

## Технологии производства топливной щепы из лесосечных отходов при заготовке древесины 250-300 тыс.пл.м<sup>3</sup> в год

Д.А. Ильюшенко<sup>1а</sup>, А.Р. Бирман<sup>1б</sup>, Б.М. Локштанов<sup>2с</sup>, В.В. Орлов<sup>2д</sup>, Т.А. Гусева<sup>2е</sup>, В.А.Иванов<sup>3ф</sup>, В.А. Никифорова<sup>3г</sup>

<sup>1</sup> Санкт–Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, Институтский пер.,5, Санкт–Петербург, Россия

<sup>2</sup> Военная академия связи им. С.М. Буденного, Тихорецкий пр.3 Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>а</sup>dilium@yandex.ru, <sup>б</sup>birman1947@mail.ru, <sup>с</sup>blokshtanov@mail.ru, <sup>д</sup>artictvetal1987@gmail.com,

<sup>е</sup>guse.tania2012@yandex.ru, <sup>ф</sup>ivanovva55@mail.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7758-5110>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

<sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, <sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

<sup>е</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>, <sup>ф</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>,

<sup>г</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>

Статья поступила 8.03.2021, принята 21.05.2021

*В данной работе авторы рассматривают технологические процессы лесозаготовок с использованием лесосечных отходов. Проведен анализ технологических процессов производства щепы на лесосеке при лесозаготовках деревьями, хлыстами, сортиментами. Предлагаются новые технологии лесозаготовок с использованием терминалов для производства пакетов из лесосечных отходов, а также терминалов для производства сортиментов из деревьев и пакетов из лесосечных отходов. Предложено использовать на терминалах пакетиروшки на базе форвардеров для получения пакетов из лесосечных отходов производительностью 240 пакетов в смену, которые обработают лесосечные отходы объемом 30 тыс.м<sup>3</sup> в год, образующиеся на лесозаготовительных предприятиях с объемом заготовки 250-300 тыс.м<sup>3</sup>. Из пакетов лесосечных отходов на лесопромышленном складе предложено производить топливную щепу на участке или в цеху, включающем машины и механизмы по роспуску пакетов, рубки их на щепу, сортированию щепы, центрифугированию щепы и подачу щепы в котельную. Полученная щепка содержит минимальное количество минеральных примесей до 1,5% и небольшую влажность (30-45%) и высокую теплотворную способность около 4500ккал/кг, что позволяет получать высокую экономическую эффективность при получении тепловой энергии и прибыль при продаже такой щепы потребителям. Предложенные технологии лесозаготовительных производств с использованием терминалов для пакетирования лесосечных отходов дают возможность решить логистическую проблему перевозки лесосечных отходов на лесопромышленный склад или к крупной котельной (ТЭЦ) путем применения большегрузных лесовозов. Предлагаемая технология производства топливной щепы с повышенными эксплуатационными характеристиками из лесосечных отходов на лесопромышленном складе позволяет производить такую щепу и из низкокачественной древесины и различных кусковых древесных отходов. Исследован коэффициент полндревесности пакетов лесосечных отходов, который необходимо учитывать при расчете усилий при резании и пилении пакетов и расчете штабелей из таких пакетов.*

**Ключевые слова:** щепка, трелевка, сортименты, пакетирушки, терминалы, лесосечные отходы, центрифугирование, лесозаготовка, низкокачественная древесина.

## Technologies for the production of fuel chips from logging waste during timber harvesting 250-300 thousand square meters per year

D.A. Pyushenko<sup>1а</sup>, A.R. Birman<sup>1б</sup>, B.M. Lokshtanov<sup>2с</sup>, V.V. Orlov<sup>2д</sup>, T.A. Guseva<sup>2е</sup>, V.A. Ivanov<sup>3ф</sup>, V.A. Nikiforova<sup>3г</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Military Academy of Communication under name of S.M. Budenny; 3, Tikhoretsky Ave., St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>а</sup>dilium@yandex.ru, <sup>б</sup>birman1947@mail.ru, <sup>с</sup>blokshtanov@mail.ru, <sup>д</sup>artictvetal1987@gmail.com,

<sup>е</sup>guse.tania2012@yandex.ru, <sup>ф</sup>ivanovva55@mail.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7758-5110>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

<sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, <sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

<sup>е</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>, <sup>ф</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>

<sup>г</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>

Received 8.03.2021, accepted 21.05.2021

*In this paper, the technological processes of logging using logging waste are considered. The analysis of technological processes for the production of wood chips in the cutting area during logging with trees, whips, assortments is carried out. New technologies of logging are proposed using terminals for the production of bags from logging waste, as well as terminals for the production of assortments from trees and bags from logging waste. It is suggested to use forwarder-based balers at the terminals to receive packages from logging waste with a capacity of 240 packages per shift, which will process logging waste with a volume of 30 thousand m<sup>3</sup> per year, generated at logging enterprises with a harvesting volume of 250-300 thousand m<sup>3</sup>. It is proposed to produce fuel chips from packages of logging waste at a timber industrial warehouse on the site or in a workshop, including machines and mechanisms for loosening packages, cutting them into chips, sorting chips, centrifuging chips and feeding chips to the boiler room. The resulting chips contain a minimum amount of mineral impurities up to 1.5% and a low moisture content (30-45%), and a high calorific value of about 4500 kcal / kg, which makes it possible to obtain high economic efficiency in obtaining thermal energy and to profit from the sale of such chips to consumers. The proposed technologies of logging industries using terminals for packaging logging waste allow solving the logistic problem of transporting logging waste to a timber warehouse or to a large boiler house by using heavy timber trucks. The proposed technology for the production of fuel chips with increased operational properties from logging waste at a timber warehouse allows the production of such chips from low-quality wood and various lumpy wood waste. The coefficient of full wood content of logging waste packages has been investigated, which must be taken into account when calculating cutting and sawing forces and calculating stacks from such packages.*

**Keywords:** wood chips, skidding, assortments, balers, terminals, logging waste, centrifugation, logging, low-quality timber.

