

ИЛЬЯ РОМАНОВИЧ ШЕГЕЛЬМАН

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет

shegelman@onego.ru

АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ КУЗНЕЦОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет

kuzalex@psu.karelia.ru

ВЯЧЕСЛАВ НИКОЛАЕВИЧ БАКЛАГИН

аспирант кафедры технологии и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет

slava.baklagin@mail.ru

ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ БУДНИК

аспирант кафедры технологии и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет

pavelbudnik@sampo.ru

ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ СКРЫПНИК

заведующий лабораторией технологии лесосечных работ и транспорта леса КарНИИЛПК, Петрозаводский государственный университет

karniilp@onego.ru

ПОДГОТОВКА И ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЩЕПЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ (БИОТОПЛИВА)

Сегодня биоэнергетика во многих странах – это быстрорастущий энергетический сектор промышленности. Одним из основных ресурсов для производства биотоплива в лесных регионах является дополнительное сырье в виде сучьев, вершинок и т. д. В статье рассматривается полный технологический цикл производства топливной щепы с учетом технологических и технических решений, позволяющих параллельно с производством основной лесозаготовительной продукции эффективно использовать древесную биомассу.

Ключевые слова: дополнительное сырье, биотопливо, топливная щепа, валочно-трелевочно-процессорная машина, мобильная рубительная машина

В настоящее время уделяется значительное внимание развитию альтернативной энергетики с использованием местных видов топлива, в том числе отходов лесозаготовок (лесосечных отходов). В России, и в частности в Республике Карелия, в связи с переходом на сортиментную технологию на лесозаготовках используют технологические процессы, которые не обеспечивают комплексного использования древесины, так как большая часть биомассы древесины (сучья, ветви, вершины и т. д.) остается на лесосеке в рассредоточенном виде, что осложняет ее дальнейшее использование. Поэтому остро стоит вопрос разработки новых решений, позволяющих вместе с производством основной лесозаготовительной продукции эффективно использовать древесную биомассу.

Для разработки технических и технологических решений проблем подготовки энергетиче-

ского сырья к переработке нами был использован хорошо себя зарекомендовавший в области лесозаготовок функционально-технологический анализ (ФТА) [3]. В процессе ФТА рассматривались 62 технологические схемы заготовки сортиментов и топливной щепы как системы, состоящие из элементов. Элементами системы являлись машины, которые, в свою очередь, состояли из подсистем. Абстрактно были выделены следующие 9 подсистем элементов: валки, обрезки сучьев, раскряжевки, удержания объекта, измельчения, перемещения, погрузки, разгрузки и доставки. На аналитико-синтетической стадии ФТА была рассмотрена возможность переноса выявленных подсистем элементов во времени и в пространстве. Для обобщения альтернативных вариантов получаемых систем заготовки сортиментов и топливной щепы применялся морфологический анализ [2].



Рис. 1. Схема валочно-трелевочно-процессорной машины:
1 – базовая машина, 2 – харвестерная головка,
3 – манипулятор, 4 – зажимной коник

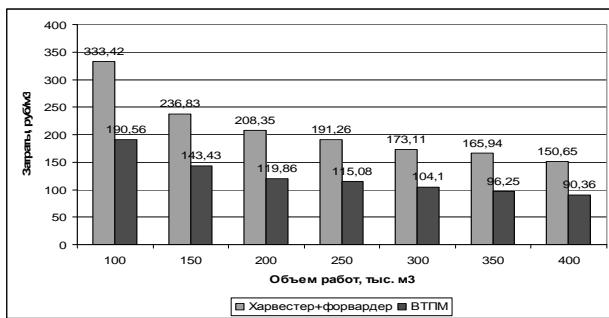


Рис. 2. Эксплуатационные затраты по технологиям

Оценка степени влияния факторных признаков на результативный признак

Факторный признак	Коэффициент парной корреляции	Критическое значение коэффициента Стьюдента	Расчетное значение коэффициента Стьюдента
Объем пачки, $V_{пачк}$	0,8590	1,9623	54,0450
Количество стволов в пачке, N	0,2393	1,9623	19,64231
Среднеквадратическое отклонение диаметров стволов в пачке, $S_{откл}$	0,5205	1,9623	7,9420

По результатам экспертной оценки была выбрана система, состоящая из валочно-трелевочно-процессорной машины (ВТПМ), мобильной рубительной машины, автопоезда с манипулятором и щеповоза.

Валочно-трелевочная машина имеет следующие основные элементы: базовую машину, манипулятор, харвестерную головку и зажимной коник. Схема ВТПМ на базе валочно-трелевочной машины ТЛК6-02 представлена на рис. 1. Машину рекомендуется выполнить на базе трактора мощностью 114–160 кВт со следующими параметрами: вылет манипулятора – 8,8–8,9 м; площадь коника – 1,1–2,2 м².

