

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЦЕПОЧКИ И СИСТЕМЫ МАШИН ДЛЯ СБОРА И ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ В ТОПЛИВНУЮ ЩЕПУ ПРИ СПЛОШНОЛЕСОСЕЧНОЙ ЗАГОТОВКЕ В СОРТИМЕНТАХ

Рассмотрены технологические цепочки и системы машин, позволяющие заготавливать древесную биомассу и получать из нее топливную щепу при сплошнолесосечной сортиментной заготовке.

Ключевые слова: системы машин, древесная биомасса, порубочные остатки, топливная щепка, биоэнергетика.

В связи с повышением цен на ископаемые энергоносители, запас которых непрерывно сокращается, а также из-за постоянного ухудшения экологической ситуации во многих странах мира растет интерес к биоэнергетике. Наиболее перспективным видом биотоплива является древесное топливо: дрова, топливная щепка, брикеты и гранулы.

На сегодняшний день в европейских странах наблюдается тенденция к снижению потребления дров и значительный рост использования топливной щепки, брикетов и гранул. При этом щепку используют, как топливо, в основном на ТЭЦ и котельных, расположенных недалеко от источников древесного сырья, так как в этом случае стоимость генерации энергии из щепки значительно ниже, чем из брикетов и гранул [1].

Россия обладает огромным потенциалом в области лесной биоэнергетики. Только на северо-западе Российской Федерации возможно заготавливать значительные объемы древесной биомассы, которые могли бы обеспечить производство древесного топлива в количестве 208 TWh, достаточном для покрытия 20 % от общих нужд региона в энергоносителях [2, 3].

Сбор древесной биомассы, производство и транспортировка древесного топлива тесно связаны с операциями по заготовке деловой древесины. Способ заготовки деловой древесины определяет, какие источники биомассы выступают в качестве сырья для получения топливной щепки, на каком этапе образуется древесная биомасса и в каких объемах, а также распределение биомассы по площади.

Способы заготовки деловой древесины могут быть классифицированы по разным отличительным признакам. Наиболее часто способы заготовки разделяют на основании того, в каком виде древесина доставляется на погрузочную площадку у дороги (верхний склад). В этом случае выделяются следующие способы заготовки:

– заготовка сортиментов (баланса, пиловочника). Этот способ предусматривает обрезку сучьев и раскряжевку деревьев на сортименты на делянке у пня. При этом способе значительный объем лесосечных работ выполняется в лесу. Затем осуществляется трелевка сортиментов на склад у лесовозной дороги для дальнейшей транспортировки до потребителя. В настоящее время во многих регионах России сортиментная технология постепенно вытесняет заготовку в хлыстах, а в Республике Карелия и Ленинградской области уже доминирует [4];

– заготовка деревьев. Предусматривает валку, а затем трелевку стволов с кроной к лесовозной дороге. Обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов на сортименты производятся после трелевки. Эти операции могут осуществляться на погрузочной площадке у дороги или на нижнем складе. Данная технология нашла применение не только при заготовке деловой древесины, но и при заготовке тонкомерной древесины энергетического назначения, используемой в качестве сырья для производства топливной щепки при проведении некоммерческих рубок ухода;

– заготовки хлыстов. Этот способ аналогичен способу заготовки деревьев. Отличие между ними заключается в том, что обрезка сучьев производится на делянке у пня.

При рассмотрении сплошнолесосечной сортиментной заготовки в качестве сырья для производства топливной щепки выступают следующие источники биомассы:

– низкосортная древесина, в том числе дровяная древесина;

– порубочные остатки: вершины, ветви, сучья, обломки стволов, откомлевка.

* - автор, с которым следует вести переписку.

При сортиментном способе заготовки обрезка сучьев и раскряжевка происходят на делянке (у пня). В результате этих операций образуются порубочные остатки, и происходит разделение древесины на деловую, низкокачественную и дровяную.

