

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <https://naukovedenie.ru/>

Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/vol9-6.php>

URL статьи: <https://naukovedenie.ru/PDF/64TVN617.pdf>

Статья опубликована 24.12.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Николаева Л.А., Попов С.Н., Буренина О.Н., Соловьев Т.М. Утилизация отходов деревоперерабатывающих предприятий Республики Саха (Якутия) в топливные брикеты // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/64TVN617.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 662.8:678.8

Николаева Лира Александровна

ФГБУН «Институт проблем нефти и газа СО РАН», Россия, Якутск¹
Старший научный сотрудник
Кандидат технических наук
E-mail: lanikolaeva_ipng@mail.ru

Попов Савва Николаевич

ФГБУН «Институт проблем нефти и газа СО РАН», Россия, Якутск
Зам. директора по научной работе
Доктор технических наук, профессор
E-mail: inm@ysn.ru

Буренина Ольга Николаевна

ФГБУН «Институт проблем нефти и газа СО РАН», Россия, Якутск
Зав. лабораторией
Кандидат технических наук
E-mail: bon_ipng@mail.ru

Соловьев Тускул Михайлович

ФГБУН «Институт проблем нефти и газа СО РАН», Россия, Якутск
Инженер
E-mail: tuskulsolovev@yandex.ru

**Утилизация отходов
деревоперерабатывающих предприятий Республики
Саха (Якутия) в топливные брикеты**

Аннотация. В статье рассмотрено современное состояние и перспективы развития лесопромышленного комплекса Республики Саха (Якутия), крупнейших предприятий по производству лесоматериалов и заготовке деловой древесины. Предлагается вовлечение в дальнейшую переработку отходов древесины с получением топливных продуктов для производства тепловой энергии. Проведен обзор передовых отечественных и зарубежных исследований по брикетированию отходов деревообработки. Отмечено, что в борьбе за повышение теплотворных свойств топливных брикетов не отдается должного внимания на прочность и атмосферостойкость, тем самым, на длительную жизнеспособность брикетов, что особенно важно для продукции, предназначенной для северных и арктических районов.

¹ 677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1

Проведенные авторами предварительные исследования, по разработке технологии производства топливных брикетов из отходов деревообработки и угледобычи показали, что отходы от переработки сосны и лиственницы, произрастающих в Якутии, могут быть использованы в качестве эффективного связующего для производства брикетированного топлива, в том числе, из местных бурых углей Кангаласского и Кировского месторождений. Проводимые исследования и полученные результаты могут быть использованы в топливной промышленности Республики Саха (Якутия) для создания углебрикетного производства на бурогольных месторождениях Якутии.

Ключевые слова: деревообработка; отходы древесины; биоэнергетика; брикетирование; связующее; топливные брикеты; брикетное производство

Основными направлениями развития лесного комплекса на Дальнем Востоке и, в частности, в Республике Саха (Якутия) являются увеличение глубины переработки древесины и производство продукции с высокой добавленной стоимостью с использованием высокоэффективных энерго- и ресурсосберегающих технологий [1].

В лесопромышленном комплексе Республики Саха (Якутия) задействовано 141 предприятие всех форм собственности, из них 70 предприятий в области "лесозаготовка" и 71 предприятие – "обработка древесины и производство изделий из дерева" [2-4]. Из них 8 деревообрабатывающих заводов оснащены оборудованием европейского производства, выпускающих экспортно-ориентированную продукцию на уровне международных стандартов, общей производственной мощностью свыше 300 тыс. куб. м в год пилопродукции, погонажных и клееных изделий, более 42,0 тыс. кв. м деревянных домов заводской готовности и около 141,0 тыс. кв. м столярной продукции (табл. 1).

Таблица 1

**Крупные предприятия
лесоперерабатывающей промышленности Республики Саха (Якутия)**

Предприятия	Производство лесоматериалов, тыс. м ³ /год	Заготовка деловой древесины, тыс. м ³ /год
ООО «Алмас», г. Якутск	30	-
ООО «Баргузин», г. Ленск	15	25
ООО «Алданский ЛПК», г. Алдан	15	50
ООО «Амга лес», г. Алдан	10	25
ЗАО «Юпитер», г. Ленск	15	20
ООО «Масс» г. Якутск	2	-
ГАУ РС (Я) Якутлесресурс», п. Табага.	2	-
ООО «Алмас», пос. Витим	15	120
ООО «Витимская лесная компания», пос. Витим	25	60

В настоящее время около 35 % объема заготовленной древесины теряется в виде безвозвратных технологических отходов – щепы, опилок и коры, тонкомера в объеме более 600,0 тыс. куб. м ежегодно. Отходы на этапе подготовки леса могут достигать нескольких десятков процентов (пни, сучья, хвоя и т. д.). Типичная лесопилка превращает около 60 % древесины в доски, при этом 12 % уходит в опилки, 6 % – в концевые обрезки и 22 % – в горбыль и обрезки кромок (табл. 2) [3-4]. Тогда как данные отходы древесины могут быть вовлечены в дальнейшую переработку с получением топливных продуктов для производства тепловой энергии.