Технология работы этой машины основана на технологии работы валочно-трелевочной машины [4] и заключается в следующем. При разработке каждой пасеки машина задним ходом заходит

вглубь лесосек и разрабатывает волок (технологический коридор), укладывая деревья по краям и освобождая проезд. Двигаясь в обратном направлении, машина подбирает и укладывает в коник деревья, находящиеся в пределах доступности с обеих ее сторон. После набора пачки деревьев она трелюется на погрузочную площадку, на которой производит обрезку сучьев, раскряжевку деревьев, штабелевку сортиментов.

К основным преимуществам предложенной системы можно отнести следующие:

1. Лесосечные отходы и дровяная древесина концентрируются на погрузочной площадке, что делает их переработку более эффективной, чем при традиционных технологиях, когда для сбора лесосечных отходов необходимо содержать дополнительную технику.
2. Проведенные нами расчеты показали, что при равных природно-производственных условиях себестоимость заготовки сортиментов с использованием ВТПМ в среднем меньше до 41 %, чем с использованием комплекса машин харвестер – форвардер (рис. 2).

При решении проблем повышения эффективности переработки древесного сырья в щепу энергетического назначения были проведены экспериментальные исследования передвижной рубительной машины УРП-600. Были сделаны замеры времени измельчения пачек дровяных стволов и лесосечных отходов, а также замеры параметров пачек, таких как количество дровяных стволов в пачке, диаметры стволов, рассчитаны объемы и среднеквадратические отклонения от среднего каждого пачки.

На основе экспериментальных исследований измельчения дровяных стволов передвижной рубительной машиной сделана оценка степени влияния различных факторных признаков на результативный признак (время измельчения пачки $T_{руб}$). Значимость влияния каждого признака подтверждает критерий Стьюдента (критическое значение меньше расчетного). Результаты приведены в таблице.

Анализ показал, что на процесс измельчения наиболее сильное влияние оказывает объем формируемой пачки. Связь между результативным и факторным признаками характеризуется как прямая и сильная. Помимо этого, среднеквадратическое отклонение диаметров стволов в пачке $S_{откл}$ оказывает существенное влияние на время измельчения пачки дровяных стволов; связь характеризуется как прямая и средняя по тесноте, что нельзя не учитывать в производственном процессе выработки щепы энергетического назначения.

Для каждой из групп экспериментальных данных методом наименьших квадратов было выведено регрессионное уравнение (зависимости времени измельчения пачки от объема пачки и от среднеквадратического отклонения диаметров стволов пачки), система уравнений представляет собой математическую модель измельчения дровяных стволов в рубительном модуле:

$$T_{pyb} = (1 \quad V_{nach} \quad V_{nach}^2 \quad S_{omkl} \quad S_{omkl}^2) \times \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ F \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ F \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0,3958 & 3,1262 & -7,0269 & 16,9468 \\ 3,0087 & -22,0983 & 48,5056 & 30,3962 \\ -2,7547 & 20,5425 & -43,9115 & 47,2974 \\ -0,1335 & 0,8856 & -1,6577 & 0,9056 \\ 0,0086 & -0,0639 & 0,1865 & -0,1313 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} N^3 \\ N^2 \\ N \\ 1 \end{pmatrix}$$

при $N \in \{1, 2, 3, 4\}$; A, B, C, D, F – коэффициенты при переменных регрессионных уравнениях

$$\begin{pmatrix} -0,3958 & 3,1262 & -7,0269 & 16,9468 \\ 3,0087 & -22,0983 & 48,5056 & 30,3962 \\ -2,7547 & 20,5425 & -43,9115 & 47,2974 \\ -0,1335 & 0,8856 & -1,6577 & 0,9056 \\ 0,0086 & -0,0639 & 0,1865 & -0,1313 \end{pmatrix} -$$

матрица коэффициентов регрессии, полученных в результате регрессионного анализа экспериментальных данных.

Оптимизацию данной модели можно осуществить по критерию наименьших потерь времени при совместной работе двух рабочих органов рубительной машины – манипулятора и рубительного модуля. При таком режиме у передвижной рубительной машины нет простоев в работе, и все рабочие органы машины работают с оптимальной загрузкой.

Оптимизацию можно осуществить и по критерию максимальной часовой производительности. При этом рубительный модуль машины работает максимально эффективно. В обоих случаях варьируемым параметром является объем пачки.

$$\begin{cases} \Pi_{nach} = \frac{3600 \cdot \sqrt{\frac{A + DS + FS^2}{C}} \cdot f_1}{2A + B \sqrt{\frac{A + DS + FS^2}{C}} + 2DS + 2FS^2}, & \text{при } B \sqrt{\frac{A + DS + FS^2}{C}} + 2(A + DS + FS^2) > \sum T_{oper.man} \\ \Pi_{nach} = \frac{3600 \cdot \sqrt{B^2 - 4C \cdot (A + DS + FS^2 - \sum T_{oper.man})} - B}{2C} \cdot f_1, & \text{при } B \sqrt{\frac{A + DS + FS^2}{C}} + 2(A + DS + FS^2) < \sum T_{oper.man} \end{cases}, \quad (5)$$

Часовая производительность при оптимальном объеме пачки 0,33–0,44, вычисленная по формуле (5), составляет 66–69 м³/час, что на 25 % больше наблюдаемой нами при хронометражных замерах, при работе передвижной рубительной машины с объемами пачек 0,17–0,55.