При традиционной валке деревьев с помощью харвестера оператор укладывает порубочные остатки на волок для его укрепления. Их дальнейшее использование для производства щепы, после неоднократного проезда по ним лесных машин, затруднительно. Кроме этого, отходы лесозаготовок загрязняются минеральными включениями, что увеличивает зольность щепы. Поэтому при сборе отходов лесозаготовок с целью дальнейшего использования в биоэнергетике оператор харвестера на участках с достаточной несущей способностью должен укладывать отходы вдоль волока (с одной или с двух сторон) [5]. Распределение порубочных остатков по площади делянки при такой технологии работы харвестера позволяет производить их сбор лесными машинами, оснащенными манипуляторами с пальцевым захватом.

Процесс получения топливной щепы из древесной биомассы состоит, как минимум, из трех этапов: сбор биомассы, измельчение сырья в топливную щепу и перемещение готовой щепы до потребителя (рис. 1). В связи с тем, что система производства щепы из древесной биомассы строится вокруг операции измельчения, технологии и системы машин, позволяющие получать топливную щепу из древесной биомассы (как правило, предварительно высушенной), можно классифицировать по месту выполнения этой операции:

- на делянке (у пня). Измельчение древесной биомассы в щепу происходит непосредственно на делянке;
- на погрузочной площадке (у дороги). Древесная биомасса трелюется с делянки к месту примыкания лесовозной дороги, где она измельчается в щепу;
- на терминале (нижнем складе). Биомасса транспортируется на терминал, где происходит ее измельчение в щепу;
- у потребителя. Древесная биомасса доставляется до потребителя, где происходит ее измельчение. Положение рубительной машины в цепочке поставки топливной щепы в значительной мере определяет, в каком виде предусмотрена транспортировка древесной биомассы до потребителя: в виде готовой щепы, об-

вязанных пакетов порубочных остатков, насыпных порубочных остатков, сортиментов неликвидной (низкосортной) и дровяной древесины. В зависимости от вида древесной биомассы, при транспортировке по дорогам общего пользования применяются соответствующие машины: автощеповозы, автопоезда для транспортировки насыпных отходов, сортиментовозы, сельскохозяйственные трактора с прицепом и т. д. Таким образом, место выполнения операции измельчения определяет необходимость использования тех или иных машин для транспортировки биомассы, а также влияет на степень их зависимости друг от друга. Если машины в цепочке поставки щепы сильно зависят друг от друга, то такую цепочку принято называть «горячей». В такой цепочке при неверной логистике возможны продолжительные простои техники и повышение себестоимости щепы [6]. При малой зависимости техники друг от друга цепочку называют «холодной».

Топливная щепа, полученная с помощью разных систем машин, будет иметь различную себестоимость. Правильный выбор технологической цепочки и системы машин позволит повысить рентабельность получения топливной щепы. Рассмотрим более подробно возможные технологические цепочки производства топливной щепы из древесной биомассы при сплошнолесосечной сортиментной заготовке деловой древесины (таблица 1).

Переработка биомассы в щепу на делянке возможна с помощью мобильной рубительной машины (например, Logset Chipset CS440 или Амкодор-2902), которая, перемещаясь по волоку, манипулятором загружает древесину в рубительный модуль, откуда готовая щепа перемещается в контейнер машины (вариант 1.1 и 2.1а, 2.1б таблицы 1). Щепа разгружается из контейнера рубительной машины на погрузочной площадке, а затем автощеповозами вывозится потребителю (вариант 2.1б). Также для перевозки щепы возможно применение автомобиля-контейнеровоза со сменными контейнерами (варианты 1.1 и 2.1а). В этом случае отпадает необходимость в погрузчике. В странах Скандинавии эта технология не нашла широкого применения [7]. В Белоруссии применяются мобильные рубительные машины Амкодор-2902, построенные на базе форвардера белорусского производства с рубительным модулем финской фирмы Kesla.