**Введение.** Лесосечные отходы представляют большой резерв в комплексном использовании древесного сырья. Если рассматривать всю биомассу дерева, то верхушка, сучья, ветки (то, что относится к отходам при лесозаготовках) составляют 17-20%. При заготовках к отходам относятся мелкие деревья и кустарники, которые удаляют, так как они мешают вести процесс валки и трелевки. В связи с этим объем лесосечных отходов может увеличиться до 20-25% [1]. Следует отметить, что этот объем не входит в расчет объема лесозаготовок (расчет ведут по объему стволовой части дерева) [2]. Последнее обстоятельство позволяет лесозаготовителям использовать отходы лесозаготовок для укрепления волоков, на это уходит почти половина отходов [2], но и оставшаяся часть 10-12% представляет огромную величину и большую проблему для лесозаготовителей [3].

Оставлять лесосечные отходы на лесосеке (делянке) нельзя из-за угрозы ухудшения пожарной, энтомологической и экологической обстановки. В связи с этим Лесной кодекс [4] требует очистки лесосеки от лесосечных отходов в короткие сроки. Подавляющее большинство лесозаготовителей в РФ лесосечные отходы собирают и сжигают. При годовом объеме заготовки древесины в РФ около 200 млн.м<sup>3</sup> лесосечные отходы по расчетам составляют около 50 млн.м<sup>3</sup>, примерно 25-30 млн.м<sup>3</sup> используют для укрепления волоков, а оставшаяся часть – около 20-25 млн.м<sup>3</sup> – это доступный для утилизации объем лесосечных отходов. По данным Рослесхоза в РФ из лесосечных отходов производят топливной щепы всего 2 млн.м<sup>3</sup> в год [5] – это очень мало, но на это есть причины, по которым лесосечные отходы не используют в РФ как в Европе:

1. Мобильные машины для производства топливной щепы из лесосечных отходов стоят дорого (10-20 млн рублей), что недоступно большинству лесозаготовителей.

2. Перевозка щепы из лесосечных отходов требует привлечения специальной техники (автомобилей-щеповозов).

3. Лесозаготовки значительно удалены от потребителей топливной щепы (котельных, ТЭЦ), что требует дополнительных расходов на перевозку.

4. Во многих странах Европы производителей и потребителей топливной щепы и других видов древесно-

го топлива (брикеты, пеллеты, опилки, дробленка и др.) субсидируют из специальных фондов, что способствует наращиванию объемов использования древесных отходов, в том числе и лесосечных отходов.

В некоторых странах Европы (Дания, Швеция и др.) выработка энергии из древесного сырья составляет уже около 20% от энергетического баланса этих стран [5]. В РФ имеются значительные запасы угля, нефти, газа, поэтому древесное топливо не является конкурентом и используется на уровне местных потребителей: лесозаготовительные предприятия, лесопильные заводы, целлюлозно-бумажные предприятия.

Лесосечные отходы в зависимости от способа заготовки могут располагаться как по всей лесосеке (делянке), возле волоков или на пункте погрузки заготовленной древесины [6]. Лесосечные отходы для удобства утилизации рубят на щепу. В зависимости от технологии лесозаготовок и расположения лесосечных отходов создана специализированная техника для сбора лесосечных отходов и производства из них топливной щепы [7,16]. Производимую топливную щепу загружают в щеповозы и доставляют потребителям. Из-за низкого коэффициента полндревесности щепы [2] и относительно низкого качества и стоимости такой топливной щепы перевозить ее на дальние расстояния не всегда экономически оправданно.

Установлено, что лесосечные отходы можно пресовать и создавать из них пакеты («вязанки»), которые удобно перевозить и складировать [8,12], а производство из них щепы можно организовать уже непосредственно на крупных лесопромышленных складах грузооборотом 250-300 тыс.м<sup>3</sup> заготавливаемой древесины в год или у котельных, ТЭЦ [17].

**Цель работы.** Разработать технологии по сбору лесосечных отходов объемом 30 тыс.пл.м<sup>3</sup>, их перевозке и производству топливной щепы с высокими энергетическими показателями на лесопромышленном складе грузооборотом по древесине 250-300м<sup>3</sup> в год. Исследовать коэффициент полндревесности лесосечных отходов в пакетах для уточнения расчетов мощности привода цепных пил для распиловки пакетов из лесосечных отходов или их резания (на гильотине).

**Исследовательская часть.** Раздел 1. Рассмотрены различные способы заготовки древесины и перевозки

лесосечных отходов, а также производства топливной щепы на лесопромышленном складе.

Существуют три основные технологии заготовки древесины: деревьями, хлыстами и сортиментами. В результате осуществления этих технологий лесосечные отходы располагаются на различных участках лесосеки (делянки) и даже территориях. Так при заготовке древесины деревьями лесосечные отходы (вершины, ветки и сучья) сосредотачиваются на лесопромыш-

ленном складе, где из них производят топливную щепу (рис.1, а). Указанная технология уже не применяется из-за запрещения перевозки деревьев по общим дорогам, но часть этой технологии мы используем в разрабатываемых новых технологиях, приведенных ниже.

При заготовке древесины хлыстами лесосечные отходы могут быть разбросаны по всей лесосеке, возле волоков (рис.1, в.) или сосредоточены на пункте погрузки (рис.1, б.).

