

Э.Я. Томсон¹, Я.А. Долацис², Ю.С. Хрол², Д.П. Турлайс

Физико-энергетический институт АН Латвии, г. Рига (1)
Латвийский Государственный институт химии древесины, г. Рига (2)
Рижский Технический Университет, г. Рига (3)

РАСЧЕТ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ВЛАЖНОСТИ

АННОТАЦИЯ

Лес – основное богатство Латвии, который занимает 46,5 % территории с общим приростом древесины 16,5 млн м³ в год, что дает возможность ежегодно вырубать 10 – 13 млн м³ древесины.

Древесина как биотопливо является экологически чистым и дружелюбным среде энергоресурсом. Переход на биотопливо позволяет решить не только энергетические и экологические, но и иные проблемы – создание рабочих мест, пополнение бюджета, оживление лесозаготовок обеспечение рационального лесопользования. В связи с истощением запасов ископаемого топлива, в будущем древесину и отходы деревообрабатывающей и лесозаготовительной промышленности для Латвии необходимо рассматривать как местное топливо, являющееся экономически выгодным энергоресурсом. Полноценное использование топливной древесины связано с получением всесторонней информации о получении количества тепла от сгорания из древесины с различной влажностью, а также о физических характеристиках используемых пород древесины.

В настоящее время в качестве топлива в Латвии используется примерно 3,33 млн м³ древесины в год. Из этого количества свежесрубленной древесины можно получить количество теплоты (вышей теплоты сгорания) 29,1 ПДж/год (Пета = 10¹⁵).

Учитывая породный состав вырубаемой в Латвии древесины, показано, что средняя высшая теплота сгорания одного кубометра свежесрубленной древесины составляет 8,77 ГДж/м³, а низшая – 7,18 ГДж/м³ (Гига = 10⁹), а расчётная средняя плотность свежесрубленной древесины составляет 823 кг/м³.

1. ВВЕДЕНИЕ

Почему древесину называют «зелёным биотопливом», хотя известно, что при её сжигании также образуются различные выбросы, в том числе и CO₂ – двуокись углерода? Использование биомассы для получения энергии не приносит никаких новых элементов загрязнения окружающей среды. Принято считать, что в результате её сжигания количество выделившейся двуокиси углерода равно тому её количеству, которое было поглощено во время вегетационного периода или роста дерева.

В Белой Книге как стратегию Евросоюза в разделе «Энергия для будущего» (1997) Европейская Комиссия выдвинула честолюбивую цель – удвоить долю использования возобновляемой энергии в общем потреблении энергии с 6 до 12 % к 2010 году, где на долю биомассы и отходов приходится 8,53 %. Топливо из древесины в послед-

ние годы становится всё более привлекательным биотопливом (в виде гранул из древесных опилок) в частном секторе в Европейском регионе и поступает на рынки таких стран, как Швеция, Австрия, Германия, Финляндия, Дания и др.

Средний запас древесины в лесах Латвии на 2000 год составлял 546 млн м³ [1]. Ежегодная заготовка древесины в последние годы составляет 10 – 13 млн м³, из этого количества примерно 3,33 млн м³ составляет топливная древесина, которая распределяется следующим образом: дрова – 1,51 млн м³, щепа и кусковые отходы – 1,377 млн м³, брикеты и гранулы из древесных опилок – 0,172 млн м³ и 0,27 млн м³ опилок [2].

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Теплота сгорания древесины зависит как от породы, так и от её влажности (W). При использовании древесины в качестве топлива, при расчётах применяется относительная влажность ($W_{\text{отн}}$), а не абсолютная ($W_{\text{абс}}$), которой характеризуются обычно физико-механические характеристики древесины.

Состав органической части древесины в абсолютно сухом состоянии, независимо от породы, примерно одинаков: углерод (C) ~ 49 – 50 %, водород (H) – около 6 %, кислород (O) ~ 43 – 44 %, азот (N) – 0,1 – 0,3 % и следы серы (S) [3] и негорючие соединения – золу (A). При изменении относительной влажности древесины, пропорционально меняется и её процентное соотношение элементного состава.

Главным горючим элементом в древесине является углерод. При полном сгорании 1 кг углерода до двуокиси – CO₂, выделяется 33,913 МДж тепла. Если происходит неполное сгорание до окиси углерода (CO) или так называемого угарного газа, выделяется примерно 10,09 МДж тепла. Водород очень активный горючий элемент, при сгорании 1 кг выделяется 141,9 МДж тепла и образуется 9 кг водяного пара. Для нагрева 1 кг воды от 0°C до +100°C необходимо затратить 0,42 МДж тепла и для испарения воды ещё 2,26 МДж тепла, что в сумме составляет 2,68 МДж тепла.

