

УДК 630*161:662.71

ТЕПЛОГЕНЕРАЦИЯ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА КАК БАЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А. В. МЕХРЕНЦЕВ – кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства*;
тел.: +7 912-622-72-10; e-mail: mehrentsev@yandex.ru

М. А. КОРЖ – студентка*

* ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»;
г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37;
тел.: +7 950-541-34-88; e-mail: korzhm@list.ru

Ключевые слова: теплогенерация, древесное топливо, энергосбережение, биоэнергетика, топливно-технологические терминалы, топливная щепка, нормированное топливо, пеллеты, лесное хозяйство, экспорт щепы.

Теплогенерация на основе древесного топлива повышает энергоэффективность в лесопромышленном производстве. Древесное топливо является возобновимым и экологичным ресурсом и рассматривается как эффективная замена топливу из ископаемых ресурсов. Применение нормированных видов древесного топлива позволяет снизить затраты на теплогенерацию. Древесное топливо имеет самые низкие показатели выделения углекислого газа, а также отсутствие серы при сгорании, что обеспечивает экологичность применения данного вида топлива. Важными организационными мероприятиями по переходу на древесные виды топлива являются создание унифицированных муниципальных топливно-технологических терминалов, расширение производства топливной щепы при рубках ухода, а также экспорт избыточной топливной щепы. Эти мероприятия позволяют увеличить количество высокопроизводительных рабочих мест.

HEAT GENERATION BASED ON WOOD FUEL AS A BASIS FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN THE TIMBER INDUSTRY

A. V. MEKHRENTSEV – candidate of technical Sciences, associate Professor,
Professor of the Department of Technology and equipment of forest industry production*,
phone: +7 912-622-72-10; e-mail: mehrentsev@yandex.ru

M. A. KORZH – student*

* FSBEE HE «Ural State Forest Engineering University»,
Yekaterinburg, Sibirian trakt, 37,
phone: +7 950-541-34-88; e-mail: korzhm@list.ru

Keywords: heat generation, wood fuel, energy saving, bioenergy, fuel and technological terminals, fuel chips, standardized fuel, pellets, forestry, export of chips.

Heat generation based on wood fuel increases energy efficiency in the timber industry. Wood fuel is a renewable and environmentally friendly resource and is seen as an effective substitute for fossil fuels. The use of standardized types of wood fuel can reduce the cost of heat generation. Wood fuel has the lowest rates of carbon dioxide emissions, as well as the absence of sulfur during combustion, which ensures environmental friendliness of this

type of fuel. Important organizational measures for the transition to wood fuels are the creation of unified municipal fuel technology terminals, the expansion of the production of fuel chips during logging operations, as well as the export of excess fuel chips. These activities increase the number of high-performance jobs.

Введение

Переход на экологически чистое топливо и безотходное производство – два направления, определяющие статус развития стран в современных условиях.

С каждым годом всё больше стран отказывается от использования ископаемого топлива в пользу древесного, так как оно является практически безвредным для окружающей среды. Древесина – это возобновляемый и контролируемый ресурс, который способен заменить ископаемые виды топлива.

Использование древесного топлива для выработки энергии является не только безвредным для окружающей среды, но и зачастую более экономически оправданным решением. Оно позволяет сэкономить средства, необходимые на транспортировку ископаемых энергоресурсов, а также решить проблему эффективной утилизации отходов местных лесопромышленных производств. Опыт отечественной биоэнергетики на древесном топливе, а также зарубежных стран показывает, что развитие биоэнергетических предприятий положительно влияет на эффективность лесопромышленного производства в целом, а также становится определенным драйвером на пути формирования низкоуглеродной экономики страны [1].

Цель, задача, методика и объекты исследования

Целью данного исследования является анализ существующих процессов теплогенерации на основе нормированных видов древесного топлива. Задачей данного исследования стало определение на базе проведенного анализа технологических и организационных компонентов эффективного теплогенерирующего производства энергии на древесном топливе.