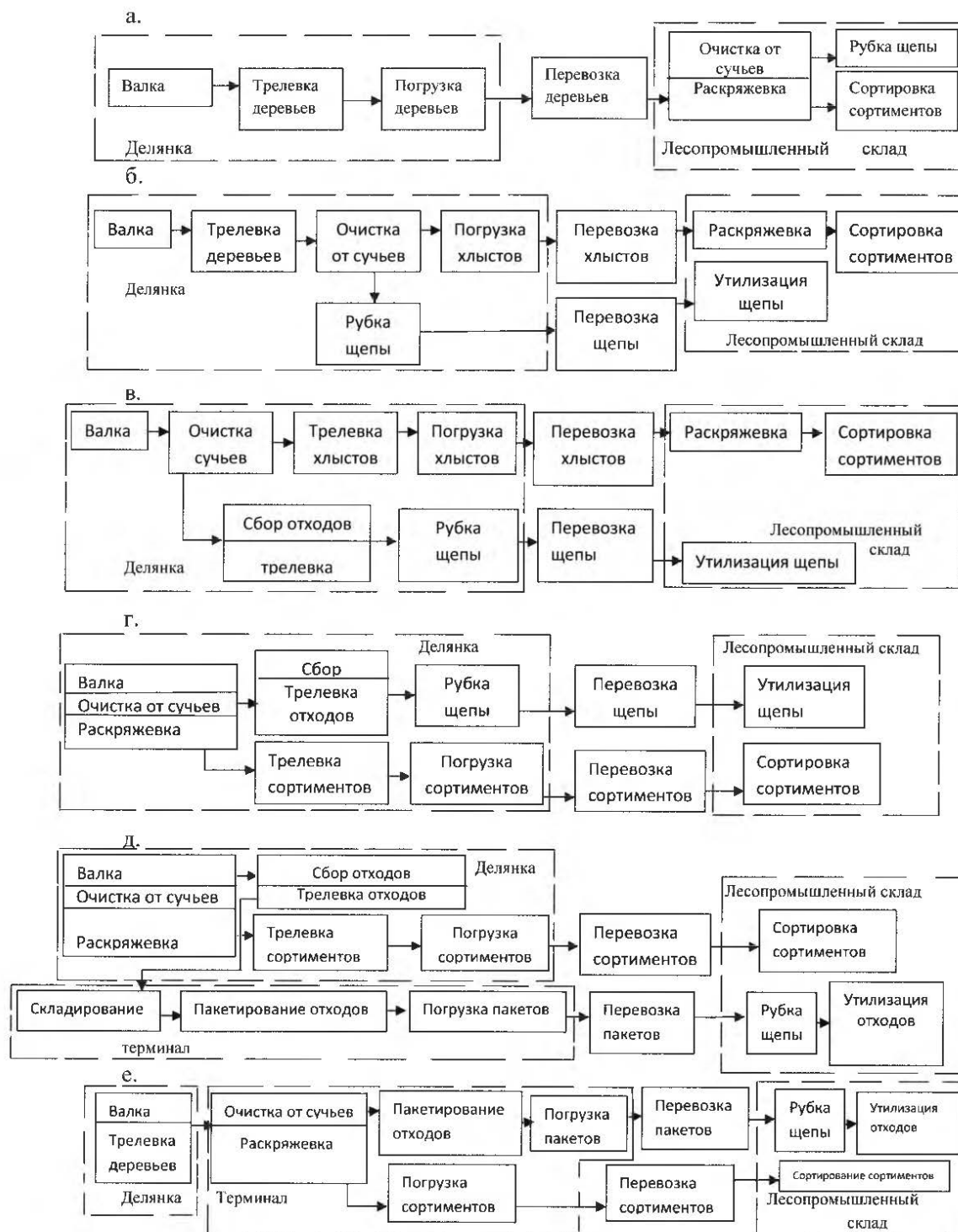


Рис. 1. Технологические схемы лесозаготовок и производства щепы из лесосечных отходов



Рис. 2. Техника, применяемая на лесозаготовках

Лесосечные отходы можно собирать форвардером, в том числе с подвижными стойками, и трелевать их на пункт погрузки [9], технология лесозаготовок представлена на (рис.1.б,г.). Техника для лесозаготовок представлена на рис.2. а,б,в, а пакетирование отходов может осуществлять пакетировщик представленный на рис.2. г, д.

Собранные на пункте погрузки лесосечные отходы необходимо утилизировать. Известна технология утилизации лесосечных отходов - производство топливной щепы на лесосеке [9] и перевозка ее автомобилями-щеповозами потребителям. Для этого используется мобильная рубительная машина производительностью порядка 15 пл.м<sup>3</sup>/час и щеповоз с емкостью кузова 35 нас.м<sup>3</sup>, что позволит за 1 час перерубить на щепу все лесосечные отходы, полученные за 1 смену одной бригадой.

Для переработки лесосечных отходов от другой бригады рубительную машину перемещают к намеченной бригаде за то время, пока щеповоз отвезет щепу на лесопромышленный склад и придет к намеченной бригаде. Расчеты показали, что такая технология с 1 рубительной машиной и одним щеповозом подходит лесозаготовительному предприятию с объемом лесозаготовок до 100 тыс.пл.м<sup>3</sup> в год или порядка 10 тыс.пл.м<sup>3</sup> лесосечных отходов (щепы) [9]. Отмечено, что при этом возможности рубительной машины используются только наполовину, что отрицательно сказывается на экономических показателях предприятий.

Нами предлагаются новые технологические процессы лесозаготовок и переработки лесосечных отходов для предприятий с объемом заготовок 250-300 тыс.пл.м<sup>3</sup> в год. Технологии основаны на производстве пакетов («вязанок») из лесосечных отходов на лесосеке, перевозке их на лесопромышленный склад, где из



них производят топливную щепу с повышенными энергетическими показателями.

