

СВОЙСТВА БИОТОПЛИВА – ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ ДРЕВЕСИНЫ ROBINIA PSEDOACACIA L. КЛОНА NYIRSEGI, ВЫРАЩЕННОГО НА ПЛАНТАЦИЯХ

Ладислав Дзуренда¹, Мирослав Дзуренда²

¹Технический университет – Зволен, Словакия, e-mail: dzurenda@vsld.tuzvo.sk

²Технический университет – Зволен, Словакия, e-mail: zurenda_miroslav@yahoo.de

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время увеличился интерес к продукции древесной биомассы для энергетических целей. Создаются энергетические плантации быстрорастущих деревьев, минимальный объем древесной биомассы которых составляет $10 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ за год. На основании работ: (Varga – Godó 2002, Nabovštiak – Daniel 2005, Trenčiansky – Lieskovský – Oravec 2007, Jandačka – Malcho – Mikulík 2007) подходящими породами древесин выращенных на плантациях с целью получения древесной биомассы с использованием в энергетике в Словакии являются древесины: акация белая (*Robinia pseudoacacia* L.), клоны тополей (*Populus*), ива прутовидная (*Salix viminalis*).

Национальный лесной центр в Зволене уже несколько лет ведёт работы по выращиванию быстрорастущих древесных пород. На Научно-исследовательской станции: Фильяковске Клячаны, исследуют продуктивные возможности клонов: *Nyirsegi*, *Debrecenyi 2*, *Göri*, *Ambigua*, *Rozaszin* древесины Акация белая.

В статье приведены результаты экспериментальных работ и исследования с целью установления энергетических свойств щепы в абсолютно сухом состоянии, древесины Акация белая – клон *Nyirsegi* выращенного на плантациях.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы ювенильной древесины и ювенильной коры породы дерева Акация белая – клон *Nyirsegi* для определения свойств биотоплива были собраны из 4-летних плантационно выращенных культур в Научно-исследовательской станции: Фильяковске Клячаны.

Часть коры в энергетической щепе породы древесины: Акация белая – клон *Nyirsegi* была рассчитана в лаборатории на Кафедре обработки древесины – Технического университета в Зволене на основании STN 48 0058: 2004 Ассортименты древесины-Лиственные щепы и опилки. Часть коры в энергетической щепе была рассчитана с отношения:

$$X_K = \frac{m_K}{m_S} \cdot 100 \quad (1)$$

где: m_K – вес коры в образце щепы [г],
 m_S – вес образца щепы [г].

Элементарный химический состав образцов ювенильной древесины и ювенильной коры Акация белая – клон *Nyirsegi*, был проведен рабочими Центральной лесной лаборатории в Национальном лесном центре в Зволене. Содержание углерода C^{daf} [%], водорода H^{daf} [%], азота N^{daf} [%] в образцах древесины и коры анализированного клон данной породы было определено анализатором NCS-FLASH EA 1112 от компании THERMO FINNIGEN (рис 1). Содержание кислорода в образцах ювенильной

древесины и ювенильной коры было определено расчетом при условии нулевого содержания серы в дендромассе $S^{daf} = 0$, по уравнению:

$$O^{daf} = 100 - C^{daf} - H^{daf} - N^{daf}, \quad (2)$$

где: C^{daf} – содержание углерода в горючей массе [%]

H^{daf} – содержание водорода в горючей массе [%]

N^{daf} – содержание азота в горючей массе [%]

Параметры оборудования:

- температуры печи: 900 °С
- температуры образца: 65 °С
- давление He: 250 кПа
- течение He: 130 мл/мин
- давление O₂: 280 кПа
- течение O₂: 250 мл/мин
- время задержки образца: 12 с
- температуры пламя: 1800 °С
- суммарное время анализа: 12 мин
- вес образца: 5,0–7,0 г.

