

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ СОЛОМЫ ЛЬНА

Виктор Василенков, Максим Гудзенко

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Viktor Vasilyenkov, Maksym Gudzenko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Обоснованы калориметрические исследования для определения удельной теплоты сгорания твердого топлива. Представлены результаты экспериментального исследования определения энергетической ценности соломы льна.

Ключевые слова: солома, лен, теплота сгорания, калориметрическая бомба, эксперимент.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Топливо является одним из источников тепловой энергии. Под топливом понимают вещество, при горении которого выделяется значительное количество тепла и которое по техническим, санитарно-гигиеническим и экономическим соображениям выгодно сжигать в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте.

В Украине и других странах мира довольно актуальным стал вопрос замены традиционных ископаемых видов топлива на альтернативные. Это обусловлено прежде всего исчерпаемостью ресурсов традиционных энергоносителей, а также необходимостью охраны окружающей среды [1]. Развитие биоэнергетики очень актуально для Украины с ее значительным потенциалом биомассы, доступной для получения энергии. Экономически целесообразен потенциал биомассы оценивается до 27 млн. т.у.т./год. [2, 3].

Среди альтернативных источников энергии, важное место занимает твердое биотопливо, в частности солома сельскохозяйственных культур [4, 5]. Отечественный потенциал по соломе огромен. Необходимо учесть, что солома представляет собой очень дешевый возобновляемый источник энергии, причем сырье это появляется в большом ко-

личестве при переработке сельскохозяйственной продукции. Говоря о соломе, мы имеем в виду не только пшеничную солому, но и все виды отходов растениеводства такого рода. Учитывая то, что такие отходы возникают ежегодно в больших объемах и используются крайне ограниченно и нерационально (предварительно измельченная солома просто запахивается или сжигается на поле) довольно актуальным становится вопрос применения соломы как энергетического сырья.

О достоинствах соломы как топлива, в настоящий момент научные сотрудники заявляют все больше. В мировой практике уже накоплен значительный опыт по внедрению различных технологий приготовления соломы к сжиганию. Рационально солому сжигать в виде брикетов, прессованных рулонов или тюков [3, 6, 7]. Сегодня это – новый и прибыльный бизнес, ведь рынок сбыта такой продукции очень широк – от охвата отечественных потребителей до экспорта в страны ЕС, где их используют на протяжении длительного времени [8].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Большой ассортимент соломы и прессованной биомассы из различных видов сырья представленный сегодня на рынке на выбор потребителя имеет как и любой другой товар свою цену и качественную оценку.

Основным показателем экономической оценки топлива вместе с другими данными технического анализа является его теплота сгорания.

Теплота сгорания топлива – основная теплотехническая характеристика, определяющая его энергетическую ценность и

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ СОЛОМЫ ЛЬНА

представляет собой количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании единицы массы твердого или жидкого топлива, или единицы объема газообразного топлива [9].

Теплоту сгорания определяют двумя методами: расчетным и экспериментальным. Расчетный метод определения теплотворной способности топлива, основанный на элементном составе образца, рассчитываемый по эмпирической формуле Д.И. Менделеева [10–12]. Однако, расчетные методы определения удельной теплоты сгорания для твердого и жидкого топлива рекомендуется использовать только для оценочных расчетов и для контроля качества результатов экспериментального метода, так как применение этой формулы дает приближенный результат [10].

В настоящее время отечественных печатных научных работ по экспериментальному определению теплотворной способности исследуемых образцов биомассы практически нет. В основном представлены работы в которых упоминаются общие значения теплотворной способности конкретных исследуемых образцов [13]. Следует отметить, что калориметрические измерения более широко применяются в российских университетах при проведении научных и учебных лабораторных работ [14-18].

Предложенная в работе [18] методика экспресс-анализа жидких и газообразных топлив для оперативной оценки теплотворной способности любого вида топлива, как полученного из нефти, так и топлив, получаемых из растительного сырья или органических продуктов. Однако, эта методика не применяется для оценки теплотворной способности твердого топлива, а всего лишь представлена как альтернатива дорогостоящим калориметрам.

В предыдущей работе [19] авторами указывались причины ограниченного использования калориметрических бомб и потери базовых знаний навыков работы с ними.

В Украине благодаря деятельности компании Linen of Desna ("Деснянский лен") Мишеля Терещенко инициирован проект по возобновлению выращивания и переработки льна. Компания «Linen of Desna» – одно из крупнейших предприятий Украины, работа-

ющих по полному циклу производства, начиная с выращивания льна, первичной переработки льнотресты и заканчивая производством натурального льняного шпагата и веревки.