Высшая теплота сгорания (Q_v) — это количество тепла, выделяемое древесиной при полном сгорании её массы в калориметрической бомбе. Низшая теплота сгорания (Q_n) равна высшей теп-

лоте сгорания, за вычетом теплоты испарения влаги, находящейся в древесине и образующейся при её сжигании: $Q_n^p = Q_v^p - 25 \cdot (9 \cdot H^p + W^p)$, кДж/кг.

Для определения высшей рабочей теплоты сгорания (Q_v^p) воспользуемся формулой Д.И. Менделеева [4]: $Q_v^p = 340 \cdot C^p + 1260 \cdot H^p - 109 \cdot O^p$, кДж/кг. В случае древесины, когда $W = 0$: $Q_v^p = 340 \cdot C^p + 1260 \cdot H^p - 109 \cdot O^p = 340 \cdot 50,5 + 1260 \cdot 6,1 - 109 \cdot 41,9 = 20\,323$ кДж/кг, а низшая рабочая теплота сгорания (Q_n^p) при $W = 0$: $Q_n^p = 340 \cdot C^p + 1035 \cdot H^p - 109 \cdot O^p - 25 \cdot W^p = 340 \cdot 50,5 + 1035 \cdot 6,1 - 109 \cdot 41,9 - 25 \cdot 0 = 18\,950$ кДж/кг.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

В табл. 1 показана динамика изменения теплоты сгорания древесины от влажности.

На рис. 1 показана теплота сгорания 1 м³ древесины берёзы в зависимости от относительной влажности.

Таблица 1. Зависимость высшей рабочей теплоты сгорания (Q_v^p) и низшей рабочей теплоты сгорания (Q_n^p) древесины от влажности

$W_{отн}, \%$	Теплота сгорания Q , МДж/кг		$Q_v^p - Q_n^p$, МДж/кг	Q_v^p / Q_n^p , %
	Q_v^p	Q_n^p		
0	20,323	18,950	1,373	6,76
10	18,291	16,805	1,486	8,12
20	16,258	14,660	1,598	9,83
30	14,226	12,532	1,694	11,91
40	12,194	10,370	1,824	14,96
50	10,162	8,225	1,937	19,06
60	8,129	6,080	2,049	25,2
70	6,097	3,935	2,162	35,46

В табл. 2 показаны средние значения высшей и низшей теплоты сгорания 1 м³ различных пород древесины от влажности и при максимально возможной влажности древесины.

Таблица 2. Средние значения высшей и низшей теплоты сгорания 1 м³ различных породот влажности и при максимально возможной влажности древесины (W_{max})

Порода и показатели		Теплота сгорания древесины при относительной влажности, %						
		0	10	20	30	40	50	W_{max}
Сосна, ГДж/м ³	Q_v^p	9,755	9,237	8,649	8,464	8,463	8,465	8,457
	Q_n^p	9,096	8,487	7,799	7,457	7,197	6,851	6,077
Берёза, ГДж/м ³	Q_v^p	12,600	11,761	10,844	10,542	10,548	10,548	10,546
	Q_n^p	11,749	10,806	9,778	9,286	8,970	8,538	8,190
Ель, ГДж/м ³	Q_v^p	8,536	8,085	7,593	7,426	7,426	7,420	7,424
	Q_n^p	7,959	7,428	6,846	6,542	6,315	6,004	5,065
Осина, ГДж/м ³	Q_v^p	9,450	8,981	8,454	8,152	8,158	8,160	8,090
	Q_n^p	8,812	8,251	7,623	7,181	6,938	6,605	5,751
Ольха, ГДж/м ³	Q_v^p	10,060	9,548	8,958	8,777	8,768	8,770	8,771
	Q_n^p	9,380	8,772	8,078	7,732	7,456	7,098	6,383
Ясень, ГДж/м ³	Q_v^p	13,108	12,401	11,608	11,338	11,340	11,341	11,330
	Q_n^p	12,223	11,394	10,467	9,988	9,644	9,179	8,897
Дуб, ГДж/м ³	Q_v^p	13,312	12,584	11,787	11,509	11,511	11,514	11,511
	Q_n^p	12,412	11,562	10,629	10,138	9,789	9,319	9,072

Для древесины сосны относительная влажность при максимальной плотности составляет 63,4 %, берёзы – 55,8 %, ели – 67 %, осины – 64,3 %, ольхи серой – 62,6 %, ясеня – 54,6 % и дуба – 54,1 %.

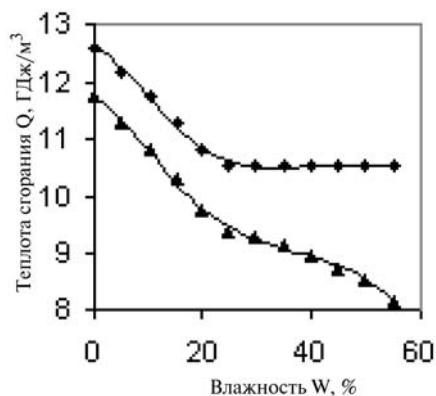


Рис. 1. Зависимости теплоты сгорания древесины берёзы от влажности: верхняя кривая – Q_v^p , нижняя – Q_n^p

Как видно, при повышении относительной влажности от 0 до 23 % (соответствует величине абсолютной влажности 30 %,) разница $Q_v^p - Q_n^p$ примерно постоянна, а при увеличении влажности эта разница возрастает и при достижении максимального значения относительной влажности древесины берёзы ($W = 55,8 \%$), разница составляет $2,356 \text{ ГДж/м}^3$.

