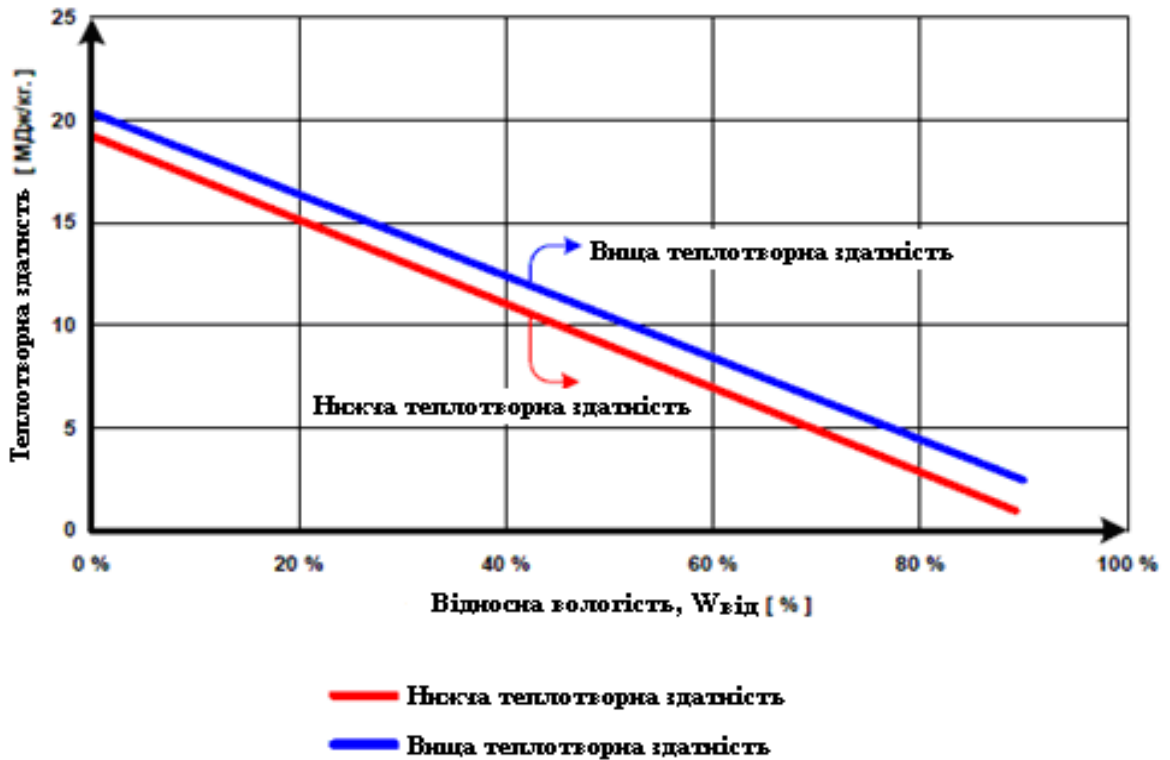


Рис. 2 Вплив вологості на теплотворну здатність

Якщо треба перерахувати елементарний склад з горючої маси палива на робочу, то використовуємо такі рівняння:

$$C^p + H^p + S_n^p + O^p + N^p + A^p + W^p = 100\%,$$

$$C^p + H^p + S_n^p + O^p + N^p = 100\% - (A^p + W^p),$$

$$C^e + H^e + S_n^e + O^e + N^e = 100\%.$$

Прирівнюємо ліві частини останніх двох рівнянь:

$$\frac{C^p}{C^e} = \frac{100 - (A^p + W^p)}{100} \rightarrow C^p = C^e \cdot \underbrace{\frac{100 - (A^p + W^p)}{100}}_K = C^e \cdot K$$

$$H^p = H^e \cdot K$$

$$S_n^p = S_n^e \cdot K$$

$$\frac{\dots\dots\dots}{100\%}$$

1. Визначення складу палива

Задана маса палива	Шукана маса палива		
	Робоча	Суха	Горюча
Робоча	1	$\frac{100}{100 - W^p}$	$\frac{100}{100 - (A^p + W^p)}$
Суха	$\frac{100 - W^p}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^c}$
Горюча	$\frac{100 - (A^p + W^p)}{100}$	$\frac{100 - A^c}{100}$	1

ВТЗ деревних пелет можна визначити за допомогою емпіричної формули [3]:

$$\text{ВТЗ} = 0.3491 \cdot X_C + 1.1783 \cdot X_H + 0.1005 \cdot X_S - 0.0151 \cdot X_N - 0.1034 \cdot X_O - 0.0211 \cdot X_3, \quad (3)$$

МДж/кг,

де X_C – вміст вуглецю (С); X_H – вміст водню (Н); X_S – вміст сірки (S); X_N – вміст азоту (N); X_O – вміст кисню (O); X_3 – вміст золи в відсотках, %.

Як можна бачити з формули, збільшення вмісту С, Н та S збільшує ВТЗ, а збільшення вмісту N, O та золи (попіл) понижує ВТЗ. Слід зазначити, що в середньому підрахована теплотворна властивість на 1,8 % нижче вимірної. Таким чином, можна впливати на вміст вказаних елементів шляхом вибору сировини та його підготовки. Наприклад, відомо, що вміст золи значно більший там, де мається кора дерев.

