

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ ИЗ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

*Е.В. Быкова, канд. техн. наук, доцент*

*А.В. Лебедев*

*А.В. Гемонов*

Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева

Во многих странах мира растет интерес к биоэнергетике, находит применение твердое, жидкое и газообразное биотопливо. В Европе на мини-ТЭЦ и в котельных, расположенных недалеко от источников древесного сырья, используется твердое древесное топливо в виде щепы, брикетов и гранул. Наблюдается тенденция снижения потребления колотых дров.

В качестве сырья для производства древесного биотоплива используются следующие источники биомассы [1–5]:

- неделовая древесина (низкокачественная, малощенная и дровяная);
- тонкомерная древесина от рубок ухода и специально выращиваемая для энергетических целей;
- порубочные остатки (вершины, ветви, сучья, обломки стволов, откомлевка);
- пневая и корневая древесина.

Российская Федерация обладает огромным потенциалом в области лесной биоэнергетики. В лесах России можно заготавливать значительные объемы древесной биомассы из неделовой древесины [1, 6]. На Северо-Западе России выход неделовых сортиментов составляет для ели 15...25%, для сосны — 14...25%, для березы — 46...74%, для осины — 56...78% [2]. При этом стоимость энергии из топливной щепы, полученной из неделовой древесины, значительно ниже, чем из щепы, в качестве сырья для которой выступают порубочные остатки, пневая и тонкомерная древесина.

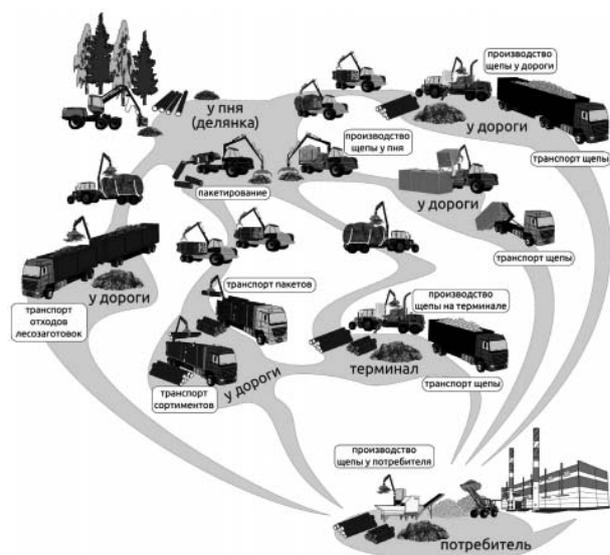
В европейских странах планирование производства древесного топлива тесно интегрируется во все системы лесопользования, планирования и логистики лесозаготовок, управления качеством и сертификации лесного хозяйства [1]. Технологические процессы заготовки древесной биомассы для производства древесного топлива разделяются на три следующие группы [3]:

- комплексная заготовка деловой и топливной древесины на рубках главного пользования;
- специальная заготовка древесной биомассы на некоммерческих рубках ухода, вырубке плантаций энергетических деревьев и расчистке линейных объектов;
- заготовка пневой и корневой древесины.

На рисунке представлен комплексный метод, когда наряду с заготовкой деловой древесины при сплошнолесосечной сортиментной технологии осваиваются лесосечные отходы. Операция измельчения древесной биомассы и отходов лесозаготовок может выполняться на делянке, на погрузочной площадке у лесовозной дороги или на предприятии, где будет использоваться щепа (ТЭЦ, котельная). Положение рубительной машины зависит от того, в каком виде осуществляется транспортировка древесной биомассы до конечного потребителя: в виде щепы, обвязанных пакетов и насыпных отходов лесозаготовок, низкосортной и дровяной древесины.

Специальная заготовка древесной биомассы используется, как правило, при заготовке тонкомерных деревьев с кроной (в основном при уходе за молодняком). Технология заготовки древесной биомассы из пней и корней осуществляется в первую очередь на участках рубок главного пользования с рыхлыми минеральными почвами.