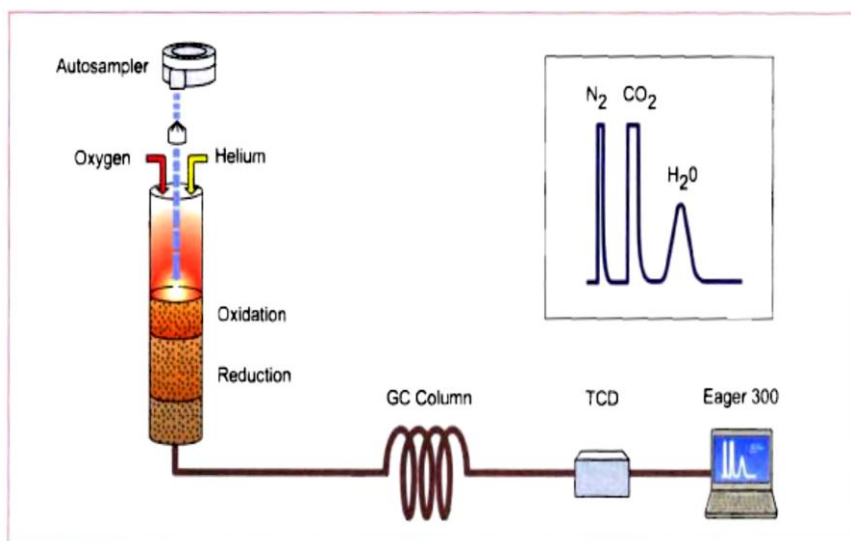


Рис. 1. Анализатор: NCS-FLASH EA 1112

Химически состав горючей массы энергетической щепы состоит из горючей массы ювенильной древесины и горючей массы ювенильной коры. Расчет был проведен на основании части коры в щепе и определения содержания данного фитогенного элемента в ювенильной древесине и ювенильной коре по формулам.

$$\begin{aligned} C_S^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot C_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot C_K^{daf} \\ H_S^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot H_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot H_K^{daf} \\ N_S^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot N_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot N_K^{daf} \\ O_S^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot O_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot O_K^{daf} \end{aligned} \quad (3)$$

где:

$C_S^{daf}, H_S^{daf}, N_S^{daf}, O_S^{daf}$ – содержание углерода, водорода, азота, кислорода в горючей массе щепы [%],

$C_D^{daf}, H_D^{daf}, N_D^{daf}, O_D^{daf}$ – содержание углерода, водорода, азота, кислорода в горючей массе ювенильной древесины [%],

$C_K^{daf}, H_K^{daf}, N_K^{daf}, O_K^{daf}$ – содержание углерода, водорода, азота, кислорода в горючей массе ювенильной коры [%],

X_K – содержание коры в щепе [%].

Часть золы в ювенильной древесине и ювенильной коре анализированного биотоплива была определена на основании нормы STN ISO 1171 Твёрдые топлива – Определение золы. Данный рабочий процесс состоит из нагрева сухого

образца ювенильной древесины и образца ювенильной коры о весе 2 г на фарфоровой тарелке в Муфельной печи. При повышении температуры на величину 500 °С в Муфельной печи в течении 60 минут, затем выжигание образца биотоплива продолжалось при этой температуре в течении 30 минут и последующим нагревом на температуру 815 ± 10 °С и её выжиганием при этой температуре в течении 60 минут. Вес фарфоровой тарелки, как и вес фарфоровой тарелки с образцом перед и по испытании определяется взвешиванием на весах с точностью 0,1 мг.

Часть золы в образце ювенильной древесины A_D^d и в образце ювенильной коры A_K^d , была квантифицирована на основании формул:

$$A_D^d = \frac{m_{A-D}^d}{m_D^d} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

$$A_K^d = \frac{m_{A-K}^d}{m_K^d} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

где: m_{A-D}^d – вес золы з сухого образца древесины [г],

m_D^d – вес сухого образца древесины [г].

$$Q_n^d = [339 \cdot C_s^{daf} + 1029,8 \cdot H_s^{daf} - 108,8 \cdot O_s^{daf}] \left[\frac{100 - A_s^d}{100} \right] \quad [\text{кЙ} \cdot \text{кг}^{-1}] \quad (7)$$

где: C_s^{daf} , H_s^{daf} , O_s^{daf} – содержание углерода, водорода, кислорода в горючей массе щепы [%],

A_s^f – содержание золы в массе щепы [%].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты экспериментальных работ по определению части коры в энергетической щепе (таблица 1) показывают, что средняя часть коры в биотопливе –

m_{A-K}^d – вес золы сухого образца коры [г],

m_K^d – вес сухого образца коры [г].