Висновки і перспективи. На основі теоретичних і експериментальних досліджень представлено структуру теплотворну властивості у ілюстрованому вигляді, зв'язок між її параметрами. Передбачається, що енергія утворюється при горінні сухої беззолної маси. Як можна бачити, теплотворна здатність в значній мірі визначається рівнем вологості, оскільки випаровування води вимагає витрат енергії, а сама теплотворна властивість твердого біопалива залежно від відносної вологості може коливатися в межах від 20 МДж/кг при вологості 0 % до 1,5 при вологості 90 %.

Список літератури

1. Дубровін В. О. Біопалива (Технології, машини і обладнання) / Дубровін В.О., Корчемний М.О., Масло І.П. – К.: Центр Технічної інформації „Енергетика і електрифікація”, 2004. – 256 с.
2. Чернова А. В. Основы теплотехники и гидравлики / А. В. Чернова. – М.–Л.: Изд – во „Энергия“, 1965. – 322 с.
3. Практическое руководство по созданию пелетного производства. По материалам западных публикаций:2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: e-mail: alligno@aha.ru
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. – 2010. – Вип.93. – С. 363–367.
6. Протоколи Української лабораторії якості і безпеки продукції АПК, замовлення № 0805, 0806, 0807 від 19 листопада 2010 р.

References

1. Dubrovin, V.O., Korchemnyi, 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. Chernova, A.V. (1965). Osnovy teplotekhniky y hydravlyky [Fundamentals of heat engineering and hydraulics]. – М. – L. Vyd – vo „Enerhiia“, 1965. – 322 s.
3. Praktycheskoe rukovodstvo po sozdanyiu peletnoho proyzvodstva. Po materialam zapadniakh publykatsyi [A Practical Guide To Pellet Production. according to the materials of the traps of publications]: 2006. Available at: e-mail: alligno@aha.ru
Praktycheskoe rukovodstvo po sozdanyiu peletnoho proyzvodstva. po materialam zapadnykh publykatsyi. 2006. e-mail: alligno@aha.ru
4. Vasilenkov, V.E. (2010). Poetapna tekhnolohiia vyznachennia teplotvornoii vlastyvoli tverdoho biopalyva [Phased technology for determining the calorific value of solid biofuels]. Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy. 144 (3), 157–163.
5. Vasilenkov, V.E. (2010). Vyznachennia teplotvornoii vlastyvoli ridkoho biopalyva [Determination of the calorific value of liquid biofuels]. Visnyk Kharkivskoho Natsionalnoho universytetu s.h.im.Petra Vasylenka, 93, 363–367.
6. Protokoly Ukrainskoi laboratorii yakosti i bezpeky produktsii APK, zamovlennia № 0805, 0806, 0807 vid 19.11.2010. [Protocols of the Ukrainian laboratory of quality and safety of agricultural products] Order no. 0805, 0806,0807 of November 19, 2010.

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОТВОРНОГО СВОЙСТВА ТОПЛИВА НА ПРИМЕРЕ ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА

В .Е. Василенков, А. Б. Грабарчук

Аннотация. *Одним из важнейших показателей, определяющих качество биотоплива, а значит его стоимость, является теплотворная способность. Теплотворная способность определяется высшей теплотой сгорания (высшая теплотворная способность - ВТС) или низшей теплотой сгорания (низшая теплотворная способность - НТС).*

Цель работы - исследование структуры теплотворного свойства топлив и влияние составляющих параметров на его величину. Теоретическая и экспериментальная составляющая исследований структуры теплотворного свойства осуществлялась на калориметрической установке по определению теплотворного свойства твердого и жидкого топлива согласно ГОСТ 147 - 95 (ИСО 1928 - 76), ГОСТ 10062 - 75, ГОСТ ИСО 1928: 2006 Предполагается, что энергия образуется при горении сухой беззольной массы. Опыты показали, что теплотворная способность в значительной степени определяется уровнем влажности, так как испарение воды требует затрат энергии, а именно теплотворное свойство твердого биотоплива в зависимости от влажности может колебаться в пределах от 20 МДж/кг при влажности 0 % до 1,5 при влажности 90 %.

Ключевые слова: *калориметрический процесс, калориметрическая бомба, высшая, низшая теплота сгорания, структура, теплотворная способность*

STRUCTURAL ANALYSIS OF THERMAL FUEL FUEL PROPERTY ON THE EXAMPLE OF SOLID BIOFUEL.

V. Vasilenkov, A. Grabarchuk

Abstract. *One of the most important indicators determining the quality of biofuels, and hence their cost, is their calorific value. Calorific value is determined by the higher calorific value (higher calorific value - PTS) or lower than the heat of combustion (lower calorific value - NTS).*

The purpose of the work is to study the structure of the calorific value of the fuel and the influence of the component parameters on its magnitude. The theoretical and experimental component of the research of the structure of the calorific value was carried out on a calorimetric installation for the determination of the calorific value of solid and liquid fuel according to GOST 147 - 95 (ISO 1928 - 76), GOST 10062 - 75, GOST ISO 1928: 2006 It is assumed that the energy is formed by combustion dry ashless mass. Experiments have shown that the calorific value is largely determined by the level of humidity, since evaporation of water requires energy, namely, the calorific value of solid biofuels, depending on the humidity, can vary from 20 MJ/kg at a moisture content of 0 % to 1.5 at humidity 90 %.

Keywords: *calorimetric process, calorimetric bomb, higher, lower heat of combustion, structure, calorific value*