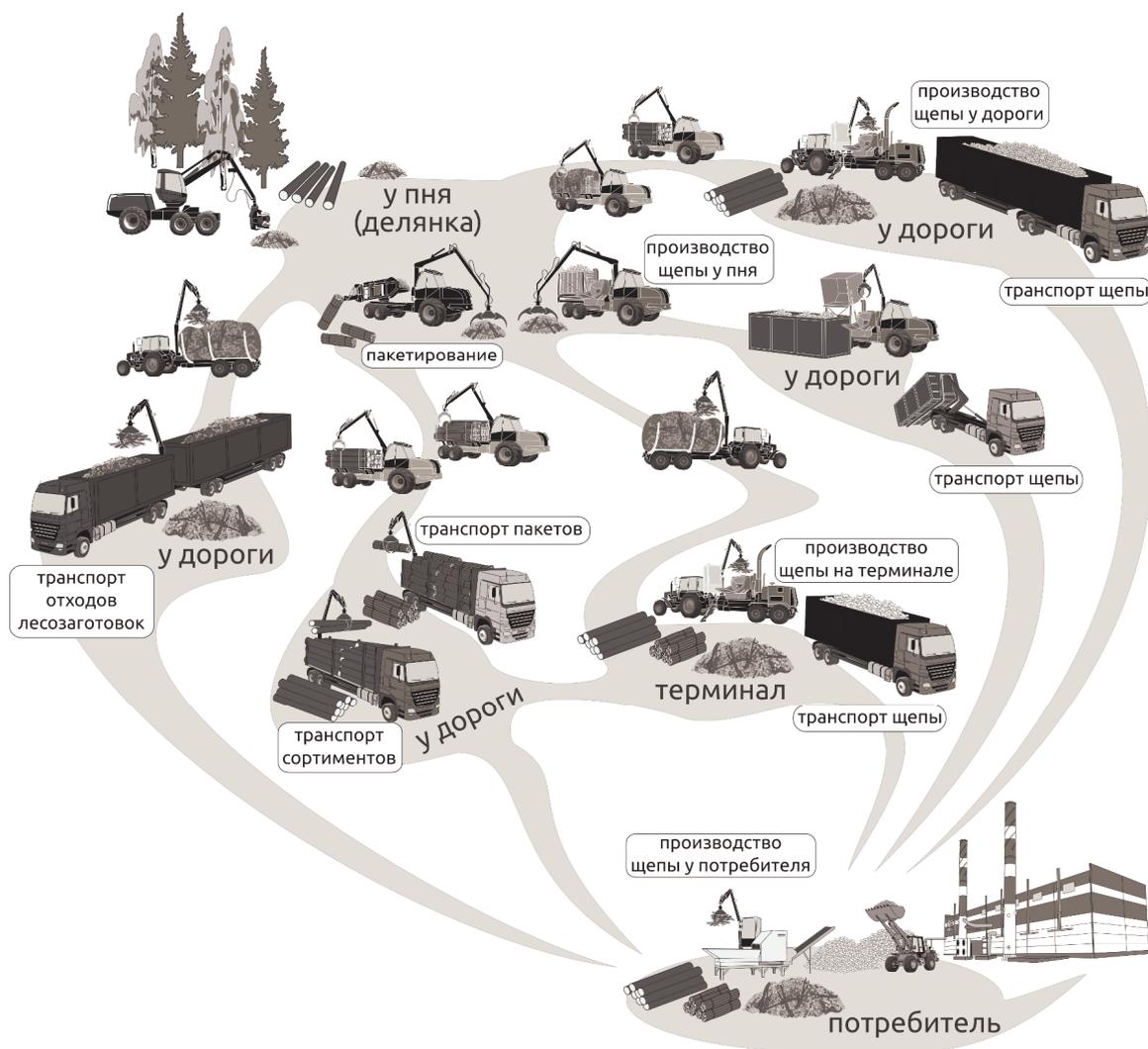


Рис. 1. Технологические цепочки получения топливной щепы при сплошнолесосечной сортиментной технологии.

Отрицательными сторонами данного варианта являются: неэффективное использование мощностей рубительного модуля при работе машины на делянке из-за постоянных технологических переходов; небольшой объем контейнера вынуждает часто выполнять его разгрузку, что уменьшает производительность машины при больших расстояниях трелевки.

Технология, позволяющая добиться повышения производительности мобильной рубительной машины, предложена в МГУЛе [8]. Суть технологии состоит в использовании сменных мягких контейнеров, которые при заполнении щепой оставляются на делянке. Это исключает затраты времени на перемещение рубительной машины к погрузочной площадке для разгрузки контейнера. Мягкие контейнеры могут вывозиться с делянки форвардером или сельскохозяйственным трактором с прицепом. Отрицательной стороной

этого варианта является необходимость привлечения форвардеров с основных работ по трелевке деловых сортиментов на работы по трелевке с делянки древесной биомассы.