Часть золы в энергетической щепе породы древесины: *Акация белая* - клон *Ньирсеги* была определена расчётом на основании части коры и части древесины в дендромасе и средней велечини части золы в анализируемых образцах древесины и коры энергетической щепы, по формуле:

$$A_s^d = \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot A_D^d + \frac{X_K}{100} \cdot A_K^d \quad [\%] \quad (6)$$

где: A_D^d – содержание золы в сухом образце древесины [%],

A_K^d – содержание золы в сухом образце коры [%],

X_K – содержание коры в образце щепы [%].

Минимальная теплота сгорания сухой энергетической щепы ($W^f = 0$ %) была определена техническим отношением на основании формулы Д. И. Менделеева:

энергетической щепе породы древесины *Акация белая* – клон *Ньирсеги* составляет: $X_K = 22,84 \pm 2,42\%$.

Таблица 1. Части коры в энергетической щепе породы древесины *Акация белая* – клон *Ньирсеги*.

Части коры в энергетической щепе [%]	образец 1	образец 2	образец 3	средняя
		23,89	20,74	23,89

Упомянутая величина в интервале $X_K = 20,74 \div 23,89$ % сопоставимая с частью коры в энергетических щепках полученных с дендромасы древесины выращенных на плантациях как породы деревьев *Salix viminalis* и *Populus* (Дзуренда-Золяк-Малиш 2009, Дзуренда 2010, Дзуренда-Золяк, 2011). Она не превышает предел коры в энергетической щепе по норме STN 48 0058:2004, которая равна $X_K = 30$ %. В сравнении с частью коры в дендромассе пожилых деревьев есть упомянутая величина 2,7 раза больше как

есть часть коры в дендромассе древесины бук лесной, 1,7 раза больше от части коры в дендромассе древесины дуба и тополя, и в 1,5 раза больше от части коры в дендромассе древесины ольхи. *Hnětkovský (1983), Головков – Коперин – Найденов (1987), Požgaj et al (1997)*.

Химический состав горючей массы в образцах ювенильной древесины и ювенильной коры породы древесины *Акация белая* – клон *Ньирсеги* есть указанный в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Химический состав горючей массы ювенильной древесины дерева *Акация белая* – клон *Ньирсеги*

<i>Акация белая</i> – клон <i>Ньирсеги</i>		Элементарный химический состав горючей массы древесины [%]				Зола древесины A_D^d [%]
		C_D^{daf}	H_D^{daf}	O_D^{daf}	N_D^{daf}	
Древесина	образец 1	49,89	6,01	43,47	0,63	0,62
	образец 2	50,35	5,84	43,20	0,61	0,73
	образец 3	50,15	5,79	43,38	0,68	0,72
	средняя	50,13	5,88	43,35	0,64	0,69

Таблица 3. Химический состав горючей массы ювенильной коры дерева *Акация белая* – клон *Ньирсеги*

<i>Акация белая</i> – клон <i>Ньирсеги</i>		Элементарный химический состав горючей массы коры [%]				Зола коры A_K^d [%]
		C_K^{daf}	H_K^{daf}	O_K^{daf}	N_K^{daf}	
Кора	образец 1	47,20	5,72	42,47	3,61	8,82
	образец 2	47,23	5,69	43,65	3,43	8,21
	образец 3	47,02	5,72	43,29	3,97	8,47
	средняя	47,15	5,71	43,47	3,67	8,50

Химический состав горючей массы и золы в энергетической щепе дендромасы плантационно выращенной породы

древесины *Акация белая* – клон *Ньирсеги* находится в таблице 4.