Таблица 2

Распределение отходов по фракционному составу

Вид производства	Кусковые отходы, %	Стружка, %	Опилки, %	Примечание
1. Домостроение	15	20	5	
2. Паркетное производство	30-36	16-18	10-12	
3. Мебельное производство	14-15	12-13	7-8	0,8-0,9 (пыль), 2,8 (обрезки фанеры)
4. Отходы лесопиления	18-21	-	10-13	
5. Отходы фанерного производства	35-48 (куски шпона), 2 (отторцовки бревен)	-	0,5-3,5 (с пылью)	

Топливные брикеты – экологически чистое топливо из сухих опилок всех пород древесины, а также других растительных отходов. Брикет не включает в себя никаких вредных веществ и примесей. Переработанное в брикет сырье значительно уменьшается в объеме, что позволяет в несколько раз снизить расходы на хранение и транспортировку, при этом калорийность его превосходит калорийность обычных дров. В основе технологии производства древесных топливных брикетов лежит процесс прессования опилок под высоким давлением при нагревании, связующим веществом является лигнин, содержащийся в клетках растений.

Лигнин – аморфный полимер ароматической природы сложного строения, содержит больше углерода и меньше кислорода, чем целлюлоза. Цвет лигнина зависит от способа его выделения из древесины. Плотность лигнина 1,25-1,45 г/см³. Элементный химический состав древесины практически одинаковый и включает: углерода – 49-50 %; кислорода – 43-44 %; водорода – 6 %; азота (для абсолютно сухой древесины) – около 0,1-0,3 %.

В лесной промышленности Якутии основными источниками сырья служат хвойные породы, а именно лиственница и сосна. Уровень содержания лигнина в этих деревьях примерно одинаков и составляет 28,2 % для сосны, 29,5 % для лиственницы. При этом, содержание лигнина определяется не только породой, но и многими другими факторами: климатической зоной произрастания, характером почвы, возрастом дерева. Кроме того, его содержание различно и в разных частях дерева. Так, большая доля лигнина характерна для самой нижней, вершинной и внутренней частей ствола, для ветвей хвойных деревьев и сжатой древесины. При этом рассмотрение структурной организации древесины на клеточном уровне показало, что основная масса лигнина сосредоточена в веществе срединной пластинки и примерно 25 % в клеточной стенке, причем лигнины, локализованные в этих двух местоположениях клеточной ткани, значительно различаются по своим химическим и полимерным свойствам (табл. 3 и 4) [4-6, 10].

Таблица 3

Химический состав древесины, %

Порода	Целлюлоза	Лигнин	Гемицеллюлоза		Зола	Экстрактивные вещества	
			Пентозаны	Гексозаны		Растворимые в воде	Растворимые в эфире
Сосна	51,9	28,2	11,2	9,3	0,2	0,6	1,6
Ель	58,3	29,0	10,1	9,8	0,2	1,8	1,1
Лиственница	45,8	29,5	9,3	-	1,0	5,1	1,8
Пихта	48,0	29,9	5,3	17,8	0,7	1,4	0,9
Кедр	50,0	30,1	8,6	11,8	0,1	1,5	2,4
Дуб	38,9	23,8	28,8	-	0,3	1,8	0,6
Бук	42,2	20,8	29,3	7,6	0,5	0,6	0,5
Береза	46,8	21,2	32,9	-	0,4	1,5	3,0
Клен	41,5	23,1	25,6	7,7	0,3	0,5	0,3
Осина	52,4	20,3	22,6	0,5	0,2	2,2	1,6

Таблица 4

Химический состав древесной коры, %

Компоненты	Порода					
	Сосна		Ель		Береза	
	Луб	Корка	Луб	Корка	Луб	Корка
Целлюлоза	18,2	16,4	23,2	14,3	18,5	3,4
Лигнин	17,1	43,6	15,6	27,4	20,3	1,3
Пентозаны	12,1	6,8	9,7	7,1	20,2	1,1
Гексозаны	16,3	6,0	9,3	7,7	-	-
Экстрактивные вещества	24,7	17,7	34,8	30,5	15,4	43,7

