

4. ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ. БИОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 661.183.2

Н.А. Павлов, А.А. Спицын, М.И. Минич, А.В. Бахтиярова

К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ДРЕВЕСНОУГОЛЬНЫХ БРИКЕТОВ

Введение. Древесноугольные брикеты широко применяются во всем мире. В Юго-Восточной Азии они являются основным источником тепла для приготовления пищи и обогрева жилища [Sotanne et al., 2010]. В последние годы возрастает популярность кальянокурения по всему миру. В связи с этим возник рост потребности в сопровождающих материалах – древесно-угольных брикетах. При этом вопрос получения качественных древесно-угольных брикетов остаётся открытым. На российском рынке повсеместно используются брикеты из кокосового угля, т. е. данный вид топлива полностью экспортируется, что сказывается на его цене.

Цель исследования – разработка рецептуры получения брикета березового угля для кальяна, по своим эксплуатационным свойствам, не уступающего коммерческому образцу брикета из кокосового угля индонезийского производства. Для этого следовало определить значимые характеристики древесно-угольного брикета для применения его в кальяне, а также их влияние на эксплуатационные свойства брикета – запах, прочность при горении, внешний вид (количество пепла и др.).

Изучением характеристик брикетов в разные годы занимались многие ученые [Alula et al., 2015; Edgardo P. Reyes, 1958; Alejandro et al., 2015; Burckill et al., 1994; Saadawi et al., 2014]. Так, в [Demirbas, 1998] было исследовано влияние температуры пиролиза на основные параметры получаемого угля и древесно-угольных брикетов. Ученый пришел к выводу, что оптимальная температура пиролиза для получения качественных брикетов должна быть в диапазоне 500–1050 °С, а содержание связующего в брикете должно находиться в диапазоне 6–18% для обеспечения максимальных прочностных свойств брикета. Также рассматривалось влияние тех или

иных связующих на свойства брикета [Barawski et al., 2017; Гильфанов и др., 2013]. Состав и методики изготовления освещены в ряде патентов [Felipe et al., 2010; Heffernan, 1934; Richard and Harry, 1958; Walter and William, 1925; William V., 1960].

Методика исследования. В качестве сырья при получении угля для брикета использовались кокос (*Cocos nucifera*), место произрастания Индонезия, древесина сосны (*Pinus sylvestris*), место произрастания Россия, г. Санкт-Петербург; возраст 30 лет, стволовая часть, и древесина березы (*Betula pendula*), место произрастания Россия, г. Санкт-Петербург, возраст 30 лет, стволовая часть. Дополнительно использовался уголь из скорлупы кокосового ореха (Индонезия).

Пиролиз сырья проводили на стенде медленного пиролиза лаборатории №60, СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, подробно описанного в работе [Бахтиярова и др., 2019]. Продолжительность проведения процесса пиролиза – 7 ч, скорость нагрева – 2 °С/мин, исходная масса сырья – 1,5 кг±100 г.

Термогравиметрический анализ проведен на приборе Термоскан-2 по общеизвестной методике [Сазанов, 2016]. Время проведения анализа – 60 мин, скорость нагрева – 10 °С/мин, исходная масса образцов кокоса, березы и сосны – 3.380, 3.255 и 3.140 г соответственно.

В результате пиролиза получены следующие угли: уголь из скорлупы кокосового ореха (Индонезия), берёзовый уголь (Россия), сосновый уголь (Россия) (далее – К1, Б1, С1 соответственно). Дополнительно использовался измельченный на промышленном оборудовании уголь из скорлупы кокосового ореха (Индонезия), образец К2.

В качестве образца сравнения (К0) использовали брикет из кокосового угля фирмы «ПП Джайя».

В образце К0 определялись содержание связующего и фракционный состав по следующим методикам. Образец кипятили в дистиллированной воде с принудительным перемешиванием до растворения крахмала и полного разрушения брикета. Частицы угля количественно переносили на бумажный фильтр и фильтровали, а затем высушивали в сушильном шкафу (в соответствии с ГОСТ 12.2.007.9–93) при температуре 110±1 °С до постоянной массы. Разница в массе высушенного угля и исходного брикета считается массой связующего. В высушенном измельченном кокосовом угле определялся фракционный состав по ГОСТ 2093–82.