Лен это еще и костра – стебли и листья, которые составляют 60-65% объема растения [20]. Из костры можно получать биомассу, которая используется на льнозаводах, как топливо для котельных установок, а также на хозяйственные нужды населения. Такой высокий процент образования костры предполагает её дальнейшее эффективное использование на топливные пеллеты, мульчу для садоводства, подстилку для лошадей и других домашних животных.

Перспективным производством в компании рассматривают производство топливных брикетов из костры льна [21].

Учитывая последние тенденции наращивания мощностей компании по выращиванию и переработки льна, мы сочли актуальным провести исследования по определению теплотворной способности стеблей льна на предмет использования в качестве твердого биотоплива.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью наших исследований является определение теплотворной способности исследуемых образцов льна на предмет использования в качестве твердого биотоплива.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальный метод определения энергетической ценности топлива или его теплоты сгорания является наиболее точным способом, который производится в лабораторных условиях с использованием специального прибора, так называемой калориметрической бомбе. На кафедре теплоэнергетики в Национальном университете биоресурсов и природопользования Украины для научных исследований по определению энергетической ценности (теплоты сгорания) твердого и жидких топлив используется экспериментальная лабораторная калориметрическая установка.

Описание экспериментальной лабораторной калориметрической установки.

Экспериментальная установка для определения теплоты сгорания твердого и жидкого топлива состоит из следующих деталей и узлов (рис. 1): калориметрической бомбы 1; калориметрического стакана 15; оболочки калориметра 2 с укрепленной на ней мешалкой 6 и передаточным механизмом, подставки для калориметрического стакана 16; щитка панели с электромотором, реостата, трансформатора, контрольной лампочки и выключателя, метастатического термометра (термометра Бекмана) 14; кислородного баллона с манометром и редуктором, соединительных трубок. Калориметрическая оболочка 2 является массивным двустенным с двойным дном баком. Стенки и днище бака изготовлены из латунного листа толщиной 1,2 мм. Поверхность внешнего цилиндра оболочки и поверхность внутреннего цилиндра служит для помещения калориметрического стакана 16, отполированные и никелированные с глянцем для уменьшения теплообмена посредством излучения с окружающей средой.

Внутреннее пространство оболочки 2, образованное внешним и внутренним цилиндрами, заполняется водой. Вода предназначена для уменьшения теплообмена сосуда с внешней средой и предохранения от случайных неправильных температурных изменений во внешней среде. Для наполнения оболочки водой на ее верхней поверхности имеется специальное отверстие, служащее также для размещения термометра. Обода обеспечены крышкой 4, изготовленной из гетинакса. Крышка сделана из двух половин, в месте стыка их три отверстия, предназначенные для метастатического термометра, стержня мешалки и токоподводящих проводов.

На оболочке установлены две втулки 3, которые служат для размещения в них стойки 6, кронштейна 9. Кронштейн служит для закрепления механизмов и приспособлений, приводящие в движение вертикальную мешалку 6.

Мешалка служит для перемешивания воды в калориметрическом стакане. Мешалка получает поступательное движение от шатуна 11 укрепленного на эксцентрике 10, который жестко связан с маховиком 8. Стержень мешалки через муфту соединен со стержнем

7, который свободно движется в направляющих отверстиях кронштейна 9 и связан с шатуном 11 с помощью муфты 12 и закрепляющих винтов.

