

В. Ф. Сіренко, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

В Україні виникла необхідність переходу від викопних органічних енергетичних ресурсів до альтернативних видів палива. Найбільш доступним і нешкідливим з них є деревина.

Для використання деревини в якості палива необхідна розробка технологій для заготівлі і підготовки до спалювання дров. Кількість перероблюваної деревини безпосередньо залежить від кількості теплоти, що може бути отримано з одиниці маси дров. Інструментальне визначення цієї величини вимагає тривалого часу і спеціального обладнання.

Завдання цієї статті – формулювання уточненої методики обчислення питомої теплоти згоряння деревини різних порід дерев з різним ступенем вологості. В основу визначення цього параметра покладена теплота згоряння абсолютно сухої деревини. Кількість абсолютно сухої речовини в заданому обсязі не змінюється. Частина теплової енергії витрачається на нагрівання вологи в деревині, її випаровування і подальший нагрів водяних парів. Витрата цієї частини теплової енергії залежить від вологості дров.

Розроблена методика переходу від масових показників обсягу укладених дров. У підсумку, для розрахунку теплотворності дров необхідно знати тільки 3 величини: щільність абсолютно сухої деревини заданої породи дерев, спосіб укладання дров при продажу і виміряти вологовміст дров.

За допомогою розробленої методики були визначені енергетичні та економічні характеристики різних видів твердого палива для котелень Сумського національного аграрного університету. Виконано порівняння з природним газом. Вартість одиниці енергії для дров в 3 – 4 рази менше, ніж для газу.

Ключові слова: альтернативне паливо, дрова, питома теплота згоряння, вологість деревини, спосіб укладки дров, економічні характеристики палива.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Останнім часом в Україні стало життєво необхідним переходити в системах опалення, і навіть в деяких технологічних процесах, на використання альтернативного палива – деревини. Як переваги, так і недоліки цього виду палива загальновідомі [3,4]. Вирішальним фактором використання деревини як палива, є мінімальна кількість шкідливих викидів, доступність. До мінусів слід віднести невизначеність енерговмісту в залежності від породи деревини та вологості, збільшення трудозатрат на заготівлю і підготовку до спалювання і, відповідно, змінна вартість одиниці енергії. Тому є необхідність уніфікації в підрахунках теплотворної здатності дров. Експериментальне визначення цього параметру вимагає складного обладнання і тривалого часу на досліді.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Так склалося, що при реалізації дрова відпускають не на вагу, а на складометри. Складометр можна представити як куб (1 метр-висота, 1 метр-глибина, 1 метр-ширина) щільно укладених дров. 1 скл. / М. - Це близько 0,70 кубометра щільної деревини [5, 8]. В той же час теплоенергетичні показники дров визначаються відносно одиниці маси, тобто на 1 кілограм [3, 4]. В останніх публікаціях, розташованих в інтернеті [6, 7] виконуються детальні дослідження і розрахунки для теплотворної здатності деревини в масових і об'ємних величинах для різних порід дерев і різної ступіні вологості. Суттєвим недоліком цих публікацій є те, що не враховується відмінність між об'ємами суцільної деревини і складометрами. Інший недолік – це вирахування нижшої теплотворності дров за наближеними виразами, які

дають значні відхилення від теоретичної формули Менделєєва і не враховують фізичної суті спалювання вологих дров.

Формування цілей статті. Сформулювати єдину уточнену методичку визначення енергетичної цінності альтернативного твердого палива – деревини для різних порід, вологості, різних методів визначення їх кількості.

Виклад основного матеріалу досліджень. Теплотворна здатність дров Держстандартом України та Росії не нормована, лише дрова розбиті на три групи за теплотворною здатністю [1]:

- 1 – береза, бук, ясень, граб, в'яз, клен, дуб;
- 2 – сосна, вільха;
- 3 – ялина, кедр, піхта, осика, липа, тополь,

верба;

без вказівок величин виділення тепла при горінні і без врахування впливу вологості та займаного об'єму.

В проведених нами розрахунках за основу була взята величина теплотворної здатності абсолютно сухої деревини вирахованої по середньому молекулярному складу.

Вища (абсолютна) теплотворність 1кг деревини мало залежить від породи дерева, принципово дорівнює величині абсолютної (вищої) теплотворної здатності деревинної речовини і дорівнює ≈ 4753 ккал/кг.