В углях определялись следующие характеристики: массовая доля воды по ГОСТ 16399–70, массовая доля минеральных веществ по ГОСТ 12596–67,

содержание нелетучего углерода по ГОСТ 6382–80. Результаты данных определений представлены в табл. 4.

В работе применялись следующие виды крахмалов: кукурузный крахмал фирмы ООО «Распак», ГОСТ 32159–2013, картофельный крахмал фирмы ООО «Агрвест», ГОСТ 7699–78, и химически модифицированные картофельные крахмалы марок CMS-PFT-100, LerfAC, CHAO-F2, Mycrolys56.

Древесно-угольные брикеты изготавливались по следующей методике. Уголь измельчали на микроступке, а затем фракционировали на фракционаторе «Вибротехник» с ситами: 1, 3.15, 5, 10, 12.5.

Далее готовили шихту путем смешивания полученных фракций угля, связующего (кукурузный, тапиоковый, картофельный и модифицированный картофельный крахмалы, указанные выше) и дистиллированной воды. Полученную смесь прессовали под давлением от 10 до 20 МПа на ручном лабораторном гидравлическом прессе «Lab Tools». Затем брикет находился до полного высыхания при температуре 105 °С в сушильном шкафу.

Для образца К0 и полученных брикетов определялись следующие характеристики: длительность горения, запах, его интенсивность и прочность брикета во время горения (по ГОСТ ISO 16820–2015), внешний вид определялся визуально.

Результаты исследования. Для сравнения выхода основного продукта приведены материальные балансы процессов пиролиза кокоса, березы и сосны:

Как видно из табл. 1–3, выход угля из кокоса несколько выше, чем из древесины березы и сосны.

На рис. 1 и 2 представлены графики пиролизом исследуемого сырья.

Таблица 1

Материальный баланс пиролиза кокоса

Material balance of coconut pyrolysis

Приход	Масса, г	%	Расход	Масса, г	%	% от а.с.с.
Кокос, в т. ч.	864,2	100,00	Уголь	251,6	29,11	31,55
абсолютно сухое сырьё	797,40	92,27	Суммарный конденсат	406,2	47,01	42,57
вода	66,80	7,73	Неконденсирующиеся газы	206,4	23,88	25,88
Итого	864,2	100		864,2	100,00	100,00

Таблица 2

Материальный баланс пиролиза берёзы

Material balance of birch pyrolysis

Приход	Масса, г	%	Расход	Масса, г	%	% от а.с.с.
Береза, в т. ч.	1237,2	100,00	Уголь	280	22,63	25,52
абсолютно сухое сырьё	1097,4	88,7	Суммарный конденсат	672,2	54,33	48,51
вода	139,8	11,3	Неконденсирующиеся газы	285	23,04	25,97
Итого	1237,2	100		1237,2	100,00	100,00

Таблица 3

Материальный баланс пиролиза сосны

Material balance of pine pyrolysis

Приход	Масса, г	%	Расход	Масса, г	%	% от а.с.с.
Сосна, в т. ч.	1220,00	100,00	Уголь	300	24,59	25,88
абсолютно сухое сырьё	1159,00	95,00	Суммарный конденсат	670	54,92	52,54
вода	61,00	5,00	Неконденсирующиеся газы	250	20,49	21,58
Итого	1220	100		1220	100,00	100,00

Выход угля при пиролизе кокоса, берёзы и сосны составил 29.11, 23.14 и 22.45% соответственно от абсолютно сухого сырья.

