

ЮРИЙ ЮРЬЕВИЧ ГЕРАСИМОВ

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, НИИ леса Финляндии (г. Йоэнсуу)
yuri.gerasimov@metla.fi

АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ СЕЛИВЕРСТОВ

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры тяговых машин лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет
alexander@psu.karelia.ru

ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ СУХАНОВ

старший преподаватель кафедры технологии и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет
yuriii_ptz@bk.ru

ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ СЮНЁВ

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тяговых машин лесоинженерного факультета, проректор по учебной работе, Петрозаводский государственный университет
siounev@psu.karelia.ru

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ИЗ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

В статье рассмотрены основные и наиболее важные факторы, которые следует учитывать при проектировании технологических процессов заготовки древесной биомассы и производстве топливной щепы: эксплуатационные затраты, качество древесного топлива, человеческий фактор, фактор взаимодействия между машинами в технологической цепочке, экологические факторы.

Ключевые слова: биоэнергетика, порубочные остатки, дровяная древесина, тонкомерная древесина, пневая и корневая древесина, топливная щепа

В настоящее время 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 [6], [10]:

- неделовая древесина: низкокачественная, малоценная 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.

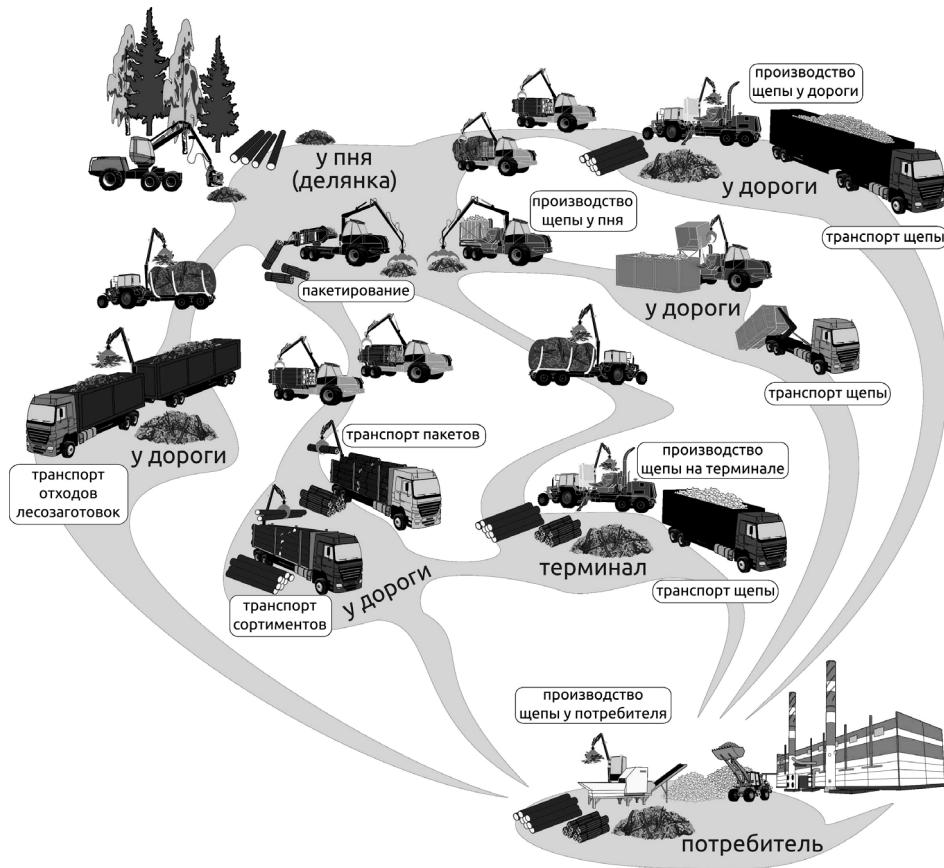
Российская Федерация обладает огромным потенциалом в области лесной биоэнергетики. В лесах России можно заготавливать значительные объемы древесной биомассы из неделевой древесины [6], [7]. На Северо-Западе России выход неделевых сортиментов составляет для ели 15–25 %, для сосны – 14–25 %, для березы – 46–74 %, для осины – 56–78 % [12]. При этом стоимость энергии из топливной щепы, полученной из неделевой древесины, значительно ниже, чем из щепы, в качестве сырья для которой выступа-

ют 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 [11]. 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.



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

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 главным образом на участках рубок главного пользования с рыхлыми минеральными почвами.

При проектировании технологических процессов производства древесного топлива из древесной биомассы необходимо принимать во внимание ряд факторов: эксплуатационные затраты, качество древесного топлива, человеческий фактор, фактор взаимодействия между машинами в технологической цепочке, экологические факторы [1], [13].