Наибольшее применение в странах Скандинавии нашли технологии, которые позволяют получить щепу на погрузочной площадке у дороги [7]. При этом на операции измельчения применяется рубительная машина, установленная на шасси автомобиля, или передвижная рубительная машина, прицепляемая к сельскохозяйственному трактору. Рубительная машина может приводиться как от вала отбора мощности, так и иметь собственный двигатель внутреннего сгорания. С делянки до погрузочной площадки порубочные остатки форвардером трелеются и складываются в крупные штабеля для подсушивания (рис. 2).

Таблица 1
Технологические цепочки производства топливной щепы из древесной биомассы при сориментной заготовке

Источник биомассы	Делянка (у пня)		Погрузочная площадка (у дороги)			Терминал (нижний склад)	Потребитель
1. Древяная древесина 1.1 Переработка на лесосеке							
1.2a Переработка на погрузочной площадке							
1.26 Переработка на погрузочной площадке							
1.3 Переработка на терминале							
1.4 Переработка у потребителя							
2. Порубочные остатки	2.1a Переработка на лесосеке						
	2.16 Переработка на лесосеке						
	2.2a Переработка на погрузочной площадке						
	2.26 Переработка на погрузочной площадке						
2.3a Переработка на терминале							
2.36 Переработка на терминале							
2.3в Переработка на терминале							
2.4a Переработка у потребителя							
2.46 Переработка у потребителя							



Рис. 2. Штабель порубочных остатков на погрузочной площадке у дороги
(источник: НИИ леса Финляндии).

Для складирования порубочных остатков на погрузочной площадке необходима значительная площадь, что не всегда возможно обеспечить. Форвардер работает независимо от рубительной машины («холодная цепочка»). Щепа доставляется потребителю автощеповозами (варианты 1.2а и 2.2а таблицы 1). Отрицательной стороной вариантов 1.2а и 2.2а является большая зависимость друг от друга рубительной машины и автощеповозов («горячая цепочка»). Значительную часть рабочего времени рубительной машины или щеповоза может составлять время ожидания, что снижает производительность производственного процесса. Реже применяются комбинированные автощеповозы, оснащенные рубительными модулями (варианты 1.2б и 2.2б таблицы 1). Комбинированные автощеповозы позволяют избежать образования «горячей цепочки», они могут успешно работать на небольших разрозненных лесосеках, при условии, что потребитель находится на незначительном расстоянии от лесосек.

В связи с развитой системой хороших лесных дорог, в Скандинавии варианты с переработкой биомассы в щепу на терминале (варианты 1.3 и 2.3 таблицы 1) применяются не очень часто [7], но в условиях России такие технологические цепочки могут найти широкое применение. Сложные дорожные условия могут затруднить доставку рубительной машины на погрузочную площадку, также автощеповозы большой вместимости обладают достаточно низкой проходимостью и маневренностью, что осложняет вывоз щепы с погрузочных площадок. Поэтому биомассу с нескольких лесосек целесообразно доставлять

на терминал, где она измельчается в щепу. Щепа загружается в автощеповозы большой вместимости, которые доставляют ее до потребителя. Терминал может иметь значительную площадь, которая позволит хранить большие объемы не измельченной биомассы. В этом случае измельчение большей части биомассы возможно производить в зимний период, когда спрос на щепу увеличивается. Для измельчения биомассы на терминале могут использоваться мощные и высокопроизводительные рубительные машины.

Насыпные отходы могут доставляться на терминал специальными автопоездами (вариант 2.3а). В этом случае форвардер трелюет отходы лесозаготовок с делянки до погрузочной площадки, где отходы складываются в крупные кучи. Автопоезд производит погрузку насыпных отходов манипулятором. Насыпные отходы лесозаготовок имеют небольшую плотность, что делает нерациональной транспортировку насыпных отходов на большие расстояния.