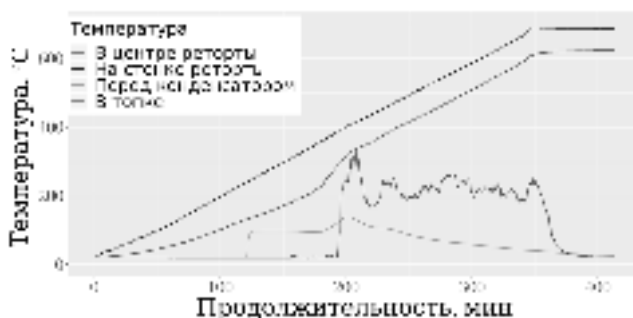


Рис. 1. График пиролиза берёзы
Fig. 1. Graph of birch pyrolysis

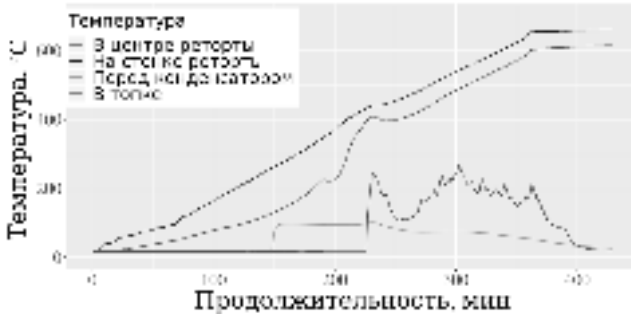


Рис. 2. График пироллиза сосны

Fig. 2. Pine pyrolysis graph

Таблица 4

**Результаты измерения влажности, зольности и содержания
 нелетучего углерода исследуемых образцов**

**Results of measuring moisture, ash content and non-volatile carbon content
 of the test samples**

Образец	Зольность, %	Влажность, %	Содержание нелетучего углерода, %
K0	1,61±0,13	5,60±0,19	86,8±1,52
K1	1,40±0,10	7,21±0,31	95,43±1,02
K2	1,42±0,22	5,54±0,27	74,18±1,44
B1	1,26±0,54	0,76±0,23	92,33±0,47
C1	2,97±0,21	8,82±0,63	75,82±1,75

В табл. 4 показаны основные характеристики угля. Исходя из содержания нелетучего углерода оптимальными образцами для изготовления брикетов являются K1 и B1. На рис. 3–5 показаны зависимости изменения массы сырья и разницы температуры образца и эталона (Al_2O_3) от температуры среды.

При рассмотрении данных пироллиза и термогравиметрии видим, что тепловой эффект пироллиза, наблюдаемый в интервале температур 200–400 °С, для берёзы выше, чем для сосны; также выше и тепловой эффект при сжигании парогазовой фазы. Самый высокий тепловой эффект, однако, наблюдается у кокоса.