Теплогенерация (heat generation) – это получение теплоты из разных видов энергии. В топливной печи источником теплоты может быть химическая энергия топлива. Теплогенерация при сжигании топлива характеризуется количеством теплоты, выделенной при полном сгорании единицы топлива. При сжигании топлива, изменяя расход воздуха, можно регулировать температуру горения, количество и химический состав продуктов сгорания, устойчивость процесса горения и теплогенерации. При недостатке воздуха происходит неполное сгорание топлива с выделением из топлива горючих веществ в газообразном состоянии. Применение дутья, обогащенного кислородом, позволяет повысить полноту сгорания топлива. Эффективность теплогенерации в различных топливосжигательных устройствах оценивается долей теплоты, передаваемой в рабочее пространство печи,

что определяется коэффициентом использования топлива [2]. Особенностью теплогенератора на основе древесного топлива является его неприхотливость к качеству и влажности сжигаемой древесной массы (допустима абсолютная влажность до 110 % и относительная влажность до 60 %). Действие теплогенератора, использующего при работе переходные процессы пиролиза древесной массы, построено на бездымном горении неразрушаемого слоя топлива. Конструкция теплогенератора позволяет развивать рабочие температуры до 1250 °С. При этом энергоэффективность теплогенератора на древесном топливе может быть существенно повышена за счет снижения энтропии при использовании нормированных видов топлива.

К нормированным видам топлива относят топливную щепу, опил, топливные брикеты и гранулы из древесины или древесного угля, т.е. упорядоченные древесные элементы, однородные по своим размерам, полученные в результате целенаправленного измельчения древесины или прессования древесной или древесно-угольной пыли. В настоящее время в России получила развитие генерация тепла на нормированном топливе – древесных гранулах или пеллетах – главным образом для отопления частных домов, производственных или складских помещений.

Теплотворная способность гранул не уступает таковой бурого угля (около 18 МДж/кг), но стоимость тонны ископаемого топлива более чем в 3 раза ниже, чем у древесных гранул. Однако в отличие от продуктов сгорания древесных топливных гранул продукты сгорания угля совсем не безобидны в плане экологии. Содержание серы в золе гранул меньше в 20 раз, чем в угольном шлаке, которого к тому же образуется в 20 раз больше, чем золы. При сжигании древесных гранул по сравнению с углем почти в 2 раза меньше выделяется диоксида углерода. В то же время тонна древесных топливных пеллет обладает такой же теплотворной способностью, как 1,72 т сухой древесины, 614 кг каменного угля или 423 кг дизельного топлива [3].

По сравнению с жидкотопливными пеллетные котлы более экологичны и дешевле в эксплуатации. При сжигании ископаемых видов твердого и жидкого топлива на поверхность земли оседает огромное количество вредных для организма человека веществ (в том числе канцерогенов). Отметим, что и сжигание природного газа совсем не безобидно и также оставляет в воздухе канцерогены, превышающие предельно допустимые концентрации в 100 и более раз. В табл. 1 приведены сравнительные характеристики основных видов топлива по выбросам в атмосферу.

Древесные гранулы стоят здесь лишь на 5-м месте по удельной теплоте сгорания, но эта величина теоретическая, без учета КПД сгорания топлива

(КПД нетто) и КПД тепловой установки (оба КПД вместе дают КПД брутто).

Необходимо отметить, что большинство котлов для нормированного топлива имеют невысокий КПД брутто, так как используется обычно кучевой способ сжигания, дающий минимальные температуры горения (650–700 °С). При этом теплообменные поверхности сильно засоряются дымовыми газами, что со временем снижает КПД котлов и требует частой чистки поверхностей теплообмена. Применение вместо котельных установок теплогенераторов позволяет не менее чем в 2 раза повысить КПД при производстве тепла брутто.