В зависимости от температуры и приложенного давления высокомолекулярные соединения, входящие в состав древесины, могут находиться в различных физических состояниях, каждому из которых отвечает определенный комплекс механических свойств (табл. 5) [6]. Как следует из табл. 5, при термическом воздействии протекающие в древесине физико-химические процессы, в основном, определяются физическим состоянием и характером взаимосвязи целлюлозы, лигнина и гемицеллюлозы, т. е. микроструктурой клеточных стенок. Влага оказывает пластифицирующее действие и тем самым снижает температуру перехода лигнина из одного состояния в другое [7]. Время и скорость нарастания давления влияют на соотношение пластических и упругих деформаций. При очень быстром и мгновенном приложении давления имеют место деформации материала, которые являются в основном упругими. С уменьшением скорости нарастания давления и увеличением времени его воздействия доля пластических деформаций возрастает, а доля упругих уменьшается [8].

Таблица 5

Температурные интервалы различного физического состояния натуральной древесины и ее компонентов

Исследуемый материал	Температурный интервал физического состояния, Т °С					
	В зависимости от влажности исследуемого материала				Абсолютно сухого материала	
	Хрупкое тело	Область вынужденной высокоэластичности	Область возможной кристаллизации	Вязкотекучее состояние	Область растекловывания	Химическое разложение
Целлюлоза	-100 – 0	25 – 100	120 – 180		220 – 230	200 – 250
Гемицеллюлоза	-100 – 0	80 – 120		148 – 190	160 – 180	100 – 210
Лигнин	-150 – 17	40 – 80		110 – 180	180 – 200	200 – 250
ЛУК (лигноуглеводный комплекс)	-40 – -35	135 – 160				
Холоцеллюлоза	-25 – -5	140 – 170				
Древесина	-50 – 16	35 – 90		100 – 220	230 – 240	250
Механическая смесь компонентов, составляющих древесину		50 – 150			180 – 230	

Таким образом, влажность, температура и давление прессования брикетируемого древесного сырья являются исходными параметрами при разработке технологий производства высококачественного топлива и зависят от вида используемой древесины и возможностей технологического оборудования.

Несмотря на проводимую государственную политику в области энергосбережения и использования возобновляемых источников энергии, актуальность и наличие сырья производство топливных брикетов на территории Республики Саха (Якутия) отсутствует. Тогда как организация производства на базе деревообрабатывающих заводов позволит обеспечить

нужды своих производств, населения и в перспективе – котельные установки в регионах, где отсутствуют другие источники топлива.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений считается брикетирование биомассы для использования в коммунально-бытовых нуждах. Существуют также комбинированные технологии, совмещающие переработку твердых горючих ископаемых и биомассы. Преимуществом комбинированных рецептурных составов является возможность повышения теплотворной способности относительно низкокалорийной биомассы за счет использования горючих ископаемых, в том числе – их отходов.

Так, простотой технологии получения топливных брикетов отличается способ получения брикетов, включающий смешение измельченного до менее 3 мм угля с зольностью до 22-38 % с органическим веществом, содержащим отходы переработки древесины, с частицами объемом менее $0,01 \text{ см}^3$ – 80-100 % и водой. Брикетирование смеси при 1-20 МПа и сушку до плотности брикетов $0,5-0,9 \text{ г/см}^3$ [11].

Известен способ производства углесодержащих топливных брикетов, который осуществляется прессованием каменного угля со связующим на валковых и штемпельных прессах при удельных давлениях 15-140 МПа, с влажностью смесей 3-20 %. При этом необходимая влажность компонентов достигается за счет их предварительной сушки. После смешивания угля, торфа и отходов лесопереработки исходной влажности проводится формование смеси методом экструдирования с одновременным частичным обезвоживанием смеси в шнековом уплотнителе экструдера, после которой осуществляется резка частично обезвоженной массы на брикеты и сушка брикетов [12].

Способ получения брикетов [13] предусматривает включение в состав брикетируемой смеси кроме отходов древесины, угольной мелочи, мазута еще и сапропеля естественной влажности. В качестве основного компонента биотоплива используется фрезерный торф влажностью 40-65 % с размером фракций менее 10 мм. Древесные отходы имеют размер фракций 0,1-5,0 мм, а угольная мелочь – менее 1 мм.

Способ получения топливных брикетов [14] заключается в измельчении бурого угля, дозировании и смешивании его с опилками и брикетировании смеси. Из бурого угля крупностью менее 2,5 мм и опилок деревьев хвойных пород составляют смесь без связующего, из которой при содержании опилок 17 ± 1 масс. %, температуре брикетирования 90 ± 5 °С и удельном давлении брикетирования 50 ± 2 МПа получают брикеты с механической прочностью на сжатие не менее 7,8 МПа.