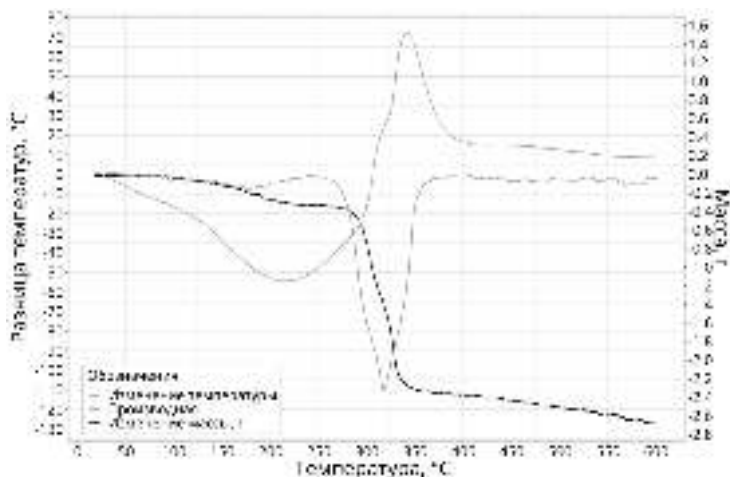


Рис. 3. Кривые ДТА и ДТГ кокоса

Fig. 3. Coconut DTA and DTG Curves

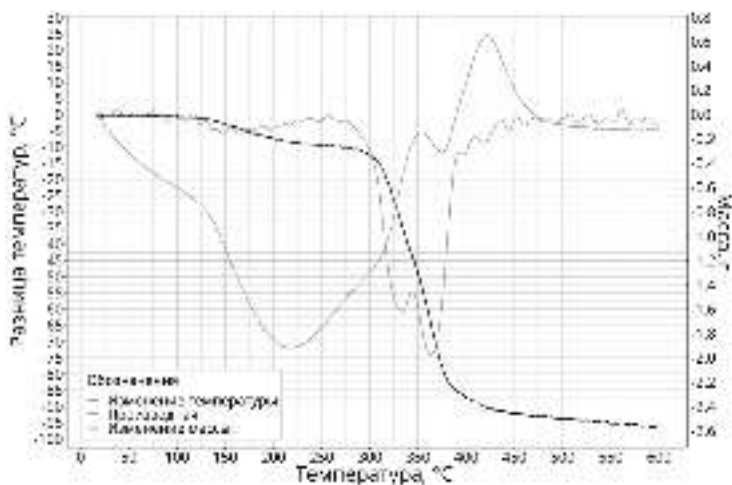


Рис. 4. Кривые ДТА и ДТГ берёзы

Fig. 4. DTA and DTG curves of birch

Фракционная характеристика угля, размельчённого на промышленной установке, представлена в табл. 5.

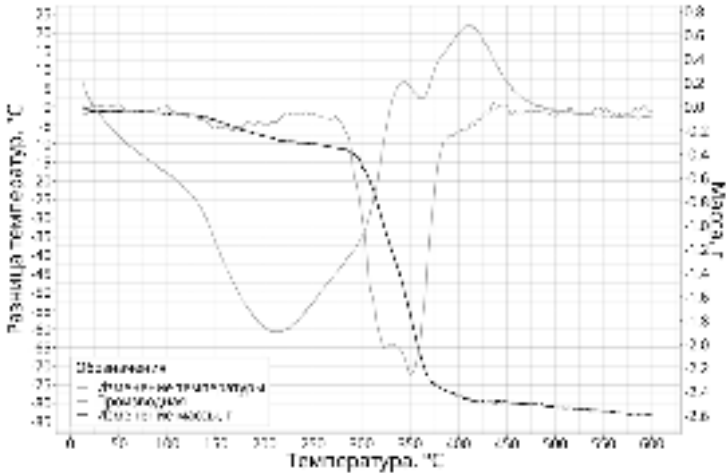


Рис. 5. Кривые ДТА и ДТГ сосны

Fig. 5. DTA and DTG curves of pine

Таблица 5

Фракционный анализ шихты из кокосовой скорлупы (К2)

Fractional analysis of the coconut shell batch (K2)

Фракция	Содержание, %	Фракция	Содержание, %
<0,100 мм	1,5	0,500–1,000 мм	29,6
0,100–0,315 мм	5,0	1,000–1,250 мм	5,2
0,315–0,500 мм	57,0	>1,250 мм	1,7

Из представленных данных видно, что основной фракцией является 0,315–0,500 мм, затем – 0,500–1,000 мм и, что характерно, содержание пылевидной фракции (<0,100 мм) не более 2%. Из литературных данных [Ширшиков и др., 2012] следует, что максимальная прочность брикетов достигается при максимальном содержании пылевидной фракции в брикете. Однако большее содержание мелкодисперсной фракции требует большего содержания связующего в брикете, вследствие большей площади поверхности, что отрицательно сказывается на эксплуатационных качествах брикета.

Фракции и характеристики полученных брикетов представлены в табл. 7, где Р – давление прессования, МПа; С – количество связующего, %;

S, *D*, *V* – запах, прочность и внешний вид соответственно, % от оптимального образца. Уголь из скорлупы кокосового ореха полученный в условиях лаборатории, показал схожие характеристики с коммерческим образцом. Древесноугольные брикеты из сосны показали похожие органолептические характеристики, но по прочности оказались хуже, чем брикеты из кокосовой скорлупы. Брикеты из берёзового угля показали сопоставимые прочностные характеристики с брикетами из кокосовой скорлупы.