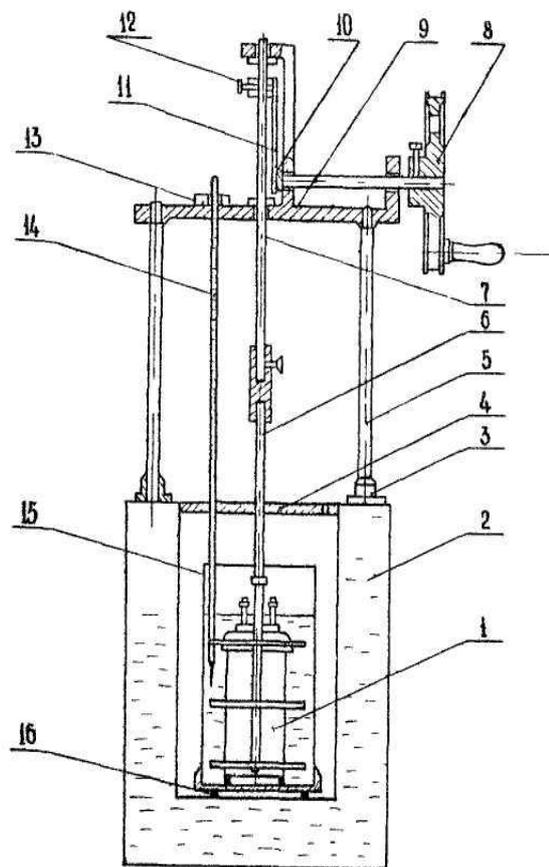


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – калориметрическая бомба; 2 – оболочка калориметра; 3 – втулка; 4 – крышка; 5 – стойка; 6 – мешалка; 7 – стержень; 8 – маховик; 9 – кронштейн; 10 – эксцентрик; 11 – шатун; 12 – муфта; 13 – зажим; 14 – метастатический термометр; 15 – калориметрический стакан; 16 – подставка

Fig. 1. The experimental setup

Калориметрический стакан 16 является мягким тонкостенным металлическим стаканом правильной цилиндрической формы, в который наливается дистиллированная вода и погружается калориметрическая бомба 1. Калориметрический стакан помещается в оболочку на специальной подставке 16, изготовленной из теплоизоляционного материала фибры и эбонита. Подставка позволяет создать хорошую теплоизоляцию калориметрического стакана от оболочки.

Описание процесса калориметрического опыта. Калориметрические измерения, как правило, состоят в наблюдении за изменени-

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ СОЛОМЫ ЛЬНА

ем температуры калориметрической системы во время опыта.

При проведении опытов испытывались четыре образца льна: костра льна, солома льна, треста льна, волокна льна.

Результаты определения теплотворной способности исследуемых образцов льна записывались согласно описанной методике в работе [19]. В таблице 1 представлены результаты протокола опыта показаний по шкале термометра в периодах для волокна льна. Соответственно на рисунке 2 представлены результаты изменения температуры в ходе калориметрического опыта для волокна льна.

Из представленных результатов видно, что опыт делится на три этапа: начальный (служит для учета теплообмена калориметрической системы с окружающей средой в условиях начальной температуры испытания); главный (в течение которого происходит сгорание навески и передача тепла калориметрической системе); конечный (определяли теплообмен установки с окружающей средой в условиях конечной температуры испытания).

Установлено, что при температуре 25,8 °С происходит выравнивание температуры калориметрической системы и окру-

жающей среды. Эта температура является началом главного периода, когда воспламеняется испытуемый образец из навески льна. Из таблицы видно, что главный период длится 11 полуминутных периодов, что составляет 330 секунд. Рисунок 2 показывает, что температурный скачок для навески льна составляет 0,95 °С, что указывает на то что данный вид биотоплива будет быстро сжигаться (быстрое поднятие температуры (более 0,3 °С) наблюдается только в двух полуминутных отрезках от 25,8 до 26,1 и от 26,1 до 26,5°С). Конечный период характеризуется спокойным уравниванием температур с окружающей средой.

Результаты определения теплотворной способности всех исследуемых образцов льна показаны в таблице 2. Анализ таблицы показывает, что наибольшую теплотворную способность имеет костра льна, что составляет 13501 кДж/кг. Наименьшую теплотворную способность имеют треста льна 8302 кДж/кг. Поэтому рекомендуется в качестве исходного материала для твердого биотоплива использовать костру льна. Также рекомендуется с целью организации безотходного производства указанные образцы смешивать между собой и получать многокомпонентное биотопливо.

Таблица 1. Протокол опыта показаний по шкале термометра в периодах для волокна льна
Table 1. Protocol of experience of testimonies on the scale of thermometer in periods for flax fiber

Номер измерения	Показания по шкале термометра в периодах, °С		
	Начальный период	Главный период	Конечный период
0	26,20	25,80	26,75
1	26,00	26,10	26,75
2	25,90	26,50	26,75
3	25,90	26,70	26,70
4	25,90	26,70	26,70
5	25,85	26,70	26,70
6	25,80	26,70	26,70
7	25,80	26,70	26,70
8	25,80	26,75	26,70
9	25,80	26,75	26,70
10	25,80	26,75	26,70
11	–	–	–