Таблица 4. Химический состав горючей массы и части золы, древесины коры и энергетической щепки породы дерева *Акация белая* – клон *Ньирсеги*

Содержание древесины и коры в щепе [%]		Химический состав горючей массы [%]				Зола A^d [%]
		C^{daf}	H^{daf}	O^{daf}	N^{daf}	
Древесина	77,16	50,13	5,88	43,35	0,64	0,69

Кора	22,84	47,15	5,71	43,47	3,67	8,50
Щепа	100,00	49,45	5,84	43,37	1,33	2,47

Проведенные сравнения химического состава горючей массы энергетической щепы породы древесины *Акация белая* – клон *Ньирсеги* с химическим составом пожилой древесины лиственных пород показывает, что в энергетической щепе породы древесины *Акация белая* – клон *Ньирсеги* находится в 6,5 раза больше азота и в 5 раза больше золы чем в пожилой древесине лиственных пород (Ванин 1949, Головков – Конерин – Найденов 1987, Marutzky – Seeger 1999, Dzurenda – Banski 2003, Dzurenda – Jandačka 2010). Более высокое содержание азота в ювенильной древесине и ювенильной коре энергетической щепе породы древесины *Акация белая* свидетельствует о более высоком количестве белков, расположенных в проводящих тканях ювенильной древесине белка в камбиальных клетках и хлорофилла в

поверхностных тканях молодой коры (Dzurenda – Zoliak 2011).

С экологического аспекта данный результат преобразовывается в повышенной продукции эмиссии – двуокиси азота NOx в продуктах сгорания. Максимальные величины концентрации двуокиси азота NOx в продуктах сгорания с сжигания влажной энергетической щепы определены системой технического расчета и есть в 4 раз больше (Dzurenda-Mačejny 2009), как есть действующая величина эмиссионного лимита в Словакии для эмиссии двуокиси азота NOx с процессов сжигания биомассы.

На основании химического состава горючей массы и части золы в энергетической щепе породы древесины *Акация белая* – клон *Ньирсеги*, была вычислена минимальная теплота сгорания биотоплива клонна данной древесины в абсолютно сухом состоянии по уравнению (7):

$$Q_n^d = \left[339 \cdot C_s^{daf} + 1029,8 \cdot H_s^{daf} - 108,8 \cdot O_s^{daf} \right] \left[\frac{100 - A_s^d}{100} \right] =$$

$$= \left[339 \cdot 49,45 + 1029,8 \cdot 5,84 - 108,8 \cdot 43,37 \right] \left[\frac{100 - 2,47}{100} \right] = 17\,613$$

Средняя величина минимальной теплоты сгорания энергетической щепы породы дерева *Акация белая* – клон *Ньирсеги* в сухом состоянии с пределом коры $X_K = 22,84$ % оказывается $Q_n = 17\,613$ кДж·кг⁻¹ что по сравнению с минимальной теплотой сгорания древесины *Акация белая* указанного коллективом авторов Longauer – Luptak-Koska $Q_n = 18\,658$ кДж·кг⁻¹ есть о 5,6 % меньше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных экспериментальных работ можно сделать вывод, что часть коры в энергетической щепе породы древесины *Акация белая* – клон *Ньирсеги* выращенной на плантации составляет величину $X_K = 22,84 \pm 2,42\%$.

Горючая масса энергетической щепы данной породы состоит из углерода со средним содержанием $C^{daf} = 49,45$ %, водорода $H^{daf} = 5,84$ %, кислорода $O^{daf} =$

43,37 % и азота $N^{daf} = 1,33$ %. Средняя часть золы в абсолютно сухой энергетической щепы есть $A^d = 2,47$ %. В сравнении с горючей массой деревьев лиственных пород в пожилом возрасте показывает, что в энергетической щепе породы древесины *Акация белая* - клон *Ньирсеги* находится в 6,5 раза больше азота и в 5 раз больше золы, чем в пожилой древесине лиственных пород.