Таблица 6

Фракционные составы, используемые в исследовании

Used Fractional Compositions

Номер фракции в сводной таблице	Фракция по содержанию, %					
	<0,100 мм	0,100–0,315 мм	0,315–0,500 мм	0,500–1,000 мм	1,000–1,250 мм	>1,250 мм
1	1,5	5,0	57,0	29,6	5,2	1,7
2	80	10	10	–	–	–
3	–	10	50	40	–	–
4	25	75	–	–	–	–
5	15	50	–	–	25	10
6	–	30	50	20	–	–
7	1	30	15	54	–	–
8	1	15	30	54	–	–

Таблица 7

Сводные результаты исследования

The Summary

Номер образца	Номер фракции	<i>P</i> , МПа	Тип крахмала	<i>C</i> , %	<i>S</i> , %	<i>D</i> , %	<i>V</i> , %
К0							
1	1	–	–	–	100	100	100
К2							
2	1	10	Тапиоковый	5	100	60	60
3	1	15	Кукурузный	15	20	80	60

Окончание табл. 7

Номер образца	Номер фракции	P , МПа	Тип крахмала	C , %	S , %	D , %	V , %
К1							
4	2	20	Кукурузный	15	20	40	20
5	3	20	Кукурузный	15	20	80	80
6	3	10	Тапиоковый	5	80	40	60
7	1	15	Кукурузный	2,5	100	40	80
8	1	10	CMS-PFT-1000	5	80	40	60
9	1	10	LerfAC	7,5	80	100	100
10	4	15	Тапиоковый	5	80	40	20
11	6	10	CMS-PFT-1000	7,5	60	40	80
12	5	10	СНАО-F2	5	80	20	40
13	5	10	Microlys56	5	80	20	40
Б1							
14	6	10	LerfAC	5	100	80	80
15	6	15	LerfAC	7,5	80	100	80
16	6	10	LerfAC	7,5	80	80	100
17	5	10	LerfAC	7,5	100	40	60
18	7	10	LerfAC	7,5	100	60	60
С1							
19	1	10	LerfAC	5	100	40	60
20	1	10	LerfAC	7,5	80	40	80
21	8	20	LerfAC	7,5	80	60	60
22	8	20	LerfAC	15	40	60	60

После проведения исследования с образцом К1 лучшие результаты показал образец 9 со связующим крахмалом марки LerfAC. Поэтому дальнейшие исследования образцов Б1 и С1 проводились именно с этим крахмалом. По таблице результатов можно видеть, что наиболее схожие с искомыми результаты показал брикет 16 из берёзы.

Выводы

Проведён сравнительный анализ брикетов для кальянов из кокосового, берёзового и соснового углей. Установлено, что основными параметрами, отвечающими за качество брикета, являются: фракционный состав, количество и тип связующего, качество и происхождение углистого материала.

Высокое содержание в брикете фракции менее 0,1 мм ухудшает внешний вид брикета во время горения. Содержание крахмала выше 7,5% придает брикету неприятный запах, интенсифицирующийся с увеличением содержания связующего. Напротив, уменьшение содержания крахмала ниже 5% ведет к резкому снижению прочности.

Брикеты, полученные из древесного угля, требуют большего содержания воды и соответственно связующего, чем брикеты из кокосового угля, вследствие более пористой структуры берёзового угля, по сравнению с кокосовым.

Брикеты из берёзового угля могут представлять коммерческую ценность в использовании их в кальяне, так как они более экономически целесообразны для стран, не имеющих доступа к собственным запасам кокосового ореха.

Библиографический список

Gebresas Alula, Asmelash Haftom, Berhe Hadush, Tesfay Tsegay. Briquetting of charcoal from sesame stalk // Journal of energy. 2015. Vol. 2015. P. 6.