Данный способ [15] может найти практическое применение на брикетных фабриках в целях удешевления и улучшения качества выпускаемых топливных брикетов для промышленных и жилищно-бытовых нужд. Состав для получения топливных брикетов включает мелкофракционное топливо – уголь, полукокс или нефтяной кокс, структурообразующую и связующую добавку, в качестве структурообразующей и связующей добавки содержит смесь древесной щепы и лигнина в равных количествах при следующем соотношении компонентов, масс. %: мелкофракционное топливо 30-70; древесная щепа 15-35; лигнин 15-35.

С целью повышения механической прочности топливных брикетов, упрощения технологического оформления процесса за счет снижения температуры прессования, исключения предварительного обезвоживания гидролизного лигнина, снижения энергозатрат на подготовку шихты и получения качественных топливных брикетов с меньшим содержанием менее калорийного компонента, расширения ассортимента утилизируемых отходов и повышения экономичности процесса, измельченный бурый уголь смешивают с измельченными лигноцеллюлозными отходами в массовом соотношении (1,5-4):1 и брикетируют смесь при

комнатной температуре [16]. При этом в качестве лигноцеллюлозных отходов используют гидролизный лигнин или древесные опилки.

Способ [17] относится к области углесодержащего топлива, в частности, к композиционному топливу, образованному из техногенных отходов: штыба – отходов, образующихся в процессе угледобычи и обогащения флотационным методом (смесь породы и мелкодисперсной угольной пыли); отсева – отходов, образующихся в процессе отделения товарной фракции угля; древесных опилок – являющихся отходами деревоперерабатывающих производств (вместо опилок могут быть использованы любые отходы дерева в измельченном виде). Топливо (брикет, гранула) содержит 47,5-52,5 % штыба, 28,5-31,5 % отсева угля и 19-21 % древесных опилок. Полученное топливо дешевле за счет использования только отходов угледобычи и отходов деревоперерабатывающих производств без применения специальных связующих материалов, экономично при изготовлении, обладает высокой теплотой сгорания угля, при сгорании не происходит шлакообразования, полученная мелкодисперсная зола пригодна для использования в качестве минерального удобрения.

Таким образом, анализ технических характеристик известных способов подтверждает перспективность композитных составов топливных брикетов с использованием отходов деревообработки, обеспечивающих высокую теплотворную способность. При этом в борьбе за повышение теплотворных свойств топливных брикетов не отдается должного внимания на прочность и атмосферостойкость, тем самым, на длительную жизнеспособность брикетов, что особенно важно для продукции, предназначенной для северных и арктических районов. Информация о показателях водопоглощения и выхода летучих веществ, от которых во многом зависит стойкость к атмосферным воздействиям, и экологическая безопасность также отсутствует.

В связи с этим, нами были проведены предварительные поисковые исследования по разработке технологии производства топливных брикетов из отходов деревообработки и угледобычи. Было установлено, что отходы от переработки сосны и лиственницы, произрастающих в Якутии, могут быть использованы в качестве эффективного связующего для производства брикетированного топлива, в том числе, из местных бурых углей Кангаласского и Кировского месторождений. При этом, содержание отходов древесины может варьироваться от 3 масс. % до 100 масс. % при улучшении или сохранении всех технических свойств, регламентируемых для топливных брикетов.