При проектировании технологических процессов производства древесного топлива из древесной биомассы необходимо принимать во вни-



Комплексная технология освоения отходов лесозаготовок для энергетических целей при сплошнолесосечной сортиментной технологии

мание ряд факторов: эксплуатационные затраты, качество древесного топлива, человеческий фактор, фактор взаимодействия между машинами в технологической цепочке, экологические факторы [1, 3]. Знание эксплуатационных затрат на лесосечные и транспортные работы и производство древесного топлива является необходимым условием эффективного планирования системы поставок [1]. Решением транспортных задач занимается логистика, которая позволяет оптимизировать управление процессом транспортировки с делянки до потребителя [4]. Оптимальное решение логистической задачи позволяет существенно снизить прямые затраты на производство топливной щепы, так как затраты на трелевку древесной биомассы и транспортировку древесного топлива до потребителя составляют значительную часть всех затрат. При оценке затрат необходимо принимать во внимание технические характеристики лесозаготовительных машин, определяющие пределы их применения в различных условиях: производительность, грузоподъемность, проходимость, устойчивость, скорость, маневренность, надежность, универсальность, которая определяет возможность ее использования на разных фазах технологического процесса, и т. д. Степень загрязненности древесной биомассы инородными материалами (грязь, песок, камни, металлические предметы) также влияет на эксплуатационные затраты, так как при повреждении ножей рубительной машины может потребоваться их замена или заточка. Тупые ножи снижают производительность рубительной машины и не позволяют получить щепу требуемых размеров.

Следующим важным фактором является качество древесного топлива (щепы). Оно зависит от вида источника биомассы и методов ее измельчения, погрузки, разгрузки и хранения, а также от многих факторов: влажности, зольности, теплотворной способности, энергетической плотности, содержания хвои, удельных выбросов  $\text{CO}_2$ , размеров частиц [5]. Наиболее важными показателями качества щепы являются ее влажность и зольность.

Повышенная влажность щепы может привести к снижению цены на топливо, в то время как низкая влажность может принести дополнительные доходы. Уровень влажности оказывает влияние на величину теплотворной способности, свойства щепы в период хранения и затраты на транспортировку. Чем больше влажность материала, тем меньше объем груза топлива. Высокое или неравномерное содержание влаги усложняет процесс сжигания топлива.

Зольность чистой древесины составляет 0,5%; зольность коры в 6...7 и листы в 6...11 раз выше зольности древесины [3]. Таким образом, чистая зольность щепы из целых деревьев составляет около 1%, щепы из отходов лесозаготовок — 2%, или 4...6

и 8...12  $\text{кг}/\text{м}^3$  топлива соответственно. На практике выход золы с примесями выше, так как щепа может содержать примеси, например песок. Таким образом, при лесозаготовительных работах необходимо обеспечить получение максимально чистой биомассы. Эту задачу облегчает, например, осуществление трелевки древесины форвардерами.

При производстве древесного топлива следует учитывать и человеческий фактор. Как показали проведенные авторами исследования, квалификация оператора оказывает значительное влияние на производительность лесосечной машины [2].

Для оценки этого фактора используется показатель, учитывающий количество создаваемых технологий рабочих мест на 1 МВт энергии, полученной из топливной щепы:

$$P_s = P_{sb} + P_{so},$$

где  $P_{sb}$  — число рабочих мест высокой квалификации, создаваемых при внедрении технологии;  $P_{so}$  — число рабочих мест «обычной» квалификации.

Кроме того, необходимо учитывать сложность труда, долю ручного труда и травмоопасность, что характеризуется коэффициентом интегральной тяжести труда, рассчитываемым для каждой машины в технологической цепочке [1].

Взаимодействие между машинами, представляющее собой технологическую цепочку по заготовке древесной биомассы, производству и транспортировке древесного топлива и включающее несколько видов машин, осуществляющих трелевку, измельчение, а также транспортировку, является важным фактором технологического процесса. Так как в качестве основной машины при производстве древесного топлива выступает рубительная машина, от ее работы будет зависеть производительность всего процесса.