Demirbas Ayhan. Properties of charcoal derived from hazelnut shell and the production of briquettes using pyrolytic oil // Energy. 1998. No. 24. P. 141–150.

Edgardo P. Reyes Martin Jugo Generoso R. Cortez Antonia Saldana. Coconut charcoal briquettes // The Philippine journal of scienc. 1958. P. 33–36.

Environmentally safe charcoal-based heat source Correa Felipe, McDowall Tom, Leveridge Philip; Felipe Correa; Felipe Correa and Tom McDowall and Philip Leveridge. 2010. No. 212033.

Charcoal briquette Heffernan G.F.; George F. Heffernan and St. Louis and Henry L. Dahm; G.F. Heffernan. 1934. No. 609568.

Gabriel Borowski, Witold Stepniewski, Katarzyna Wojcik-Oliveira. Effect of starch binder on charcoal briquette properties // International Agrophysics. 2017. P. 571–574.

Sotannde O.A., Oluyeye A.O., Abah G.B. et al. Physical and combustion properties of charcoal briquettes from neem wood residues // International Agrophysics. 2010. Vol. 24, no. 2. P. 189–194.

Amaya Alejandro, Corengia Mariana, Cuna Anres et al. Preparation of charcoal pellets from eucalyptus wood with different binders // Journal of energy and natural resources. 2015. May. Vol. 4, no. 2. P. 34–39.

Charcoal briquettes and method for their manufacture. Swineheart Richard W., Bull Harry W.; The Dow Chemical Company, a corporation of Delaware ; Richard W., Swineheart and Harry W. Bull. 1958. No. 536015.

Burchill P., Hallam G.D., Lowe A.J., Moon N. Studies of coals and binder systems for smokeless fuel briquettes // Fuel processing technology. 1994. Vol. 41. P. 63–77.

Charcoal briquette and process of making same. Leuenberger Walter A., Dumbleton William T. ; Carbon briquet company, a corporation of Washington ; Walter A., Leuenberger and William T. Dumbleton. 1925. No. 608774.

Molted pulp coated charcoal and charcoal briquettes. Doyle William V. ; Diamond National Corporation, a corporation of Delaware; William V. Doyle. 1960. No. 602380.

Sadawi R., Hachmoeller O., Winfough M. et al. The hookah series part 2: elemental analysis and arsenic speciation in hookah charcoals // J. Anal. At. Spectrom. 2014. Vol. 29. P. 2146–2158. URL: <http://dx.doi.org/10.1039/C4JA00163J.X>

Гильфанов М.Ф., Забелкин С.А., Грачев А.Н., Башикиров В.Н. К вопросу использования жидких продуктов пиролиза древесины в качестве связующего для брикетирования // Вестник Казанского технологического университета. 2013. С. 106–108.

Бахтиярова А.В., Белоусов И.И., Кинд А.В. и др. Пиролиз и активация уплотненного целлюлозного // Химическая технология. 2019. Т. 20, № 3. С. 98–103.

Ширишников В.И., Литвинов В.В., Пиялкин В.Н. Химия и технология производства древесно-угольных брикетов. СПб.: Химиздат, 2012. 176 с.

Сазанов Ю.Н. Термический анализ органических соединений. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 368 с. ISBN: 978-5-7422-5395-2.X

References

Gebresas Alula, Asmelash Haftom, Berhe Hadush, Tesfay Tsegay. Briquetting of charcoal from sesame stalk. *Journal of energy*, 2015, Vol. 2015, p. 6.

Demirbas Ayhan. Properties of charcoal derived from hazelnut shell and the production of briquettes using pyrolytic oil. *Energy*, 1998, No. 24, pp. 141–150.

Edgardo P. Reyes Martin Jugo Generoso R. Cortez Antonia Saldana. Coconut charcoal briquettes. *The Philippine journal of science*, 1958, pp. 33–36.

Environmentally safe charcoal-based heat source Correa Felipe, McDowall Tom, Leveridge Philip; Felipe Correa; Felipe Correa and Tom McDowall and Philip Leveridge, 2010, no. 212033.