Одна из главных проблем использования лесосечных отходов – проблема логистики. Лесосечные отходы в навалe занимают большие объемы, так как коэффициент полндревестности мал и составляет всего 0,15-0,30 [2]. Отметим, что для щепы этот коэффициент 0,36-0,40 [10], а для сортиментов 0,50-0,75 [11]. Для

решения проблемы перевозки лесосечных отходов их желательно подпрессовать. Для этой операции создана специальная техника – пакетировщики (рис. 2 г, д.) на базе форвардеров [12]. Например, фирма John Deere разработала пакетировщик непрерывного действия, а фирма Valmet – пакетировщик периодического действия (табл.1).

**Таблица 1.** Сравнительные характеристики пакетировщиков и пакетов лесосечных отходов

Пакетировщик		Valmet WoodPac	John Deere 1490D
Возможная конфигурация		Навесное оборудование на форвардере	Навесное оборудование на форвардере или на автомобиле
производительность	пакеты/час.	15-20	15-40
Диаметр пакета	мм	720	700-800
Длина пакета	м	3,2	3,1-3,2
Вес пакета	кг	450-550	400-600
Объем древесины в пакете (складочный)	м <sup>3</sup>	1,3-1,4	1,4-1,5
Объем древесины в пакете (плотный)	пл.м <sup>3</sup>	0,6	0,7
Энергетическое содержание пакета	МВт/ч.	2,8-3,5	3,5-4,0

а



б



**Рис. 3.** Пакет из лесосечных отходов

В результате прессования лесосечных отходов получают пакеты (рис. 3, а). Из приведенных в табл.1 данных видно, что масса пакета составляет 460 кг, что позволяет взять пакет манипулятором форвардера, автомобиля, погрузчика. Кроме того, размеры пакета позволяют грузить его на лесовоз (рис. 3 б), машину с кузовом, щеповоз, тракторную тележку и т.д.. Пакеты можно складывать в плотные штабеля высотой 6-8м на хранение.

Если пакетировщик установить на делянке (на пункте погрузки), где работает одна лесозаготовительная бригада, то пакетировщик создает в среднем 25 пакетов из лесосечных отходов всего за один час и обрабатывает все отходы, накопившиеся за одну смену работы бригады. Далее пакетировщик должен переехать к другой бригаде, на это потребуется не менее 40-45 минут, таким образом, мы снизим коэффициент использования пакетировщика почти в 2 раза. Для рас-

сматриваемого лесозаготовительного предприятия потребуется по такой технологии три пакетировщика, что экономически уже невыгодно.

Нами разработаны технологии лесозаготовок с использованием терминалов для производства пакетов из лесосечных отходов. Ниже приведены два варианта предлагаемых технологий:

1 вариант (рис.1, д) Лесозаготовки производят как хлыстами, так и сортиментами. Лесосечные отходы перевозят (трелюют) с делянки (с пасеки или с пункта погрузки) форвардерами с подвижными стойками на терминал, где располагается куча лесосечных отходов (навалом), установлен один пакетировщик и располагается штабель готовых пакетов. По нашим расчетам на таком терминале работает один пакетировщик в одну смену (восемь часов) и может произвести 240 пакетов или 144 пл.м.<sup>3</sup>, что обеспечит годовую производитель-

ность по пакетам из лесосечных отходов свыше 30 тыс.пл.м.<sup>3</sup>

Терминал расположен на магистрали (лесовозная дорога) в радиусе не более 4-5 км от делянок. Лесовоз с манипулятором и прицепом может доставить за рейс до 60 пакетов (35 пл.м<sup>3</sup> – около 28 тонн) на лесопромышленный склад лесозаготовительного предприятия или к крупной ТЭЦ в радиусе до 100 км (рис.3б).

2 вариант (рис.1.е). Лесозаготовки производят поэтапно, сначала деревьями, затем сортиментами. Валочно-пакетующая машина (рис.2а) валит деревья и складывает их в пакеты. Пакеты деревьев трелюет скиддер (рис.2б) до терминала. Возможен и вариант

использования валочно-треллевоочной машины (рис. 2е), которая валит деревья, грузит их на захватывающий механизм, расположенный на тракторе, и в полупогруженном состоянии трелюет на терминал. На терминале расположен штабель деревьев, установлены два специальных перегрузчика (рис. 4а) с большим манипулятором, снабженным грейфером и большой харвестерной головкой, например Huber75 (рис. 4б). Погрузчик берет дерево грейфером, захватывает харвестерной головкой, очищает дерево от сучьев и раскряжевывает на сортименты (выполняет функцию харвестера). Далее перегрузчик сортименты складывает в штабеля, а сучья, ветки и вершины перегружает в кучу.



Рис.4. Перегрузчик на терминале и харвестерная головка к нему

Возле кучи устанавливают пакетировщик (типа John Deere рис. 2г), который производит 20-40 пакетов в час (принимая для расчетов 30 пакетов в час) или около 20 пл.м<sup>3</sup> в час лесосечных отходов превращает в пакеты и складывает их в штабель.

На терминале производят сортименты из деревьев и пакеты из лесосечных отходов, т.е. терминал уже многофункционален, и на лесосеке применяется минимальное количество лесозаготовительной техники. В связи с тем что терминал находится вблизи магистрали, готовую продукцию (сортименты и пакеты) возможно перевозить уже большегрузными автомобилями-лесовозами на лесопромышленный склад, на лесозавод, на ЦБК, к крупной котельной и т.д.

Рассмотрим переработку лесосечных отходов в виде пакетов, доставляемых на лесопромышленный склад. Здесь решаются две задачи:

Первая – организация приема, складирования и подачи пакетов на производство топливной щепы;

Вторая – производство топливной щепы из лесосечных отходов с повышенными эксплуатационными свойствами: засоренность щепы минеральными примесями не более 1,5%, влажность щепы не более 40% (отн.), теплотворная способность щепы 4000-4500 ккал/кг.