Проводимые исследования и полученные результаты могут быть использованы в топливной промышленности Республики Саха (Якутия) для создания углебрикетного производства на буроугольных месторождениях Якутии. Полученные композиционные брикеты могут применяться как эффективное топливо для отопления объектов малой и средней мощности, объектов социально-бытового назначения, для бытовых нужд населения, в мини котельных, печах, котлах, муниципальных отопительных системах и частных домовладениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года. – Утвержд. распоряжением Правительства РФ, 2009. – С. 256.
2. <https://minprom.sakha.gov.ru> [Электронный ресурс].
3. Указ Главы Республики Саха (Якутия) от 10.10.2011 №947 О государственной программе Республики Саха (Якутия) «Развитие лесного хозяйства на 2012-2016 годы» // Якутские ведомости, 2011. – №85(1079). – С. 65-77.
4. Схема комплексного развития производительных сил, транспорта и энергетики Республики Саха (Якутия) до 2020 года. Сводный том. – Москва-Якутск, 2006. – С. 279.
5. Указ Главы РС(Я) от 21 апреля 2017 г. № 1854 О государственной программе Республики Саха (Якутия) «Развитие промышленности в Республике Саха (Якутия) на 2017-2021 годы». Подпрограмма «Развитие Лесопромышленного комплекса РС (Я) на 2017-2021 годы». – С. 124.
6. Мельникова Л. В. Технология композиционных материалов из древесины: уч. пособие – М.: МГУЛ, 2004. – 234 с.
7. Сарканен К. В., Людвиг К. Х. Лигнины – М.: Лесная промышленность, 1975. – 631 с.
8. Крохин, В. Н. Брикетирование Брикетирование углей [Текст] / В. Н. Крохин. – М.: Недра, 1974. – 216 с.
9. Гомонай М. В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы. М.: ГОУ ВПО МГУЛ. 2006. – 68 с.
10. Ушницкий, А. А. Перспективы и возможности совершенствования лесопромышленного комплекса Якутии / А. А. Ушницкий, М. Ф. Лавров // Фундаментальные исследования, 2014. – №9. – С. 1252-1254.
11. Пат. 2073066 РФ, МПК С10 L 5/14. Способ получения топливных брикетов / Гомзарь И. М., Незаметдинов А. Б.; Заявлено 19.01.1993; Оpubл. 10.02.1997.
12. Пат. 93051187 РФ, МПК С10 L 5/14. Способ получения топливных брикетов / Гомзарь И. М., Сергеев Е. В.; Заявлено 11.02.1993; Оpubл. 04.27.1996.
13. Пат. 2255955 РФ, МПК С10 F 7/06. Способ получения кускового коммунально-бытового биотоплива / Косов В. И.; Заявлено 16.02.2004; Оpubл. 10.07.2005.
14. Пат. 2316581 РФ, МПК С10 L 5/10. Способ получения топливных брикетов / Петрова Г. И., Москаленко Т. В., Михеев В. А.; Заявлено 24.05.2006; Оpubл. 10.02.2008.
15. Пат. 2053252 РФ, МПК С10 L 5/04. Способ получения топливных брикетов / Пушканов В. В., Головин Г. С., Горлов Е. Г.; Заявлено 20.01.1993; Оpubл. 27.01.1996.
16. Пат. 2057164 РФ, МПК С10 L 5/04. Способ получения топливных брикетов / Пушканов В. В., Головин Г. С., Горлов Е. Г.; Заявлено 20.01.1993; Оpubл. 27.03.1996.
17. Пат. 2268914 РФ, МПК С10 L 5/12. Топливный брикет / Пасешник Г. В., Шмаков С. П.; Заявлено 29.12.2001; Оpubл. 27.01.2006.

Nikolaeva Lira Aleksandrovna

Institute of oil and gas problems of the Siberian branch of the Russian academy of sciences, Russia, Yakutsk
E-mail: lanikolaeva_ipng@mail.ru

Popov Savva Nikolaevich

Institute of oil and gas problems of the Siberian branch of the Russian academy of sciences, Russia, Yakutsk
E-mail: inm@ysn.ru

Burenina Olga Nikolaevna

Institute of oil and gas problems of the Siberian branch of the Russian academy of sciences, Russia, Yakutsk
E-mail: bon_ipng@mail.ru

Solovev Tuskul Mikhailovich

Institute of oil and gas problems of the Siberian branch of the Russian academy of sciences, Russia, Yakutsk
E-mail: tuskulsolovev@yandex.ru

Waste utilization of woodworking enterprises of the Republic of Sakha (Yakutia) into fuel briquettes

Abstract. The article considers the current state and prospects for the development of the timber industry of the Republic of Sakha (Yakutia), the largest enterprises for the production of timber and the harvesting of commercial timber. This paper proposes the involvement of wood waste for the production of fuel briquettes. The review of the advanced domestic and foreign researches on briquetting of wood waste was carried out. It was noted that in the struggle to increase the heating value of fuel briquettes, have not give due attention to the mechanical strength and the weather resistance, in other words, to the long-term viability of briquettes, which is especially important for products destined for the northern and arctic regions.

Preliminary research conducted by the authors on the development of technology for the production of fuel briquettes from woodworking and coal mining wastes showed that waste from processing of pine and larch growing in Yakutia can be used as an effective binder for the production of briquetted fuel, including from local brown coals Kangalassky and Kirov deposits. The carried out researches and the received results can be used in the fuel industry of the Republic of Sakha (Yakutia) to create the briquette production in the brown coal deposits of Yakutia.

Keywords: woodworking; wood waste; bioenergy; briquetting; binder; fuel briquettes; briquette production