Хід розрахунку:

Вища теплотворна здатність (ВТЗ) деревини визначається як сума теплоутворення при згорянні всіх її окремо взятих хімічних елементів і обчислюється за формулою Менделєєва:

$$Q_{ВТЗ} = 81C + 300H - 26O \quad (1)$$

де С, Н і О – процентний вміст в паливі вуглецю, водню і кисню.

Склад деревної речовини для будь-якої породи дерева: 49,5% вуглецю, 6,3% водню, 44,1% кисню.

Відповідно, отримаємо:

$$Q_{ВТЗ} = 81 \times 49,5 + 300 \times 6,3 - 26 \times 44,1 = 4752,9 \text{ ккал/кг.}$$

Теплотворна здатність вологої деревини під час горіння в топці значно зменшується внаслідок нагріву вологи, що знаходиться в дровах, її випаровування та нагрівання водяної пари до температури димових газів. Алгоритм розрахунку продемонструємо при визначенні енергетичної цінності деревини при вологості 40%

Для дров з відносною вологістю 40% (сирі дрова)

розрахункова маса дров 1кг, в т. ч.- сухої пальної речовини 0,6 кг, води 0,4 кг.

Теплота згоряння деревини 4752.9 ккал/кг х 0,6 кг = 2852 ккал.

Розрахуємо теплоту, яку треба витратити на нагрівт=0,4 кг води до 100°C, а потім – на перетворення в пару і розігрів пари до температури 800 °C :

Нагрівання води від 20°C до 100°C:

$$Q_B = mc_B \Delta t, \quad (2)$$

де $c_B=1$ ккал/кг°C - теплоємність води;
 $\Delta t=80^\circ\text{C}$ - різниця температур при нагріві во-

ди.

Пароутворення:

$$Q_{\Pi} = mr, \quad (3)$$

$r=539$ ккал/кг – теплота пароутворення води.
Розігрів пари до 800°C:

$$Q_{\Pi\Pi} = mc_{\Pi} \Delta t_{\Pi}, \quad (4)$$

де $\Delta t_{\Pi}=800 - 100=700^\circ\text{C}$ – величина нагріву водяної пари;

$c_{\Pi}=0,51$ ккал/кг°C – теплоємність водяної пари.

Теплотворна здатність дров :

$$Q_D = Q_{ВТЗ} - Q_B - Q_{\Pi} - Q_{\Pi\Pi}. \quad (5)$$

Розрахунок за алгоритмом дає такий результат:

$$Q_B = 1 \times 80 \times 0,4 \text{ кг} = 32 \text{ ккал};$$

$$Q_{\Pi} = 0,4 \times 539 = 216 \text{ ккал};$$

$$Q_{\Pi\Pi} = 0,4 \times 700 \times 0,51 = 143 \text{ ккал};$$

$$Q_D = 2852 - 32 - 216 - 143 = 2461 \text{ ккал.}$$

Результати розрахунку для діапазону вологості 0-70 % занесені в таблицю 1.

Таблиця 1.

Вологість дров (%)	Масова робоча теплотвірність, ккал/кг	Ступінь вологості
0	4753	Абсолютно суха деревина
10	4181	Кімнатно-суха
20	3595	
30	3035	Повітряно-суха
40	2461	Свіжозрубана
50	1888	
60	1359	Сплавна
70	Практично не горить	

На практиці нас більше цікавить об'ємна енергетична цінність дров, що купуються в м³. Тому що дрова ніхто не зважує.

Найчастіше дрова ми придбаємо на складометри, тоді для перерахунку в об'єм суцільної деревини використовуються перевідні коефіцієн-

ти, що наведені в додатку до ГОСТ 3243-88 «Дрова».

Для можливості отримання більш достовірних значень теплотворної здатності заготовлених дров наводимо цю таблицю 2 в повному обсязі.

Таблиця 2.