Для стабильной работы котельной в течение года на лесопромышленном складе необходимо создать межсезонный запас пакетов лесосечных отходов объемом около 3750 пл.м<sup>3</sup> или 7 расчетных штабелей объемом

540 пл.м<sup>3</sup> каждый. По расчетам, высота штабеля 6м, ширина 3,2м (длина пакета), длина 85м.

Переработка пакетов лесосечных отходов на топливную щепу по предлагаемой технологии (рис. 5) осуществляется на участке (цехе), включающем следующие машины и механизмы:

1. Вибролоток длиной не менее 4 метров с перфорацией, шириной около 2 метров, установленный под углом 8-10°. На этом лотке осуществляют роспуск пакетов (удаляют обвязку пакета). Благодаря вибрации и отверстиям в лотке происходит удаление минеральных включений из лесосечных отходов [14] и очищение лесосечных отходов от минеральных примесей. По наклонному лотку лесосечные отходы продвигаются к рубильной машине.

2. Барабанная многоножевая рубильная машина с принудительной подачей лесосечных отходов на ножи барабана. Количество ножей на барабане не менее 6 штук, что позволяет рубить лесосечные отходы с большой производительностью 25-50 пл.м<sup>3</sup> в час (около 70 пакетов в час).

3. Гириционная сортировка щепы производительностью до 120 м<sup>3</sup> в час (примерно 42-50 пл.м<sup>3</sup> в час). Сортировка устанавливается на массивном фундаменте, т.к. динамический коэффициент для такого типа сортировок составляет около 3. С помощью такой сортировки эффективно удаляется мелкая фракция щепы (отсев), в составе которой много минеральных примесей. В сочетании работы виброток (п.1) и сортиров-

ки удаляется основная масса минеральных примесей, доводя этот показатель не более чем 1,5 %.

4. Две центрифуги [15] для удаления свободной влаги из щепы. Производительность каждой центрифуги

20-25 пл.м<sup>3</sup> в час, влажность щепы после центрифуги 35-40% (абс.), что обеспечивает высокую калорийность щепы как топлива [2].

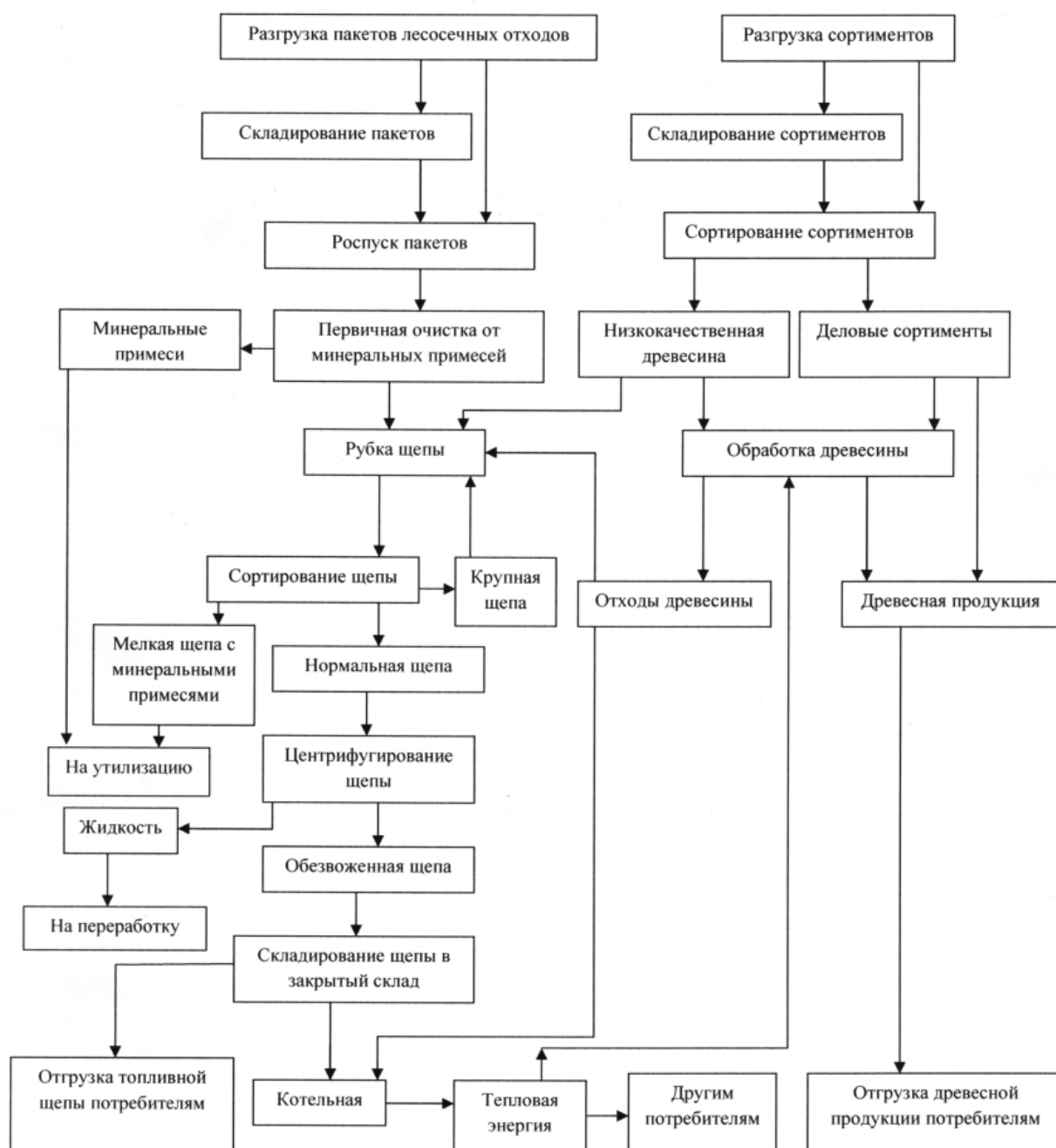


Рис. 5. Технологическая схема лесопромышленного склада грузооборотом 250-300 тыс.м<sup>3</sup> в год с производством щепы из лесосечных отходов и выработкой из них тепловой энергии