Используя данные стандарта Латвии «Правила измерения и определения объёма лесоматериалов при лесоразработках» [5] для свежесрубленной древесины сосны, ели, берёзы и осины в зависимости от времени года, рассчитаем минимальную, среднюю и максимальную теплоту сгорания по объёму и массе – таблица 3.

Таблица 3. Теплота сгорания свежесрубленной древесины некоторых пород

Порода	Параметр		Влажность древесины			
			Минимальная	Средняя	Максимальная	
Сосна	Влажность $W_{отн}, \%$		46,3	48,4	50,9	
	Плотность, кг/м^3		775	807	848	
	Теплота сгорания	По массе	$Q_v^p, \text{ГДж/т}$	10,91	10,49	9,98
			$Q_n^p, \text{ГДж/т}$	8,83	8,49	8,08
		По объёму	$Q_v^p, \text{ГДж/м}^3$		8,46	
			$Q_n^p, \text{ГДж/м}^3$	6,85	6,85	6,85
Ель	Влажность $W_{отн}, \%$		46,3	50	53,7	
	Плотность, кг/м^3		680	730	789	
	Теплота сгорания	По массе	$Q_v^p, \text{ГДж/т}$	10,91	10,16	9,41
			$Q_n^p, \text{ГДж/т}$	9,02	8,23	7,43
		По объёму	$Q_v^p, \text{ГДж/м}^3$		7,42	
			$Q_n^p, \text{ГДж/м}^3$	6,13	6,0	5,86
Берёза	Влажность $W_{отн}, \%$		40,3	44,2	45,9	
	Плотность, кг/м^3		869	930	959	
	Теплота сгорания	По массе	$Q_v^p, \text{ГДж/т}$	12,13	11,34	10,99
			$Q_n^p, \text{ГДж/т}$	10,31	9,47	9,11
		По объёму	$Q_v^p, \text{ГДж/м}^3$		10,54	
			$Q_n^p, \text{ГДж/м}^3$	8,96	8,81	8,73
Осина	Влажность $W_{отн}, \%$		42,2	50	52,3	
	Плотность, кг/м^3		705	815	854	
	Теплота сгорания	По массе	$Q_v^p, \text{ГДж/т}$	11,75	10,16	9,69
			$Q_n^p, \text{ГДж/т}$	9,90	8,23	7,73
		По объёму	$Q_v^p, \text{ГДж/м}^3$		8,28	
			$Q_n^p, \text{ГДж/м}^3$	6,98	6,7	6,6

Обозначения см. в табл. 1.

Для практических целей необходимо знать объёмную теплоту сгорания древесины, так как каждая порода имеет свою плотность, поэтому плотность складочного кубометра зависит от породы, влажности и плотности укладки. При сравнении теплоты сгорания различных пород древесины при одинаковой влажности, показано, что если принять теплоту сгорания складочного кубометра древесины ели при влажности 30 % за единицу отсчёта, то складочный кубометр древесины осины даёт на 10 % больше тепла, чем древесина ели, сосны – на 14 %, ольхи серой – на 18 %, берёзы – на 42 %, ясеня – на 53 % и дуба – на 55%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С учётом структуры породного состава вырубаемой древесины в Латвии, средняя рабочая теплота сгорания свежесрубленной древесины составляет $8,77 \text{ ГДж/м}^3$, а низшая — $7,18 \text{ ГДж/м}^3$.

2. В результате использования для отопительных и энергетических целей $3,33 \text{ млн м}^3$ древесины в Латвии, в пересчёте на свежесрубленную

древесину при её средней плотности 823 кг/м^3 , можно получить в среднем $29,09 \text{ ПДж/год}$ тепловой энергии по высшей теплоте сгорания и $23,88 \text{ ПДж/год}$ по низшей теплоте сгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салиньш З. Лес – национальное богатство Латвии. Елгава, Изд-во Латвийского Сельскохозяйственного ун-та. 2002. 248 с.
2. База данных государственной лесной службы Министерства сельского хозяйства Латвии. Рига, 2001.
3. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. — 3-е изд. перераб. и доп. М.: Из-во Московского государственного университета леса, 2001. 340 с.
4. Головков С.И., Коперин И.Ф., Найдёнов В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1987. 224 с.
5. Государственный Стандарт Латвии. Правила измерения и определения объёма лесоматериалов при лесоразработках LVS 82:1997 (1997).