Наибольшей теплотворной способностью обладает дизельное топливо (10200 ккал/кг;

Таблица 1

Table 1

Сравнительные характеристики основных видов топлива
Comparative characteristics of the main types of fuel

Вид топлива Type of fuel	Теплота сгорания, МДж/кг Heat of combustion, MJ/kg	% серы % sulfur	% золы % ashes	Углекислый газ, кг/ГДж Carbon dioxide, kg/GJ
Дизельное топливо Diesel fuel	42,5	0,2	1	78
Мазут Masut	42	1,2	1,5	78
Природный газ Natural gas	35–38	0,06	0	57
Каменный уголь Coal	15–25	1–3	10–35	60
Гранулы древесные Wood pellets	17,5	0	1	23
Гранулы торфяные Peat pellets	11	0,12	4–20	70
Щепа древесная Wood chips	13	0	1	31
Опилки древесные Sawdust wood	10	0	1	40

42,6 МДж/кг; 11,8 кВт·ч), наименьший показатель теплотворной способности имеет древесина при относительной влажности, равной 40 % (2210 ккал/кг; 9,2 МДж/кг; 2,6 кВт·ч). В то же время следует отметить, что дизельное топливо характеризуется самым высоким показателем выделения углекислого газа – 78 кг/ГДж, который представляет антропогенный загрязнитель, так как не является частью есте-

ственного углеродного цикла. Древесное топливо, в свою очередь, имеет самые низкие показатели выделения углекислого газа, а также отсутствие серы при сгорании, что обеспечивает экологичность применения данного вида топлива. Если древесина будет иметь влажность ниже 20 %, то её эффективность в качестве топлива возрастает в 2 раза, что повысит ее конкурентоспособность.

Существенный фактор успешного развития теплогенерации на древесном топливе – наличие древесных ресурсов на территории. Свердловская область имеет огромные резервы для развития биоэнергетики, которая может рассматриваться как важная отрасль по утилизации, рециклингу низкокачественной древесины и древесных отходов (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Запасы низкокачественной древесины и отходов леспользования в Свердловской области
Stocks of low-quality wood and forest management waste in Sverdlovsk region

Показатели Indicators	Значение Value
Фактическая среднегодовая рубка за последние 10 лет, млн м ³ Actual average Forest cutting over the past 10 years, million m ³	7,1
Ежегодный прирост низкокачественной древесины, млн м ³ Annual growth of low-quality wood	13,11
в т.ч. древесного сырья на топливо, млн м ³ wood raw materials for fuel	3,90
в тоннах условного топлива in tons of conventional fuel	1213
На котельную 100 кВт в год (250 дней), м ³ On boiler room 100 kW per year (250 days), m ³	3000
На котельную 500 кВт в год, м ³ On boiler room 500 kW per year, m ³	15 000

С учетом наличия ресурсов и возможностей освоения расчетной лесосеки (рис. 1), а также особенностей развития транспортных путей в Свердловской области предлагается реализация проекта создания и размещения специализированных топливно-технологических терминалов на территории муниципалитетов в границах следующих лесничеств: Талицкого, Режевского, Туринского, Камышловского, Билимбаевского, Шалинского, Невьянского, Алапаевского, Куш-

винского, Серовского и Карпинского. Наличие на территории региона топливно-технологических терминалов позволит повысить эффективность работы биоэнергетических объектов за счет снижения затрат на доставку топлива, а также за счет формирования резервов биотоплива.