При больших расстояниях до терминала может использоваться транспортировка отходов лесозаготовок в пакетах (вариант 2.3в). Для пакетирования отходов применяют специальные машины-упаковщики (например, John Deere 1490D или Valmet 860 WoodPac), которые обвязывают отходы лесозаготовок в пакеты. С делянки до погрузочной площадки пакеты отходов доставляются форвардером. Транспортировка пакетов от погрузочной площадки до терминала может производиться обычными автомобилями-сортиментовозами. Основной проблемой при пакетировании отходов является необходимость покупки дорогостоящей машины для их упаковки.

При небольших объемах заготовки биомассы может быть применен сельскохозяйственный трактор с прицепом (вариант 2.3б). Трактор оснащается манипулятором с пальцевым захватом для погрузки отходов лесозаготовок в прицеп. Сельскохозяйственный трактор позволяет транспортировать насыпные отходы с делянки на значительные расстояния, в том числе и по дорогам общего пользования. Этот вариант используется в ряде стран, например, в Белоруссии.

Переработка древесной биомассы у потребителя возможна при наличии у него стационарной или крупной передвижной рубительной машины. Одна мощная передвижная рубительная машина может обслуживать несколько территориально распределенных по-

требителей. Например, в условиях Республики Карелия установлено [9], что для перспективной схемы развития сети потребителей топливной щепы в системе жкх, состоящей из 22 территориально распределенных котельных, хватит трех передвижных рубительных машин.

Переработка отходов лесозаготовок в щепу у потребителя достаточно часто встречается в странах Скандинавии. Например, в Финляндии около 25 % всей щепы из отходов лесозаготовок вырабатывается у потребителя [7]. Для работы по этой технологической цепочке у потребителя должны быть большие площади для хранения древесной биомассы. Отличительной особенностью этих технологических цепочек является отсутствие зависимости между операцией измельчения и операцией транспортировки щепы, что позволяет исключить проблемы, которые возникают в «горячих цепочках». При использовании порубочных остатков как сырья для получения топливной щепы могут применяться различные варианты доставки древесной биомассы до потребителя (варианты 2.4а, 2.4б и 2.4в таблицы 1). Если расстояние до потребителя незначительно, то возможно применение сельскохозяйственного трактора с прицепом, который может передвигаться по дорогам общего пользования (вариант 2.4в). При этом варианте трактор используется для доставки насыпных отходов с делянки прямо до потребителя, что позволяет не отвлекать форвардер от работ по трелевке деловых сортиментов. При наличии развитой сети хороших дорог транспортировка порубочных остатков может осуществляться в насыпном виде с помощью специальных автопоездов (вариант 2.4б), но только в том случае, если расстояние транспортировки незначительное. При значительных расстояниях до потребителя перевозка насыпных отходов неэффективна.

Для увеличения рейсовой нагрузки автопоезда необходимо уплотнение отходов. В странах Скандинавии достаточно широко применяются технологические цепочки, включающие машины-упаковщики отходов (John Deere 1490D или Valmet 860 WoodPac), которые связывают отходы в пакеты (вариант 2.4а). Пакеты трелюются форвардером до погрузочной площадки, где они складываются в штабеля и оставляются для просушки на несколько месяцев. Подсушенные пакеты с погрузочной площадки доставляются потребителю автомобилями-сортиментовозами. Положитель-

ными сторонами применения машин-упаковщиков в технологических цепочках являются: низкая себестоимость перевозки пакетов на большие расстояния по сравнению с перевозкой щепы и насыпных отходов лесозаготовок; удобство хранения; отсутствие в цепочке «горячих звеньев».

В связи с тем, что плотность отходов лесозаготовок невелика, при их трелевке форвардерами или сельскохозяйственными тракторами с прицепами стараются увеличить объемы перемещаемых порубочных остатков. Форвардеры могут оснащаться специальными уширенными грузовыми отсеками с поддонами (например, LoadFlex Bio от Valmet). В связи с тем, что в этом случае металлоконструкция манипулятора используется для прижатия отходов, устанавливается специальная дополнительная защита, которая позволяет защитить шланги манипулятора. Другим вариантом увеличения объема перевозимой древесной биомассы может быть использование грузового отсека форвардера или прицепа трактора с закрывающимися бортами (например, система BTS от Ponsse для форвардера или прицеп для трактора NavuHukka). Манипуляторы машин, работающих с отходами лесозаготовок, оснащают специальными пальцевыми захватами большого объема. Захват для погрузки лесоматериалов обычного типа малоприменим для погрузки порубочных остатков, так как он плохо проникает в кучу отходов лесозаготовок и вместе с ветвями и сучьями захватывает часть грунта, что сказывается на зольности щепы.