Знание эксплуатационных затрат на лесосечные и транспортные работы и производство древесного топлива является необходимым условием эффективного планирования системы поставок [10]. Решением транспортных задач занимается логистика, которая позволяет оптимизировать управление процессом транспортировки с делянки до потребителя [9]. Оптимальное решение логистической задачи позволяет существенно снизить прямые затраты на производство топливной щепы, так как затраты на трелевку древесной биомассы и транспортировку древес-

ного 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, такими как 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 CO_2 , размеров частиц [5]. Наиболее важны-

ми 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 листьев в 6–11 раз выше зольности древесины [13]. Таким образом, чистая зольность щепы из целых деревьев составляет около 1%, щепы из отходов лесозаготовок – 2%, или 4–6 и 8–12 кг/м³ 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 нами исследования, квалификация оператора оказывает значительное влияние на производительность лесосечной машины [2].

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

$$P_s = P_{s_6} + P_{s_0},$$

где P_{s_6} – число рабочих мест высокой квалификации, создаваемых при внедрении технологии; P_{s_0} – 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 [8]. Для сравнения систем лесозаготовительных машин в работе [14] используются критерии Вальда, Лапласа или Ходжа-Лемана. Так, в соответствии с минимаксным критерием Вальда лучшей считается та система машин, в которой наибольшая тяжесть труда из всех видов работ в этой системе окажется меньше:

$$W = \min_i \cdot \max_j \cdot I_{ij}$$

где i – число рассматриваемых систем машин; j – число рабочих мест в каждой системе машин; I_{ij} – интегральная тяжесть труда на j -м рабочем месте в составе i -й системы машин.

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% [13].

Непрямое взаимодействие имеет место при укладке биомассы или древесного топлива в штабели 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 операций по заготовке древесной биомассы в существующую систему лесозаготовок оказывает неоднозначное воздействие на будущие 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 предлагаются учитывать уплотнение почвогрунтов и колеообразование 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 микрорганизмов, играющих важную роль в обеспечении корней растений доступными элементами питания [4].

Колеообразовательные 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 проходимость техники по волоку. Если геометрической проходимости лесной машины не хватит для прохода по колее, то движение по волоку будет невозможным.

Таким образом, при разработке системы поддержки принятия решений по стимулированию рационального использования древесной биомассы и отходов лесозаготовок в биоэнергетике предлагается принимать во внимание все пере-

численные выше факторы, что позволит выбрать технологическую цепочку производства древесного топлива и подобрать оптимальную систему машин с учетом лесосырьевой базы, финансовых возможностей предприятия, экологических и социоэкономических последствий.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вос Д. Передовой опыт в использовании энергии биомассы: Пер. с англ. Минск: РУП Белэнергосбережение, 2006. 198 с.
2. Селиверстов А. А., Сюнёв В. С., Герасимов Ю. Ю., Соколов А. П. Повышение эффективности использования харвестеров // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 4(8). С. 133–139.
3. Суханов Ю. В., Герасимов Ю. Ю., Селиверстов А. А., Соколов А. П. Технологические цепочки и системы машин для сбора и переработки древесной биомассы в топливную щепу при сплошнолесосечной заготовке в сортировках // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 4(12).
4. 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.
5. BS EN 14961-1:2010 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements.
6. Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia // Biomass and Bioenergy. 2011. № 35. P. 1655–1662.
7. 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.
8. Gerasimov Y., Sokolov A. Ergonomic characterization of harvesting work in Karelia // Croatian Journal of Forest Engineering. 2009. № 30(2). P. 159–170.
9. Gerasimov Y. Y., Sokolov A. P., Syunnev V. S. Optimization of industrial and fuel wood supply chain associated with cut-to-length harvesting // Systems. Methods. Technologies. 2011. № 3(11). P. 118–124.
10. Goltsev V., Ilavsky J., Gerasimov Y., Karjalainen T. Potential for biofuel development in Tihvin and Boksitogorsk districts of the Leningrad region – the analysis of energy wood supply systems and costs // Forest Policy and Economy. 2010. № 12(4). P. 308–316.
11. Hakkila P. Developing technology for large-scale production of forest chips. Wood Energy Technology Programme 1999–2003 // Tekes Technology Programme Report. 2004. № 6. 98 p.
12. Karjalainen T., Gerasimov Y., Goltsev V., Ilavský J., Tahvanainen T. Assessment of Energy Wood Resources in the Leningrad Region // Developing Bioenergy Markets – Focus on Forest Sector and Russia. Lappeenranta, 2006. 20 p.
13. Richardson J., Björheden R., Hakkila P., Lowe A. T., Smith C. T. Bioenergy from Sustainable Forestry – Guiding Principles and Practice. Forestry Sciences. Vol. 71. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002.
14. Sokolov A., Gerasimov Y. Ergonomic characterization of wood harvesting systems in Russia // 44th International Symposium on Forestry Mechanization. Austria, 2011. 12 p.