В состав унифицированного муниципального топливно-технологического терминала (УМТТТ) входят: железнодорожный тупик либо автодорога, склад хранения, разгрузочная и загруз-

очная эстакады с комплексом подъемно-транспортного оборудования. Основная задача – прием, хранение и отгрузка различных видов древесного топлива, а также возможность размещения технологического оборудования для доработки биотоплива (разделка, сортировка, раскалывание, сушка, упаковка) в интересах потребителя. В перспективе УМТТТ можно использовать как площадку для формирования экспортных партий лесных грузов, поступающих от предприятий

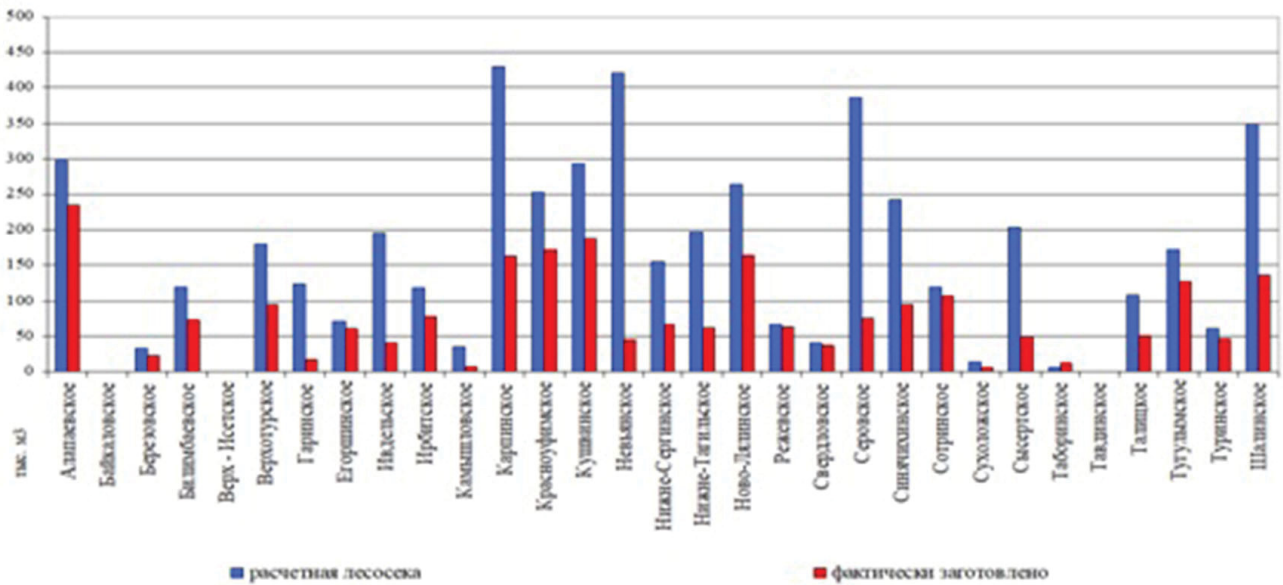


Рис.1. Возможные и фактические объемы заготовки древесины по лесничествам Свердловской области
Fig. 1. Potential and actual volumes of wood harvesting in the forest areas of the Sverdlovsk region

малого предпринимательства, а также для реализации проектов по обеспечению строительными материалами объектов ЖКХ, оказания услуг местному населению по коворкингу. Такой подход позволит не только обеспечить устойчивость поставок древесного топлива муниципальным энергоснабжающим предприятиям, но и создать на территории дополнительные рабочие места. Наличие производственных мощностей по лесопереработке на территории Свердловской

области в границах создаваемых УМТТТ или других лесопромышленных предприятий позволяет дополнительно производить биотопливную массу. Потенциальные объемы отходов лесопромышленного производства на территории Свердловской области: по лесосечным работам – 1647,8 тыс. м³, по лесоскладским работам – 2948,9 тыс. м³, по лесопилению и деревообработке – 959,4 тыс. м³, всего – 8556,7 тыс. м³. При весе сухой древесины обезличенной

656 кг/м³, коэффициенте перевода в тонны условного топлива $C = 0,31$ получим:

- потенциальных отходов на топливо 3901,9 тыс. т., или 1213,4 тыс. т.у.т.;
- возможных – 1782,1 тыс. т., или 554,2 тыс. т.у.т.;
- реальных – 1107,6 тыс. т., или 344,5 тыс. т.у.т.