Довжина, м	Коефіцієнт повнодеревності							
	Хвойні породи				Листяні породи			
	Круглі		Розколоті	Суміш круглих та поколотих	Круглі		Розколоті	Суміш круглих та поколотих
Тонкі	Середні	Тонкі			Середні			
0,25	0,79	0,81	0,77	0,77	0,75	0,80	0,76	0,76
0,33	0,77	0,79	0,75	0,75	0,72	0,78	0,74	0,74
0,50	0,74	0,76	0,73	0,73	0,69	0,75	0,71	0,71
0,75	0,71	0,74	0,71	0,72	0,65	0,72	0,69	0,69
1,00	0,69	0,72	0,70	0,70	0,63	0,70	0,68	0,68
1,25	0,67	0,71	0,69	0,69	0,61	0,68	0,67	0,67
1,50	0,66	0,70	0,68	0,68	0,60	0,67	0,65	0,66
2,00	0,64	0,68	0,66	0,67	0,58	0,65	0,63	0,65
2,50	0,62	0,67	0,64	0,66	0,56	0,63	0,62	0,64
3,00	0,61	0,65	0,63	0,65	0,55	0,62	0,60	0,63

Для наших умов – кругляк довжиною біля 1м - цей коефіцієнт дорівнює 0,7.

Щоб з'ясувати вплив вологості дров звернемо увагу на той факт, що при зміні воло-

говмісту від 15 до 50% деревина дуже мало змінює лінійні розміри, не більш 3%[3]. Тобто при насиченні вологою заповнюються порожнини в міжволоконному просторі.

Використовуючи дані густини ρ кг/м³ деяких порід дерев для абсолютно сухого стану, що наведені в довідковій літературі[2], легко визначити вологовміст X в кг/м³ суцільної деревини для різних значень масової вологості $A\%$ за формулою

$$X = \frac{\rho A}{1 - A} \quad (6)$$

Далі розрахунки теплотворної здатності одиниці об'єму дров проводимо за раніше наведеною методикою. Результати підрахунків для сосни, $\rho=470$ кг/м³ та для берези $\rho=620$ кг/м³ наведені в таблиці 3.

Таблиця 3.

Вологість, %	Об'ємна теплотворна здатність дров, ккал/дм ³	
	Сосна	Береза
На об'єм суцільної деревини		
0	2234	2947
15	2153	2840
20	2120	2796
30	2040	2688
40	1923	2544
50	1775	2342
На об'єм складеної деревини (складометри)		
0	1564	2063
15	1507	1988
20	1484	1957
30	1428	1882
40	1346	1781
50	1242	1639

Отримані результати мають менші значення порівняно з раніше підрахованими по наближеній формулі Надежина, що сприяє більш точному визначенню витраті палива і створенню надійного запасу палива.

Енерго-економічні характеристики палива для котелень СНАУ

Отримані результати розрахунків дали можливість визначити фактичну теплотвірну здатність придбаних дров для використання в котельних СНАУ і порівняти їх з іншими видами палива.

При розрахунках величин в таблиці 4 показників палива за вихідні дані були взяті:

Ціна всіх видів палива (станом на листопад 2015 року) – із документації СНАУ.

Теплотворна здатність природного газу-енергетична служба СНАУ.

Теплотворна здатність торфобрикетів та напівбрикетів ізДСТУ 2042-92 та ГОСТ 54248-2010 Російської Федерації «Брикеты и пеллеты (гранулы) торфяные для коммунально-бытовых нужд. Технические условия.»

Таблиця 4.

Паливо	Теплотворна здатність				Ціна палива		Вартість одиниці енергії		Показник зменшення вартості палива до газу (в рази)
	МДж/кг	Ккал/кг	МДж/м ³	Мкал/м ³	Грн/кг	Грн/м ³	Грн/МДж	Грн/Мкал	
Газ природний	-	-	35,1	8,370	-	8,959	0,2552	1,07	1
Дрова, береза, вологість 30% на складометр	12,72	3036	9222	1882	-	500	0,0542	0,2657	4,03
Дрова, береза, вологість 50% на складометр	7,91	1887	6867	1639	-	500	0,073	0,3051	3,51
Напівбрикет, торф, вологість 25%	12,6	3000	-	-	1,2	-	0,095	0,4	2,67
Торфобрикет, вологість 20%	14,9	3556	-	-	1,9	-	0,127	0,534	2

Висновки. Обґрунтовано застосування альтернативного палива. Розроблена уточнена і швидка методика визначення основного показника палива – питомої тепловіддачі палива, відне-

сеної до одиниці об'єму складеного метра. Виконаний порівняльний аналіз енергетичної ефективності найбільш використовуваних видів твердого палива і природного газу.