Charcoal briquette Heffernan G.F.; George F. Heffernan and St. Louis and Henry L. Dahm; G.F. Heffernan, 1934, no. 609568.

Gabriel Borowski, Witold Stepniewski, Katarzyna Wojcik-Oliveira. Effect of starch binder on charcoal briquette properties. *International Agrophysics*, 2017, pp. 571–574.

Sotande O.A., Oluyeye A.O., Abah G.B. et al. Physical and combustion properties of charcoal briquettes from neem wood residues. *International Agrophysics*, 2010, Vol. 24, no. 2, pp. 189–194.

Amaya Alejandro, Corengia Mariana, Cuna Anres et al. Preparation of charcoal pellets from eucalyptus wood with different binders. *Journal of energy and natural resources*, 2015. May, vol. 4, no. 2, pp. 34–39.

Charcoal briquettes and method for their manufacture. Swineheart Richard W., Bull Harry W.; The Dow Chemical Company, a corporation of Delaware; Richard W., Swineheart and Harry W. Bull. 1958. No. 536015.

Burchill P., Hallam G.D., Lowe A.J., Moon N. Studies of coals and binder systems for smokeless fuel briquettes. *Fuel processing technology*, 1994, Vol. 41, pp. 63–77.

Charcoal briquette and process of making same. Leuenberger Walter A., Dumbleton William T. Carbon briquet company, a corporation of Washington ; Walter A. Leuenberger and William T., Dumbleton, 1925, no. 608774.

Molded pulp coated charcoal and charcoal briquettes. Doyle William V. ; Diamond National Corporation, a corporation of Delaware; William V. Doyle, 1960, no. 602380.

Saadawi R., Hachmoeller O., Winfough M. et al. The hookah series part 2: elemental analysis and arsenic speciation in hookah charcoals. *J. Anal. At. Spectrom*, 2014, vol. 29, pp. 2146–2158. URL: <http://dx.doi.org/10.1039/C4JA00163J.X>

Gilfanov M.F., Zabelkin S.A., Grachev A.N., Bashkirov V.N. К вопросу использования жидких продуктов пиролиза древесины в качестве связующего для брикетирования. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2013, pp. 106–108. (In Russ.)

Bakhtiyarova A.V., Belousov I.I., Kind A.V. i dr. Пироліз і активізація ущільненого тсelloлiнiна. *Khimicheskaya tekhnologiya*, 2019, vol. 20, no. 3, pp. 98–103. (In Russ.)

Shirshikov V.I., Litvinov V.V., Piyalkin V.N. Хімія і технологія виробства деревно-угольних брикетів. SPb.: Khimizdat, 2012. 176 p. (In Russ.)

Sazanov Yu.N. Термічний аналіз органічних сполучень. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta. 2016. 368 p. ISBN: 978-5-7422-5395-2.X

Матеріал надійшов в редакцію 17.11.2020

Павлов Н.А., Спицын А.А., Минич М.И., Бахтиярова А.В. К вопросу получения качественных древесноугольных брикетов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 234. С. 217–231. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.217-231

Исследовались характеристики и свойства древесно-угольных брикетов, используемых для кальянокурения, влияющие на их эксплуатационные

возможности. Проведён сравнительный анализ древесно-угольных брикетов из кокосового, берёзового и соснового сырья. Кокосовый уголь является дорогостоящим сырьём. Предложено заменить кокосовый уголь на берёзовый, что экономически целесообразно. Для получения образцов угля проведён пиролиз кокоса, берёзы и сосны. Полученные образцы в дальнейшем исследовались методами ТГА и ДТГ. Определялись влажность, зольность, содержание нелетучего углерода. Проведено исследование, моделирующее рабочее состояние брикета, что позволило определить важнейшие характеристики древесно-угольного брикета используемого для кальянокурения. Выявлено, что основными эксплуатационными характеристиками являются: запах и прочность брикета в рабочем состоянии, характер разрушения при интенсивном воздействии воздухом. Определено влияние на качество брикетов следующих факторов: сырьё для угля, фракционный состав угля, тип связующего, количество связующего, давление прессования. Полученные брикеты из берёзового угля не уступают кокосовым брикетам по ряду характеристик, что позволяет снизить затраты на изготовление древесно-угольных брикетов при использовании берёзового сырья вместо кокосового. Выявлена перспектива использования берёзового угля в качестве замены кокосовому, а также предложена формула получения конечного продукта.