Таким образом, реальные ресурсы 1107 тыс. т древесных отходов позволят получить 2880 МВт·ч, или 2447,8 тыс. Гкал тепловой энергии, что даст потенциальную возможность практически полностью отказаться от использования привозного ископаемого топлива в виде каменного угля в котельных области. Для примера, на графике (рис. 2) показано распределение котельных в муниципальных образованиях Свердловской области по видам топлива: количество угольных котельных составляет 43,28 % от общего числа, котельных на древесном сырье – 7,6 % [4].

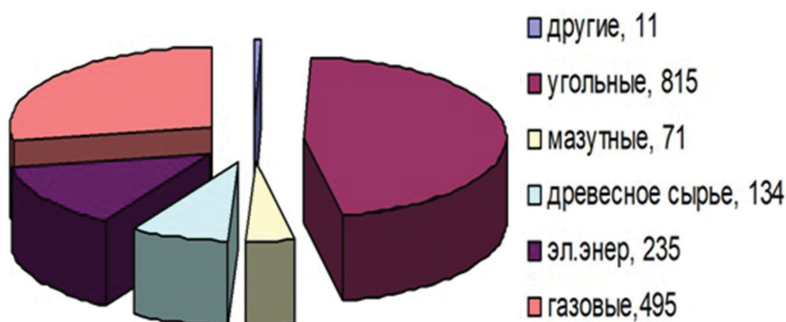


Рис. 2. Распределение котельных в муниципальных образованиях Свердловской области по видам топлива, ед.
Fig. 2. Distribution of boiler houses in municipalities of the Sverdlovsk region by fuel type, pieces

Достоинством использования древесины как топлива во многих регионах является то, что на доставку её уходит гораздо меньше финансовых средств, решается проблема использования древесных отходов. Наиболее эффективны в настоящее время в качестве теплогенераторов пиролизные котлы, работающие в двухстадийном режиме с включенной газификацией древесного топлива.

Состав газов и тепловой баланс при пиролизе древесины [5]:

$$C + O_2 = CO_2 + 7940 \text{ ккал/кг } C,$$

или 33190 кДж/кг;

$$H_2 + 1/2O_2 = H_2O + 2579 \text{ ккал/нм}^3$$

H_2 , или 10780 кДж/кг;

$$CO + 1/2O_2 = CO_2 + 3018 \text{ ккал/нм}^3$$

CO , или 12615 кДж/кг;

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O +$$

+ 8555 ккал/нм³ CH_4 (метан),

или 35760 кДж/кг;

$$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O +$$

+ 14107 ккал/нм³ C_2H_4 (этилен),

или 58967 кДж/кг.

Количество тепла, выделяемого при сгорании газов, определяется умножением теплового эквивалента на процентное содержание соответствующего газа:

$$QГ = 14107 \cdot 3,65 + 3018 \cdot 32,55 +$$

+ 2579 \cdot 28 + 8555 \cdot 22,65 =

= 4157,1 ккал/кг.

Теплотворная способность древесины влажностью 30 % составляет:

$$Qд = 12600 \text{ кДж/кг} =$$

= 12,6 МДж/кг = 3011 ккал/кг.

Таким образом, при теплогенерации пиролизных котлов дополнительный выход угля составит до 28 % от веса древесины, следовательно, пиролиз дает выход

тепловой энергии на 30 % больше, чем при сжигании древесины в классических слоевых топках.