**Исследовательская часть.** Раздел 2. Исследование процесса прессования лесосечных отходов в пакеты. Пакеты лесосечных отходов подвергаются поперечной распиловке цепной пилой в агрегатах непрерывного действия. В технической литературе [13] подробно описаны методики расчета мощности привода цепных пил. При этом рассматривается поперечное пиление отдельного бревна с его параметрами. В данном случае авторами рассматривается процесс пиления пакетов из ле-

сосечных отходов определенных параметров цепной пилой.

Мощность привода цепной пилы рассчитывается по известной формуле (1) [13]

$$N_p = \frac{k \cdot b \cdot H \cdot u}{\eta} \text{,Вт,} \quad (1)$$

$k$  - удельная работа резания, Дж/м<sup>3</sup>;

$b$  - ширина пропила, м;

$H$  - высота пропила (проекция длины пропила на плоскость, перпендикулярную направлению подачи, м);

$u$  - скорость подачи цепного механизма на материал м/сек.;

$\eta$  - КПД передачи механизма вращения ведущей звездочки цепного механизма.

Предметом наших исследований является величина  $H$  из формулы (1), так как пиленю подвергается не отдельный лесоматериал (бревно, брус и т.д), а совокупность древесных материалов (веток, вершин), составленных в пакет. Авторами исследован коэффициент полндревесности пакета из лесосечных отходов, потому что этот показатель характеризует количество цельной древесины в пакете.

Исходя из размеров пакета и его состава определяли коэффициент полндревесности  $K$ . При этом размеры пакетов были постоянными, а состав пакетов различен. Коэффициент  $K$  вычисляли исходя из массы пакета, так как пакет составляли из одной породы древесины, считая что плотность стволовой части дерева и веток одинакова.

Для исследования был изготовлен ящик с внутренними размерами: длиной  $L=3$ м, высотой  $h_1=1,85$ м, шириной  $s=0,75$ м. Ящик снабжен подвижной крышкой с размерами, соответствующими внутренним размерам ящика ( $0,7 \times 3$ м). Крышку передвигали до  $h_2=0,75$  высоты ящика с помощью гидродомкратов. Таким образом, мы создавали пакет лесосечных отходов размером  $0,75 \times 0,75 \times 3$  с объемом  $1,687 \text{ м}^3$ , но это объем «складочный». Наша задача установить коэффициент полндревесности пакета.

Для исследования были взяты ветки ели, сосны, березы, осины и вершины этих пород деревьев. Исследования проводили отдельно на ветках, отдельно на вершинах и в смеси веток и вершин (50%×50%). Указанный материал свободно укладывали в ящик и крышкой под давлением сжимали материал (ход крышки  $h_1-h_2=1,85-0,75=1,1$ м). Материал, загружаемый в ящик, взвешивали. Прессованный материал имел такую же

массу. Расчеты выполняли по формулам. Принимаем, что коэффициент полндревесности древесины в ящике будет равен  $K=1$ , когда в ящике будет сплошная древесина. Плотность древесины принимаем для сосны  $\rho_c=750 \text{ кг/м}^3$ , для ели  $\rho_e=700 \text{ кг/м}^3$ , для березы  $\rho_b=830 \text{ кг/м}^3$ , для осины  $\rho_{oc}=750 \text{ кг/м}^3$ . Такие же показатели принимаем для веток и вершин.

Расчетная масса материала (сплошной древесины) в ящике будет:

$$\text{для сосны } m_c = h_1 \times s \times L \times \rho_c = 1,85 \times 0,75 \times 3 \times 750 = 3121 \text{ кг}, \quad (2)$$

$$\text{для ели } m_e = h_1 \times s \times L \times \rho_e = 2913 \text{ кг},$$

$$\text{для березы } m_b = h_1 \times s \times L \times \rho_b = 3454 \text{ кг},$$

$$\text{для осины } m_{oc} = h_1 \times s \times L \times \rho_{oc} = 3121 \text{ кг}.$$

Масса веток сосны, загруженных в ящик до прессования, составила 592,9 кг, коэффициент полндревесности составил 0,19 (+/- 0,01), для веток ели (лапник) составил 0,17 (+/- 0,015), для веток березы – 0,18 (+/- 0,01), для веток осины – 0,19 (+/- 0,015).

Масса вершин сосны (диаметром от 6 см и ниже), загруженных в ящик до прессования, составила 499 кг. Коэффициент полндревесности для вершин сосны составил 0,16 (+/- 0,01), для вершин ели – 0,15 (+/- 0,005), для вершин березы – 0,16. (+/- 0,01), для вершин осины – 0,16. (+/- 0,01).

Масса смеси веток и вершин сосны, загруженной в ящик составила 620 кг. коэффициент полндревесности составил 0,19 (+/- 0,01).

Для смеси веток и вершин ели масса составила 584 кг коэффициент полндревесности составил 0,17 (+/- 0,015), для березы – 0,18 (+/- 0,01), для осины – 0,18 (+/- 0,015).

Указанный выше материал, находящийся в ящике, подвергали уплотнению. Степень сжатия материала составила 2,4. Усилия, необходимые для сжатия материала, и величины коэффициентов полндревесности  $K$  полученных пакетов указаны в табл. 2.