Оптимальный объем пачки в первом случае (минимизация потерь времени при совместной работе двух рабочих органов рубительной машины) с учетом математической модели (1) определяется из равенства времени измельчения пачки и суммарного времени всех операций манипулятора $T_{pyb} = \sum T_{oper.man}$ и после решения квадратного уравнения имеет вид:

$$V_{nach} = \frac{\sqrt{B^2 - 4C \cdot (A + DS + FS^2 - \sum T_{oper.man})} - B}{2C}. \quad (2)$$

Часовая производительность передвижной рубительной машины с учетом [4] будет определяться как

$$\Pi_{nach} = \frac{3600 \cdot \sqrt{B^2 - 4C \cdot (A + DS + FS^2 - \sum T_{oper.man})} - B}{2C} \cdot f_1, \quad (3)$$

где f_1 – коэффициент использования рабочего времени; k – коэффициент, учитывающий удлинения производственного цикла работы манипулятора передвижной рубительной машины.

Оптимальный объем пачки во втором случае (достижение максимальной часовой производительности) определяется из уравнения

$$\frac{d\Pi_{nach}}{dV_{nach}} = \left(\frac{3600 \cdot V_{nach}}{kT_{цикл}(V_{nach})} \right)' = 0.$$

После математических преобразований получаем:

$$V_{nach} = \sqrt{\frac{A + DS_{omkl} + FS_{omkl}^2}{C}}. \quad (4)$$

При среднеквадратическом отклонении диаметров дровяных стволов в пачке от среднего, равном 1–10 см, оптимальный объем пачки, вычисленный по формуле (4), составляет 0,33–0,4 м³.

Максимальная часовая производительность определяется формулой:

$$\begin{cases} \Pi_{nach} = \frac{3600 \cdot \sqrt{\frac{A + DS + FS^2}{C}} \cdot f_1}{2A + B \sqrt{\frac{A + DS + FS^2}{C}} + 2DS + 2FS^2}, & \text{при } B \sqrt{\frac{A + DS + FS^2}{C}} + 2(A + DS + FS^2) > \sum T_{oper.man} \\ \Pi_{nach} = \frac{3600 \cdot \sqrt{B^2 - 4C \cdot (A + DS + FS^2 - \sum T_{oper.man})} - B}{2C} \cdot f_1, & \text{при } B \sqrt{\frac{A + DS + FS^2}{C}} + 2(A + DS + FS^2) < \sum T_{oper.man} \end{cases}, \quad (5)$$

Проведенные исследования показали, что при технологическом процессе с использованием ВТПМ лесосечные отходы и дровяная древесина концентрируются на погрузочной площадке, что позволяет повысить эффективность переработки вторичного сырья в сравнении с тради-

ционными технологиями, когда для сбора лесосечных отходов необходимо содержать дополнительную технику.

ВЫВОДЫ

1. На основании функционально-технологического анализа была выбрана система, состоящая из ВТПМ, мобильной рубительной машины, автопоезда с манипулятором и щеповоза для заготовки сортиментов с одновременной подготовкой дровяного древесного сырья для выработки щепы энергетического назначения (биотоплива).
2. Проведенные нами расчеты показали, что при равных природно-производственных условиях себестоимость заготовки сортиментов при использовании ВТПМ в среднем меньше до 41 %, чем при использовании комплекса машин харвестер – форвардер (рис. 2).
3. Для повышения производительности передвижной рубительной машины на 20–25 % необходимо учитывать рекомендуемый объем пачки, который описывается полученными зависимостями (4), (5). Наиболее опти-

мальной пачкой дровяных стволов для рубительной машины УРП-600 будет та, объем которой равен 0,33–0,40 м³ (в зависимости от других ее параметров).

4. Получена математическая модель (1), описывающая зависимость времени рубки от основных параметров пачки – ее объема, количества дровяных стволов в пачке, а также среднеквадратического отклонения диаметров стволов в пачке от среднего.
5. Полученная математическая модель (1) позволяет планировать работу передвижных рубительных машин с целью создания технологических цепочек.
6. Для повышения производительности мобильной рубительной машины необходимо выполнить предварительную подсорттировку штабеля дровяных стволов, поскольку степень влияния среднеквадратического отклонения диаметров дровяных стволов от среднего в пачке на время измельчения этой пачки значительна.

Результаты экспериментальных наблюдений показали, что сортировка штабеля на две размерные группы с диаметрами 8–29 и 30–50 см дает увеличение производительности на 7–8 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпачев С. П., Щербаков Е. Н., Слинченков А. Н. Биоэнергетика начинается на лесосеке: рубительные машины и энергетическое оборудование // Лесопромышленник. 2007. № 43. С. 3.
2. Одрин В. М., Картавов С. С. Морфологический анализ систем. Построение морфологических таблиц. Киев: Наукова думка, 1977. 148 с.
3. Шегельман И. Р. Функционально-технологический анализ: Методология и приложения. М.: ИПИ, 2000. 96 с.
4. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Галактионов О. Н. Техника и технология лесосечных работ: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2004. 228 с.