В качестве эффективного топлива в пиролизных котлах можно успешно применять как щепу, так и древесные гранулы (pellets). Пеллеты – это топливные гранулы цилиндрической формы, спрессованные под большим давлением без добавления каких-либо органических связующих элементов. Иногда для повышения прочности пеллет в древесную массу добавляют кукурузный крахмал. Топливные гранулы имеют высокие показатели теплотворности, они эффективно заменяют жидкие виды топлива и газ (2,5 кг пеллет = 1 л жидкого топлива) [5]. Именно производство такого вида нормированного топлива в настоящее время набирает большую популярность во всём мире, в том числе и в России. По количеству производств в Свердловской области, потребляющих низкокачественное древесное сырье и отходы деревообработки, производство пеллет занимает второе место (табл. 3).

За рубежом, на примере Финляндии, наряду с пеллетами наиболее востребованным топливом для тепло- и электростанций является древесная щепа. В контексте данного исследования производство и экспорт щепы могут рассматриваться как промежуточный или сопутствующий технологический элемент лесопромышленного производства. В целом в Финляндии существует несколько крупных фирм по производству щепы, несколько

фирм, торгующих биотопливом, в том числе щепой, и много небольших хозяйств, занимающихся заготовкой щепы как для собственных нужд, так и на продажу. Стоимость щепы для конечного потребителя за 1 МВт·ч ниже стоимости на жидкое топливо и древесные пеллеты. С учетом растущих потребностей Финляндии в объемах поставки топливной щепы целесообразным является рассмотрение перспектив развития экспорта этой продукции, что может увеличить объемы утилизации низкосортной древесины на территории Свердловской области. Для этого следует рассмотреть структуру себестоимости производства щепы на примере финских компаний (рис. 3).

Хотелось бы особое внимание обратить на наличие в структуре себестоимости субсидирования производства щепы в Финляндии, что существенно стимулирует этот процесс, особенно при проведении рубок ухода в тонкомерных насаждениях.

Ключевыми потребителями этого продукта являются, кроме Финляндии, и другие страны Евросоюза, активно развивающие «зелёную» генерацию энергии. Нехватка собственных возобновляемых энергоносителей в странах ЕС покрывается экспортом из третьих стран.

Топливная щепа имеет ряд недостатков, ограничивающих её экспорт. Прежде всего это низкая насыпная плотность и низкая теплотворная способность (вкупе с высокой влажностью), из-за чего её экономически

Таблица 3

Table 3

Производства, перерабатывающие низкосортную древесину на территории Свердловской области
Production facilities that process low-grade wood in the Sverdlovsk region

Наименование производств Name of productions	Кол-во производств в области Number of productions in the region	Годовая потребность в сырье, тыс. м ³ Annual demand for raw materials, thousand m ³
Производство ДСП Production chipboard	2	160,0
Производство бумаги и картона Production paper and cardboard	2	210,0
Производство ДВП Production fibreboard	1	40,0
Производство древесного угля Production charcoal	4	72,4
Производство топливных брикетов Production of fuel briquettes	3	24,0
Производство пеллет Production pellets	12	81,0
Теплогенерация на предприятиях Heat generation in enterprises	81	920,0
Итого Total		1507,4