**Таблица 2.** Показатели сжатия лесосечных отходов в пакет размером ( $0,75 \times 0,75 \times 3$  м)

Материал Порода	ветки		вершины		смесь	
	Усилие, кг	$K$	Усилие, кг	$K$	Смесь	$K$
сосна	2590	0,44	2690	0,45	2758	0,46
ель	2560	0,42	2610	0,43	2670	0,44
береза	2600	0,44	2690	0,45	2760	0,46
осина	2570	0,43	2680	0,44	2690	0,45

По расчетам, коэффициент полндревесности увеличился после прессования на величину степени сжатия, так как масса материала до и после сжатия не изменилась, но изменился объем лесосечных отходов в ящике.

Указанные показатели по коэффициенту полндревесности должны быть учтены при расчете мощности привода цепной пилы. В связи с этим формула (1) примет вид

$$N = \frac{k \cdot v \cdot K \cdot H \cdot u}{\eta}, \text{ Вт}, \quad (3)$$

При этом величина  $H$  (высота пропила) принимается равной диаметру пакета умноженному на 0,75.

**Выводы.** Предлагаемые технологии лесозаготовительных производств для предприятий с объемом заготовки 250-300 тыс.пл.м<sup>3</sup> в год с применением терминалов для производства пакетов из лесосечных отходов и производства топливной щепы на лесопромышленном складе позволяют использовать высокопроизводитель-



ную технику для производства пакетов из лесосечных отходов и перевозку их большегрузными автомобилями на лесопромышленный склад.

На лесопромышленном складе производят топливную щепу с низким содержанием минеральных примесей (до 1,5%) и с высокой теплотворной способностью (около 4500 ккал/кг), что позволяет считать такую щепу эффективным топливом, конкурирующим с некоторыми видами углей.

Производительность участка по производству щепы на лесопромышленном складе рассчитана с большим запасом, что позволяет производить топливную щепу не только из лесосечных отходов (30 тыс.пл.м<sup>3</sup> в год), но и из низкокачественной древесины (40-50 тыс.м<sup>3</sup> в год) и из отходов деревообработки. Организованный на лесопро-

мышленном складе участок по производству топливной щепы при работе в одну смену в течение 250 рабочих дней может произвести около 70 тыс.пл.м<sup>3</sup> в год щепы. Излишки полученной топливной щепы с высокими эксплуатационными свойствами можно предлагать потребителям по цене не ниже 1500 руб за 1 пл.м<sup>3</sup> и не только для котельных, но и для производства ДСП, ДВП, целлюлозы и древесной массы и т.д. Исследования по показателям коэффициента полндревесности получаемых пакетов из лесосечных отходов показали, что он зависит от породы древесины (отходов) и вида лесосечных отходов и находится в пределах 0,43-0,46. Эти показатели должны быть учтены при расчете мощности привода цепной пилы и других механизмов, а также при расчете штабелей из пакетов лесосечных отходов.

### Литература

1. Бит Ю.А., Локштанов Б.М., Грамматиков А.В., Козырев Р.С., Федоров Ю.В. Древесные отходы-биотопливо // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: межвуз. сб. науч. тр. СПб.: ЛТА, 1999. 100 с.
2. Орлов В.В. Повышение эксплуатационных свойств топливной щепы из лесосечных отходов путем ее обезвоживания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. СПб., 2016. 20 с.
3. Локштанов Б.М., Глуховский В.М., Орлов В.В. Технология производства щепы из лесосечных отходов // Современные проблемы лесозаготовительных производств, производства материалов и изделий из древесины: пиломатериалы, фанера, плиты, деревянные дома заводского изготовителя: материалы междунар. науч.-практической конф. (27-28 мар. 2009 г.). СПб: НП «НЦО МТД», 2009. С 146-150.
4. Лесной кодекс РФ [Электронный ресурс]. URL: [www.lesnoykodeks.ru/](http://www.lesnoykodeks.ru/) (дата обращения: 16.09.2020).
5. Локштанов Б.М., Соколова В.А., Бачериков И.В., Парфенопуло Г.К., Неслухов В.В. Обезвоживание топливной щепы центрифугированием // Системы Методы Технологии. 2018. № 3 (39). С. 182-186.
6. Тетерин Н.М. Сравнение технологий лесозаготовок // Научные чтения: сб. материалов науч.-практической конф. проф.-препод. состава Сыктывкарского лесного ин-та по итогам науч.-исслед. работы в 2008 г. / отв. ред. В.В. Жиделева. Сыктывкар, 2009. С. 536-540.
7. Кононович Д.А., Мохов С.П., Симанович В.А., Арико С.Е. Анализ конструктивных особенностей машин для сбора лесосечных отходов // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая пром-сть. 2016. № 2 (184). С. 31-35.
8. Карпачев С.П. Биоэнергетика: Сбор и пакетирование лесосечных отходов // Лесопромышленник. 2006. № 5 (39). С. 2-8.
9. Локштанов Б.М., Орлов В.В., Бирман А.Р., Ильюшенко Д.А., Чжан С.А., Степанищева М.В., Никифорова В.А., Иванов В.А. Производство щепы из лесосечных отходов на лесопромышленном складе при объеме заготовок 50-100 тыс. пл. м<sup>3</sup> в год // Системы Методы Технологии. 2020. № 3 (47). С. 97-102.
10. ГОСТ 15815-83. Щепка технологическая. Технические условия. Введ. 01.01.1985. М.: Госстандарт, 1992. 14 с.
11. ГОСТ 9463-88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Введ. 01.01.1991. М.: Изд-во стандартов, 2008. 10 с.
12. Галактионов О.Н., Хюнинен И.А. Обзор уплотняющих и пакетирующих устройств // Отходы и ресурсы: интернет-журнал. 2017. Т. 4. № 3. URL: <http://resources.today/PDF/05RRO317.pdf>
13. Григорьев И.В. Пиление древесины цепными пилами // ЛесПромИнформ. 2014. № 4 (102). С. 88-92.
14. Локштанов Б.М., Бачериков И.В., Суворова Н.А., Костюков И.И., Орлов В.В. Устройство для изготовления топливной щепы из лесосечных отходов: пат. на полезную модель № 141391 Рос. Федерация. № 2013148655; заявл. 01.11.13; опубл.10.06.14, Бюл. № 16.
15. Пятакин В.И., Локштанов Б.М., Орлов В.В. Способ производства топливной щепы из лесосечных отходов в условиях лесосеки: пат. на полезную модель № 2537529 Рос. Федерация; заявл. 01.18.13; опубл. 01.10.15. Бюл. № 1.
16. Kärhä K. Supply Chains and Machinery in the Production of Forest Chips in Finland. In: Savolainen, M. (Ed.). Book of Proceedings. Bioenergy 2007, 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition, 3rd-6th September 2007, Jyväskylä Pavilionki, Finland. Finbio Publications 36: P. 367-374.
17. Kärhä K. Supply chains of forest chip production in Finland [Электронный ресурс] / Metsäteho, 2009. URL: [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/tiedote/Tiedote\\_19\\_2009\\_1\\_2\\_Proceedings\\_Supply\\_chains](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/tiedote/Tiedote_19_2009_1_2_Proceedings_Supply_chains). (дата обращения: 18.04.2013).