С анализа энергетических свойств биотоплива энергетической щепы породы дерева *Акация белая* – клон *Ньирсеги* выращенной на плантациях получается, что минимальная теплота сгорания энергетической щепы в сухом состоянии есть $Q_n = 17\ 613$ кДж.кг⁻¹.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dzurenda L., Banski A. (2003). Obsah dusíka v jednotlivých častiach stromu a koncentrácia NO₂ v spalinách tvorená formou nízкотеплотnej oxidácie dusíka v procese spaľovania. In: Acta Facultatis Xylogiae. 45, 1: 7–14.
2. Дзуренда Л., Золяк М. Малиш М. (2009). Свойства энергетической щепы древесины *Salix viminalis* – клон *ORM*, выращенного на плантациях. In: Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW – Forest and Wood Technology No 68, 219–224 с.
3. Dzurenda L., Mačejny T. (2009). Vypočet emisnej hodnoty cmax NO_x zo spaľovania energetickej štiepky dreveniny *Salix viminalis* pestovanej na plantažach. In: Strojárství, 43 –45 s.
4. Dzurenda L. Jandačka J. 2010. Energetické využitie dendromasy. Zvolen, V-TU, 162 s.
5. Dzurenda, L. (2010). Energy characteristics of the wood-chip produced from *Salix viminalis*. In: Management and sustainable development. 2/2010.Vol.26, 105–108 s.
6. Dzurenda, L., Zoliak, M. (2011). Chemické zloženie horľaviny energetickej štiepky z dendromasy plantažnicky pestovanej dreveniny *populus klon Max 5*. In: Acta Facultatis xylogiae, 53 (1): 87–92.
7. Habovštiak J., Daniel J. (2005). Pestovanie odrôd vrb (Salix viminalis) na energetické účely. In: Naše pole, č. 5, 10 s.
8. Hnětkovský, V. et al. (1983). Papírenská příručka. Praha: SNTL, 864 s.
9. Jandačka, J., Malcho, M., Mikulík M. (2007). Biomasa ako zdroj energie. Žilina, Vydavateľstvo GEORG Žilina. 241 s.
10. Marutzky R., Seeger K. (1999). Energie aus Holz und anderer Biomasse. Leinfelden-Echterdingen: DRD – Verlag Weinbrenner GmbH & Co, 430 s.
11. Головкин С. И. Коперин И. Ф. Найденков В. И. (1987). Энергетическое использование древесных отходов. Москва. Лесная промышленность, 221 с.
12. Trenčiansky M. Lieskovský M. Oravec J. (2007). Energetické zhodnotenie biomasy Zvolen: NLC, 147 s.
13. Ванин С. И. (1949). Древесиноведение. Москва & Ленинград. Гослесбумиздат, 338 с.
14. Varga L. Godó T. (2002). Rýchlorastúce dreviny a možnosti zvýšenia produkcie biomasy na energiu. In: Využívanie lesnej biomasy na energetické účely v podmienkach SR, Zvolen: LVU, 28 –37 s.
15. STN 48 0058:2004 Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny.
16. STN ISO 1171 Tuhe paliva. Stanovenie popola.

Благодарность:

Эта работа была подготовлена в рамках решения гранатового проекта: VEGA–SR č. 1/0334/11, в результате работы авторов и сильной поддержки агенты-ры VEGA–SR.

**ENERGY CHARACTERISTICS OF BIO-FUEL – CHIPS OF ROBINIA
PSEDOACACIA – CLONE NYIRSEGI, GROWN ON PLANTATIONS**

Ladislav Dzurenda¹, Miroslav Dzurenda²

¹ Technical University – Zvolen, Slovakia, e-mail: dzurenda@vsld.tuzvo.sk

² Technical University – Zvolen, Slovakia, e-mail: zurenda_miroslav@yahoo.de

ABSTRACT

In this paper, there are presented the results of experimentally determined chemical composition of the combustible in dry mass of energy chips made of the wood species Robinia Pseudoacacia – clone Nyirsegi grown on plantations.

The average chemical composition of the combustible of chips of Robinia Pseudoacacia – clone Nyirsegi is: carbon $C^{daf} = 49,45$ %, hydrogen $H^{daf} = 5,84$ %, oxygen $O^{daf} = 43,37$ % and nitrogen $N^{daf} = 1,33$ %. In comparison with combustibles of wood of fully-grown broad-leaved trees, the combustible of chips of Robinia Pseudoacacia on plantations is characterised by markedly higher share of nitrogen. The share of nitrogen in the combustible of chips of Robinia Pseudoacacia – clone Nyirsegi is 6,5 times higher than the content of nitrogen in the combustible of chips of Fagus sylvatica. From the environmental aspect, this fact manifests itself in the increased production of emission – concentration of nitrogen oxides NO_x in combustion products, which is 4 times higher, than the valid value of emission limit in Slovakia for nitrogen oxides from the process of biomass combustion.

Key words: bio-fuel, energy chips, Robinia Pseudoacacia clone Nyirsegi, combustible fraction, emission, nitrogen oxides NO_x.