Ключевые слова: уголь, древесно-угольный брикет, кальянокурение, крахмал.

Pavlov N.A., Spitsyn A.A., Minich M.I., Bakhtiyarova A.V. Towards quality charcoal briquettes. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehničeskoj Akademii*, 2021, is. 234, pp. 217–231 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.217-231

The work investigated the characteristics and properties that affect the operational capabilities of charcoal briquettes used for hookah smoking. A comparative analysis of charcoal briquettes from coconut, birch and pine raw materials. The main raw material for the production of hookah briquettes is coconut coal, which is an expensive raw material. The paper proposes to replace coconut coal with birch, which is economically feasible. To obtain coal samples, pyrolysis of coconut, birch and pine was carried out. The obtained samples were further investigated by the TGA and DTG methods, moisture, ash, and non-volatile carbon content were determined. A study simulating the working condition of the briquette was carried out, which made it possible to determine the most important characteristics of the charcoal briquette used for hookah smoking. It is revealed that the main operational characteristics are: the smell and durability of the briquette in working condition, the nature of the destruction under intense exposure to air. The influence of the following factors on the quality of briquettes was determined: raw materials for coal, fractional composition of coal, type of binder, amount of binder, pressing pressure. The obtained birch charcoal briquettes

are not inferior to coconut briquettes in a number of characteristics, which allows to reduce the cost of producing charcoal briquettes when using birch raw materials instead of coconut. The prospect of using birch coal as a substitute for coconut coal is revealed, and a formula for obtaining the final product is also proposed.

К е y w o r d s : coal, charcoal briquette, hookah's smoking, starch.

ПАВЛОВ Никита Александрович – магистрант кафедры технологии лесохимических продуктов, химии древесины и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. ORCID 0000-0002-2764-8021.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: dregazyl000@yandex.ru

PAVLOV Nikita A. – Master student in the Department of technology of wood chemical products, wood chemistry and biotechnology, St.Petersburg state Forest Technical University. ORCID 0000-0002-2764-8021.

194021. Institute al. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: dregazyl000@yandex.ru

СПИЦЫН Андрей Александрович – доцент кафедры технологии лесохимических продуктов, химии древесины и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: spitsyn.andrey@gmail.com ORCID 0000-0003-1654-1584.

SPITSYN Andrey A. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of technology of wood chemical products, wood chemistry and biotechnology, St.Petersburg state Forest Technical University. ORCID 0000-0003-1654-1584.

194021. Institute al. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: spitsyn.andrey@gmail.com

МИНИЧ Мария Игоревна – магистрант кафедры технологии лесохимических продуктов, химии древесины и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. ORCID 0000-0002-6066-5376.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vampiresuperman000@gmail.com

MINICH Maria I. – Master student in the Department of technology of wood chemical products, wood chemistry and biotechnology, St.Petersburg state Forest Technical University. ORCID 0000-0002-6066-5376.

194021. Institute al. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: E-mail: vampiresuperman@gmail.com

БАХТИЯРОВА Анна Валерьевна – старший преподаватель кафедры технологии лесохимических продуктов, химии древесины и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. ORCID 0000-0002-0480-3156.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: nyroc@rambler.ru

BAKHTIYAROVA Anna V. – senior lecturer of the Department of technology of wood chemical products, wood chemistry and biotechnology, St.Petersburg state Forest Technical University. ORCID 0000-0002-0480-3156.

194021. Institute al. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: nyroc@rambler.ru ,