### References

1. Bit YU.A., Lokshtanov B.M., Grammatikov A.V., Kozyrev R.S., Fedorov YU.V. Wood waste - biofuel // Lesosechnye, lesoskladskie raboty i transport lesa: mezhvuz. sb. nauch. tr. SPb.: LTA, 1999. 100 p.
2. Orlov V.V. Improving the operational properties of fuel chips from logging waste by dehydrating it: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.01. SPb., 2016. 20 p.
3. Lokshtanov B.M., Gluhovskij V.M., Orlov V.V. Technology for the production of wood chips from logging waste // Sovremennye problemy lesozagotovitel'nyh proizvodstv, proizvodstva materialov i izdelij iz drevesiny: pilomaterialy, fanera, plity, derevyannye doma zavodskogo izgotovatelya: materialy mezhhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (27-28 mar. 2009 g.). SPb: NP «NCO MTD», 2009. P. 146-150.
4. Forest Code of the Russian Federation [Elektronnyj resurs]. URL: [www.lesnoykodeks.ru/](http://www.lesnoykodeks.ru/) (data obrashcheniya: 16.09.2020).
5. Lokshtanov B.M., Sokolova V.A., Bacherikov I.V., Parfenopulo G.K., Nesluhov V.V. Dewatering of fuel chips by centrifugation // Systems Methods Technologies. 2018. № 3 (39). P. 182-186.
6. Teterin N.M. Comparison of logging technologies // Nauchnye chteniya: sb. materialov nauch.-prakticheskoy konf. prof.-prepod. sostava Syktyvkar'skogo lesnogo in-ta po itogam nauch.-issled. raboty v 2008 g. / отв. red. V.V. ZHidoleva. Syktyvkar, 2009. P. 536-540.

7. Kononovich D.A., Mohov S.P., Simanovich V.A., Ariko S.E. Analysis of the design features of machines for collecting logging waste // Trudy BGTU. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya prom-st'. 2016. № 2 (184). P. 31-35.
8. Karpachev S.P. Bioenergy: Collection and packaging of logging waste // Lesopromyshlennik. 2006. № 5 (39). P. 2-8.
9. Lokshtanov B.M., Orlov V.V., Birman A.R., Il'yushenko D.A., CHzhan S.A., Stepanishcheva M.V., Nikiforova V.A., Ivanov V.A. Production of wood chips from logging waste at a timber warehouse with a volume of harvesting of 50-100 thousand square meters per year // Systems Methods Technologies. 2020. № 3 (47). P. 97-102.
10. GOST 15815-83. Technological chips. Technical conditions. Vved. 01.01.1985. M.: Gosstandart, 1992. 14 p.
11. GOST 9463-88. Round timber of coniferous species. Vved. 01.01.1991. M.: Izd-vo standartov, 2008. 10 p.
12. Galaktionov O.N., Hyunminen I.A. Review of compaction and packaging devices // Othody i resursy: internet-zhurnal. 2017. V. 4. № 3. URL: <http://resources.today/PDF/05RRO317.pdf>
13. Grigor'ev I.V. Wood sawing with chain saws // LesPromInform. 2014. № 4 (102). P. 88-92.
14. Lokshtanov B.M., Bacherikov I.V., Suvorova N.A., Kost'yukov I.I., Orlov V.V. Device for making fuel chips from logging waste.: pat. na poleznuyu model' № 141391 Ros. Federaciya. № 2013148655; zayavl. 01.11.13; opubl.10.06.14, Byul. № 16.
15. Patyakin V.I., Lokshtanov B.M., Orlov V.V. Method for the production of fuel chips from felling waste in a felling area: pat. na poleznuyu model' № 2537529 Ros. Federaciya; zayavl. 01.18.13; opubl. 01.10.15. Byul. № 1.
16. Kärhä K. Supply Chains and Machinery in the Production of Forest Chips in Finland. In: Savolainen, M. (Ed.). Book of Proceedings. Bioenergy 2007, 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition, 3rd–6th September 2007, Juvdskylä Paviljonki, Finland. Finbio Publications 36: 367-374.
17. Kärhä K. Supply chains of forest chip production in Finland [Электронный ресурс] / Metsäteho, 2009. URL: [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/tiedote/Tiedote\\_19\\_2009\\_1\\_2\\_Proceedings\\_Supply\\_chains](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/tiedote/Tiedote_19_2009_1_2_Proceedings_Supply_chains). (дата обращения: 18.04.2013).