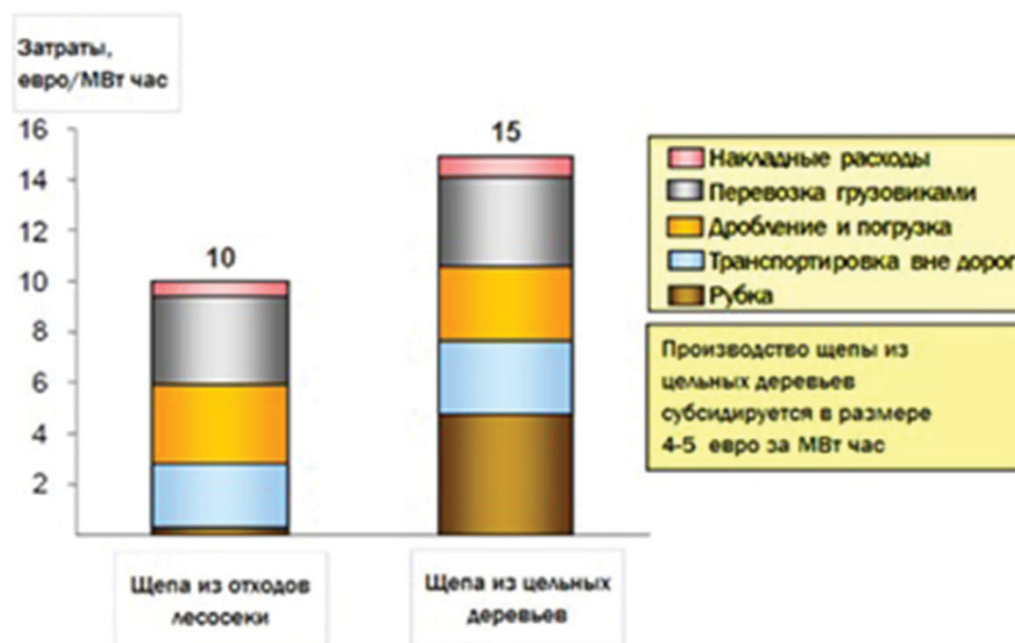


Рис. 3. Структура себестоимости производства щепы в Финляндии
Fig. 3. Structure of the cost of wood chips production in Finland

эффективно транспортировать на относительно небольшие расстояния. Нужны щеповозы, количество которых в настоящее время на рынке ограничено.

До 78 % всего экспорта приходится на автоперевозки: 181 100 т транспортируют в Финляндию. Рост экспорта в европейские страны требует дополнительного

парка лесовозов, который в России сейчас развит слабо из-за недостаточного внутреннего потребления и ориентации на перевозку технологической щепы.

Эти факторы существенно удорожают перевозку. В направлении Финляндии, Швеции и балтийских стран зачастую используются лесовозы покупателей или привлечённые ими транспортные компании. Для снижения затрат на перевозку топливной щепы рекомендуется применять лесовозный подвижной состав, оснащенный газодизельными силовыми установками.

Экспорт морским транспортом осуществляется в Финляндию в объёме 3300 т, поставки железнодорожным транспортом – 6900 т.

Можно сделать вывод, что поставки на коротком плече от российских границ осуществляются автомобильным и железнодорожным транспортом, а дальше – по морскому пути, комбинирующему и два предыдущих. Поэтому, несмотря на то, что морской транспорт считается самым дешёвым, наличие перевалки и затрат на доставку до порта существенно снижает экономическую привлекательность такой логистической схемы [6].

Анализ представленных в данном исследовании источников информации позволяет сформировать все необходимые технологические и организационные компоненты, обеспечивающие эффективное теплогенерирующее производство энергии на древесном топливе.

Результаты исследования и их обсуждение

Создание теплогенерирующих производств является в настоящее время неотъемлемым

элементом региональной системы утилизации древесных отходов и низкокачественной древесины, гарантирующей не менее чем тридцатипроцентное увеличение объемов заготовки деловой древесины. Современные теплогенераторы позволяют развивать рабочие температуры до 1250 °С. Вместе с тем такой уровень энергоэффективности предполагает целесообразность применения нормированного топлива в виде сухой древесной щепы, брикетов или гранул из древесной или угольной пыли. Теплотворная способность гранул не уступает таковой бурого угля, и в то же время при сжигании древесных гранул по сравнению с углем почти в 2 раза меньше выделяется диоксида углерода [7]. Важными организационными компонентами теплогенерации должны стать производство экспортной щепы и создание унифицированных муниципальных топливно-технологических терминалов. Последние создают предпосылки для организации высокотехнологичных рабочих мест, в том числе за счет продажи услуг.

Выводы

1. Топливную щепу можно эффективно использовать в качестве универсального сырья для прямого сжигания, газогенерации, а также для производства брикетов и пеллет.