На сегодняшний день в условиях Российской Федерации наиболее экономически целесообразным является использование в качестве сырья для производства топливной щепы низкосортной и дровяной древесины, так как себестоимость щепы в этом случае ниже, чем из отходов лесозаготовок [10, 11, 12]. По мере развития биоэнергетики и увеличения объема потребляемого биотоплива отходы лесозаготовок как сырье для топливной щепы так же найдут широкое применение, как это произошло в странах Скандинавии. Например, в Финляндии значительная часть топливной щепы получается из отходов лесозаготовок, причем себестоимость щепы из порубочных остатков получается самой низкой [13, 14]. Природно-производственные и экономические условия Российской Федерации значительно отличаются от условий в странах Скандинавии, поэтому их опыт в области

биоэнергетики и применения древесного топлива нельзя использовать напрямую. Требуется более детальное исследование рассмотренных технологий и систем машин для сбора и переработки древесной биомассы в топливную щепу с точки зрения обоснованности их применения в российских условиях.

Статья подготовлена в рамках научного проекта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009-2013 гг.» «Система поддержки принятия решений по стимулированию рационального использования древесной биомассы и отходов лесозаготовок в биоэнергетике»

Литература

1. Передерий С. Щепка как твердое биотопливо в Европе // ЛесПромИнформ. 2010. № 5.
2. Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia // Biomass and Bioenergy. 2011. № 35. С. 1655-1662.
3. Герасимов Ю.Ю., Карьялайнен Т. Ресурсы древесного топлива Северо-Запада России // Лесной вестник. 2010. №4(73). С. 12-13.
4. Gerasimov Y., Senkin V., Väätäinen K. Productivity of single-grip harvesters in clear-cutting operations in the northern European part of Russia // European Journal of Forest Research. DOI: 10.1007/s10342-011-0538-9. P.8.
5. Ууситало Й. Основы лесной технологии. Оу FEG. Йоэнсуу, 2004. 228 с.
6. Väätäinen K. Wood fuel procurement methods and logistics in Finland // Wood fuel production for small scale use. University Eberswalde. 2007. P. 28.
7. Kärhä K. Production and Use of Wood Chips: Improving Supply Chains // Wood Energy UNECE/FAO Workshop, Belgrade, Serbia, 2007. p. 68.
8. Карпачёв С.П., Щербаков Е.Н., Приоров Г.Е. Некоторые вопросы технологии заготовки биотоплива из леса для жилищно-коммунального хозяйства лесных поселков и городов // Лесопромышленник. 2010. № 4. С.10-15.
9. Щеголева Л. В., Полежаев К. В. Задача оптимизации функционирования передвижной рубительной машины для производства щепы в топливно-энергетическом комплексе Республики Карелия // Изв. СПб ГЛТА. 2006. Вып. 178. С. 120-125.
10. Соколов Д.Л., Холодков В.С. О развитии рынка биотоплива в России и за рубежом // IV регион. Лесной форум: материалы конф. Архангельск, 2010. С. 59-67.
11. Gerasimov Y., Seliverstov A. Industrial round-wood losses associated with the harvesting systems in Russia // Croatian Journal of Forest Engineering. 2010. 31(2). P. 111-126.
12. Potential for biofuel development in Tihvin and Boksitogorsk districts of the Leningrad region - the analysis of energy wood supply systems and costs / V. Goltsev, J. Plavsky, Y. Gerasimov, T. Karjalainen // Forest Policy and Economy 12(4). P. 308-316.
13. Карьялайнен Т., Герасимов Ю. Поставки древесного топлива в Финляндии. НИИ леса Финляндии, Metla // Интерлес Карелия 2011: материалы конф. Петрозаводск, 2011. С. 42-49.
14. Сирен М., Асикайнен А. Анализ заготовки энергетической древесины в Финляндии. НИИ Леса Финляндии, Metla // Развитие энергетики на базе древесины в Кировской области: материалы конф. Киров, 2010. 32.