Список використаної літератури:

1. ГОСТ 3243-88. Дрова. Технические условия.
2. Справочник по массам авиационных и других материалов (весовые характеристики) : в 6-ти т. / Л. И. Глезер, Я. И. Заяц, П. И. Чудаков . – 4-е изд., перераб. и доп. Т.6: Неметаллические материалы. Приложения – М. : Машиностроение, – 1975 . – 144с..
3. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. Учебник для лесотехнических вузов. / Б.Н. Уголев— 4-е изд. — М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. — 340 с.

4. Щеголев М.М. Топливо, топки и котельные установки. / М.М.Щеголев– М.: Государственное издательство по строительству и архитектуре, 1953 – 544 с.
5. Энциклопедия русского сельского хозяйства и соприкасающихся с ним наук. Том VII. С. Петербург. 1902 год .
6. <http://www.goandsee.ru/spravochnik/teplotvornaja-sposobnost-drov.html>
7. <http://tehnopost.kiev.ua/drova/13-teplotvornost-drevesiny.html#tablitsa>
8. <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/3371/>

Сиренко В.Ф. Определение энергетической ценности твердого топлива (дров)

В Украине возникла необходимость перехода от ископаемых органических энергетических ресурсов к альтернативным видам топлива. Наиболее доступным и безвредным из них есть древесина.

Для использования древесины в качестве топлива необходима разработка технологий для заготовки и подготовки дров к сжиганию. Количество перерабатываемой древесины напрямую зависит от количества теплоты, которое может быть получено из единицы массы дров. Инструментальное определение этой величины требует длительного времени и специального оборудования.

Задача этой статьи – формулирование уточненной методики вычисления удельной теплоты сгорания древесины разных пород деревьев с различной степенью влажности. В основу определения этого параметра положена теплота сгорания абсолютно сухой древесины. Количество абсолютно сухого вещества в заданном объеме не изменяется. Часть тепловой энергии расходуется на нагрев влаги в древесине, ее испарение и последующий нагрев водяных паров. Расход этой части тепловой энергии зависит от влажности дров.

Разработана методика перехода от массовых показателей к объему уложенных дров. В итоге, для расчета теплотворности дров необходимо знать только 3 величины: плотность абсолютно сухой древесины заданной породы деревьев, способ укладки дров при продаже и измерить влагосодержание дров.

С помощью разработанной методики были определены энергетические и экономические характеристики разных видов твердого топлива для котелов Сумского национального аграрного университета. Выполнено сравнение с природным газом. Стоимость единицы энергии для дров в 3 – 4 раза меньше, чем для газа.

Ключевые слова: альтернативное топливо, дрова, удельная теплота сгорания, влажность древесины, способ укладки дров, экономические характеристики топлива.

Sirenko V.F. Determination of energy value of solid fuel (firewood)

Ukraine faces the need to move from organic resources fossil energy to alternative fuels. The most available and harmless of them is wood.

For the use of wood as fuel is necessary to develop technologies for harvesting and preparation of firewood for burning. The number of recycled wood depends on the amount of heat that can be obtained from a unit mass of wood. Instrumental determination of this value requires a long period of time and special equipment.

The purpose of this article is the formulation of a revised methodology for the calculation of calorific value for wood of different tree species with different humidity. The basis for the determination of this parameter based on the combustion heat of absolutely dry wood. The amount of absolutely dry matter in a given volume does not change. Part of the heat energy consumed for heating the moisture in the wood, the evaporation and subsequent heating of the water vapor. The consumption of this heat depends on the moisture content of wood.

Developed the method of transition from mass indicators to the volume of stacked firewood. In the end, to calculate the calorific value of firewood you need to know only 3 quantities: the density of absolutely dry wood of a given tree species, the way of stacking firewood in the sale and measure the moisture content of the wood.

With the help of the developed method were determined by the energy and economic characteristics of different types of solid fuel boiler for Sumy national agrarian University. The comparison with natural gas. The cost per unit of energy for wood in 3 to 4 times less than for gas.

Keywords: alternative fuel, wood, NCV, humidity of wood, method of stacking firewood, the economic characteristics of fuel.

Дата надходження до редакції: 25.01.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Ревенко І.І.