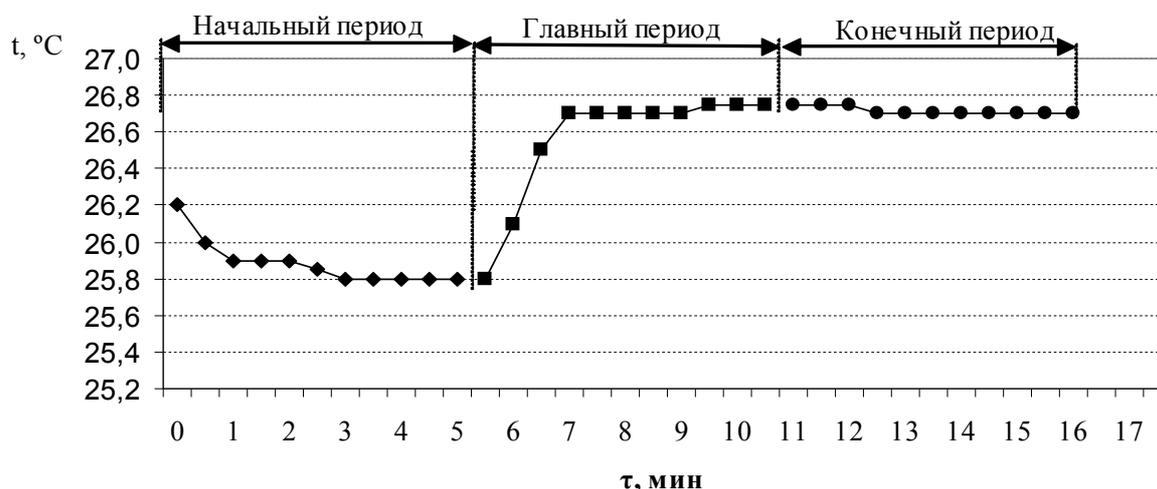


Рис. 2. Результаты изменения температуры в ходе калориметрического опыта для волокна льна

Fig. 2. The results of temperature change during the calorimetric experiment for flax fiber

Таблица 2. Результаты определения теплотворной способности исследуемых образцов льна
Table 2. The results determine the calorific value of the samples of flax

Название образцов	Наименование показателей, единицы измерений	
	Высшая теплота сгорания рабочего образца, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ $\frac{\text{кКал}}{\text{кг}}$	Низшая теплота сгорания рабочего образца, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ $\frac{\text{кКал}}{\text{кг}}$
костра льна	14697	13501
	3514	3230
солома льна	14482	12678
	3463	3034
треста льна	9407	8302
	2249	1986
волокна льна	10806	9186
	2584	2198

ВЫВОД

Наибольшую теплотворную способность имеют костра льна что составляет 13501 кДж/кг. Наименьшую теплотворную способность имеют треста льна 8302 кДж/кг. Поэтому рекомендуется в качестве исходного материала для твердого биотоплива использовать костру льна. Также рекомендуется с целью организации безотходного производства указанные образцы смешивать между собой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Biomasa plan dlya Ukraini (proekt). 2008: K. NTC – "Biomasa". 43. Yermilov S.F. Derzhavna energetychna polityka v ukrainskomu ta evropejskomu konteksti / S.F. Yermilov //

Rezhym dostupu: http://www.ief.org.ua/Arjiv_EP/Ermilov.

2. Jech J. 2008: Suszenie ziarna energia uzyskana ze spalania biomasy // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 10. – 60–66.

3. Bioenergiya 2009: Bioenergiya v Ukraini – Naukovo-metodichni rekomendatsii shchodo vprovadzhennya peredovogo dosvidu agramikh pidpriemstv Polshchi, Litvi ta Ukraini zi stvorennya novitnikh obyektiv bioenergetiki, yefektivnogo virobnitstva i vikoristannya biopaliv: [Nauk.- metod. rekomend.] / [V.O. Dubrovin, M.D. Melnichuk, Yu.F. Melnik, V.G. Mironenko ta in.]. – K.: NUBiP Ukraini; Institut budivnitstva, mekhanizatsii ta yelektrifikatsii silskogo gospodarstva, Polshcha, Institut agrarnoi inzhenerii, Litva. – 122.