2. Для увеличения объемов производства топливной щепы рекомендуется измельчение лесосечных отходов на верхнем складе после их предваритель-

ной атмосферной просушки в штабелях.

3. Технологический процесс заготовки топливной щепы обеспечивает выполнение преимущественно рубок ухода в молодняках и является основным элементом перехода отечественных предприятий на интенсивную модель ведения лесного хозяйства.

4. Использование в качестве сырья для производства топливной щепы лесосечных отходов и тонкомерной древесины от рубок ухода создает потенциальную возможность практически полностью отказаться от использования привозного ископаемого топлива в виде каменного угля в котельных лесопромышленных предприятий Свердловской области, а также в более 30 % котельных бюджетной сферы, всех индивидуальных хозяйствах, не подключенных к сетевому газу.

5. Тепловой баланс при теплогенерации древесного топлива показывает эффективность процесса двухстадийного горения, который обеспечивает увеличение теплоотдачи за счет пиролиза древесины.

6. Топливная щепка может стать эффективным экспортным продуктом для предприятий Свердловской области при формировании рациональной комбинированной транспортно-логистической схемы, предусматривающей наличие региональных топливно-технологических терминалов, а также возможность ее доставки потребителям морским транспортом.

Библиографический список

1. Шпак, Н. А. Перспективы развития «зеленой» экономики в регионах России : монография / Н. А. Шпак – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. – 126 с.
2. Энциклопедический словарь по металлургии // Академик : сайт. – URL: <https://metallurgicheskiy.academic.ru>
3. Технология производства пеллет // ALB Group : сайт. – URL: <https://albnn.com/production/technologies/pellets>
4. Добрачев, А. А. Ресурсы биотоплива Свердловской области и их использование / А. А. Добрачев, А. В. Мехренцев, Н. А. Шпак. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2015. – 285 с.
5. Гинзбург Д. Б. Газификация низкосортного топлива / Д. Б. Гинзбург. – Москва : Госстройиздат, 1952. – 111 с.
6. Все о заготовке и переработке древесины. Экспорт топливной щепы: состояние рынка и ключевые тенденции // Лесной комплекс Российской Федерации : сайт. – URL: <https://forestcomplex.ru/2018/08/eksport-toplivnoy-shhepyi-sostoyanie-ryinka-i-klyucheveryie-tendentsii>
7. Шумейка Е. Чем порадовала «деревообработка и биоэнергетика» в Ювяскюля / Е. Шумейко // Лес-проминформ : журнал для профессионалов ЛПК. – 2013. – № 7 (97). – URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3365>

Bibliography

1. Shpak, N. A. Prospects of development of «green» economy in regions of Russia : monograph / N. A. Shpak. – Yekaterinburg : Ural.state forestry.eng.univ., 2014. – 126 p.
 2. Encyclopedic dictionary of metallurgy / academic: web site. – URL: <https://metallurgicheskiy.academic.ru>
 3. Pellet production technology // ALB Group : web site. – URL: <https://albnn.com/production/technologies/pellets/>
 4. Dobrachev, A. A. Resources of biofuel of Sverdlovsk region and their use / A. A. Dobrachev, A. V. Mekhrentsev, N. A. Shpak. – Yekaterinburg : USFEU, 2015. – 285 p.
 5. Ginzburg, D. B. Gasification of low-grade fuel / D. B. Ginzburg. – Moscow : Gosstroizdat, 1952. – 111 p.
 6. All about the harvesting and processing of timber. Fuel chip exports: market conditions and key trends // Forest complex of the Russian Federation : web site. – URL: <https://forestcomplex.ru/2018/08/eksport-toplivnoy-shhepyi-sostoyanie-ryinka-i-klyucheveryie-tendentsii/>
 7. Shumeiko, E. Than pleased «wood and bioenergy» in Jyvaskyla / E. Shumeiko // Lesprominform : Magazine for professionals of the wood industry. – 2013. – № 7 (97). – URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3365>
-
-