Прямое взаимодействие осуществляется, когда производится перемещение древесной биомассы или топлива непосредственно из одной машины или транспортного средства в другие без промежуточного хранения, например, когда пневматическое устройство рубительной машины перегружает щепу непосредственно в щеповоз. Анализ рабочего времени и моделирование процессов показывают, что при производстве щепы на погрузочной площадке у дороги условия взаимодействия могут снижать производительность рубительной машины на 10...20% [3].

Непрямое взаимодействие имеет место при укладке биомассы или древесного топлива в штабеля или кучи. В этом случае процесс складирования или штабелевки лесоматериалов оказывает воздействие на производительность последующих этапов процесса.

Обращая внимание на экологические последствия, необходимо учитывать, что включение опе-

раций по заготовке древесной биомассы в существующую систему лесозаготовок оказывает неоднозначное воздействие на будущий рост и развитие древостоя. С точки зрения лесоводства заготовка древесной биомассы оказывает как положительное, так и отрицательное воздействие. Характер воздействия зависит от того, осуществляется заготовка древесной биомассы после проведения рубки главного пользования или при проведении рубок прореживания, а также от плодородия лесной почвы, породного состава древостоя, системы лесосечных машин и т. п.

В качестве экологических факторов предлагается учитывать уплотнение почвогрунтов и колеобразование как наиболее серьезные факторы с точки зрения отрицательных экологических последствий воздействия на лесную среду. Уплотнение почвы сопровождается снижением размера и количества пор, что затрудняет циркуляцию почвенного воздуха, понижая содержание в нем кислорода.

Уплотнение почвы в зоне колеи затрудняет процесс проникновения влаги в глубинные слои, способствует застою воды в углублениях или усиленному поверхностному стоку на склонах. В последнем случае возникает опасность водной эрозии. Избыток влаги нарушает деятельность почвенных микроорганизмов, играющих важную роль в обеспечении корней растений доступными элементами питания [4].

Колееобразовательные процессы негативно сказываются на лесном массиве. Глубокая колея предполагает разрушение большей части корневой системы, попадающей на волок, может служить накопителем излишней влаги, а также способствует водной эрозии и затрудняет лесовосстановление [4]. Кроме этого, глубина колеи влияет на прохо-

димось техники по волоку. Если геометрической проходимости лесной машины не хватит для прохода по колее, то движение по волоку будет невозможно.

Таким образом, при разработке системы поддержки принятия решений по стимулированию рационального использования древесной биомассы и отходов лесозаготовок в биоэнергетике предлагается принимать во внимание все перечисленные выше факторы, что позволит выбрать технологическую цепочку производства древесного топлива и подобрать оптимальную систему машин с учетом лесосырьевой базы, финансовых возможностей предприятия, экологических и социальноэкономических последствий.

#### Список литературы

1. Вос Д. Передовой опыт в использовании энергии биомассы: пер. с англ. — Минск: РУП «Белэнергосбережение», 2006. — 198 с.
2. Повышение эффективности использования харвестеров / А.А. Селиверстов, В.С. Сюнёв, Ю.Ю. Герасимов [и др.] // Системы. Методы. Технологии. — 2011. — № 4(8). — С. 133–139.
3. Сюнёв В.С., Катаров В.К. Выбор технологии лесозаготовок на основе экологической совместимости с лесной средой // Материалы Всероссийской науч. конф. с междунар. участием «Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления». — Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2009. — С. 91–93.
4. Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia // Biomass and Bioenergy. — 2011. — № 35. — P. 1655–1662.
5. Gerasimov Y., Seliverstov A. Industrial round-wood losses associated with the harvesting systems in Russia // Croatian Journal of Forest Engineering. — 2009. — № 31(2). — P. 111–126.
6. Gerasimov Y., Sokolov A. Ergonomic characterization of harvesting work in Karelia // Croatian Journal of Forest Engineering. — 2009. — № 30(2). — P. 159–170.