4. Boyarchuk V. 2012: Ocinka energoefektyvnosti tehnologii vykorystannia solomy ripaku v

- energetychnykh ciliah. // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 14. No.4. – 11–15
5. Kravchuk V.I., Posibnyk. 2013: Tehnologii ta obladnannia, dlya vykorystannya ponovlyuvalnykh dzherel v silskogospodarskomu vyrobnyctvi – Doslidnycke: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – 184.
6. Biopaliva 2004: Biopaliva (tehnologii, mashini i obladnannya) / [Dubrovin V.O., Korchemniy M.O., Maslo I.P. ta in]. – K.: Tsentr tekhnichnoi informatsii „Energetika i yelektrifikatsiya”. – 256.
7. Polishchuk V., Dubrovin V., Polishchuk A. 2012: Aternativnyye dizelnyye topliva // Motrol. Commission of motorization and Energetics in agriculture. – Lublin-Kiev – Simferopol–Mykolaiv–Lviv–Rzeszow. – Vol. 14, No 3,–20–31.
8. Pellety iz solomy. Rezhym dostupu: <http://ekoterm-krym.com.ua/a52830-pellety-solomy.html>
9. Grigoryev K.A., Rundygin Yu.L., Trichenko A.L. 2006: Tekhnologiya szhiganiya organicheskikh topliv. Energeticheskiye topliva: Ucheb. posobiye. – SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta. – 92.
10. Zikeyev T.A., Korelin A.I. 1948: Analiz energeticheskogo topliva. – M.-L.: Gosenergoizdat. – 328.
11. Mendeleev D.I. Sochineniya: nauchnoye izdaniye. 1949: T. Khl / D.I. Mendeleev; red. V.G. Khlopin; Akademiya nauk SSSR. – L.; M.: Akademiya nauk SSSR. – 584.
12. Teplotekhnika 1976: Teplotekhnika / I.T. Shvets, V.I. Tolubinskiy, A.I. Alabovskiy i dr.-K.: Vyssh. shk. – 518.
13. Rod'kin O.I. Jekologicheskaja ocenka i potencial ispolzovaniya solomy zernovykh kultur v kachestve biotopliva. Rezhym dostupu: <http://economics.ihbt.ifmo.ru/file/article/7067.pdf>
14. Kiryanov K.V. 2007: Kalorimetricheskiye metody issledovaniya. Uchebno-metodicheskiy material po programme povysheniya kvalifikatsii «Sovremennyye metody issledovaniya novykh materialov elektroniki i optoelektroniki dlya informatsionno–telekommunikatsionnykh sistem». – Nizhniy Novgorod. – 76.
15. Laboratornaya 2011: Laboratornaya rabota po kursu: Osnovy khimicheskoy fiziki. Termokhimiya. Opredeleniye teploty sgoraniya organicheskikh soyedineniy / Prostov V.N., Zubtsov D.A., Zubtsova Zh.I., Yavorskiy V.A. M.: Moskovskiy fiziko-tekhnicheskii institut. – 16.
16. Kalorimetriya 2001: Kalorimetriya. Metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh rabot po fizicheskoy khimii / Gorokhovskiy A.V., Yefanova V.V., Simakov V.V., Seryanov Yu.V. – Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. – 12.
17. Vorobyev L.I., Grishchenko T.G., Dekusha L.V. 1997: Bombovyeye kalorimetry dlya opredeleniya teploty sgoraniya topliva // Inzhenemo-fizicheskii zhurnal. – Tom 70, №5. – 828–839.
18. Holmanski A.S. Jekspress-analiz teplotvornoj sposobnosti topliv. Rezhym dostupu: <http://technic.itizdat.ru/Uploads/aholy/FIL13606659670N051887001.pdf>
19. Vasilenkov V., Gudzenko M. 2013: Usovershenstvovanie analiza i obrabotki poluchennykh dannykh pri kalorimetricheskikh issledovaniyakh // Motrol. Commission of motorization and Energetics in agriculture. – Lublin-Kiev–Simferopol–Mykolaiv–Lviv–Rzeszow. – Vol. 15, No 3,–125–130.
20. Kostra. Rezhym dostupu: <http://linenofdesna.com/ru/produkcziya/kostra.html>
21. Toplivnyye brikety iz kostry l'na. Rezhym dostupu: <http://linenofdesna.com/ru/produkcziya/iz-kostrilna.html>

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES DETERMINING THE ENERGY VALUES STRAW FLAX

Summary. Substantiated calorimetric studies to determine the specific heat of combustion of solid fuels. Experimental results on determining the energy value of straw.

Key words: straw, flax, heat of combustion, bomb calorimeter experiment.