

## ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА БИОМАССЕ И ЛОГИСТИКА ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

*Докт. техн. наук, проф. ВАВИЛОВ А. В., инж. СОКОЛОВСКИЙ Ю. В.*

*Белорусский национальный технический университет*

Актуальность проблемы топливообеспечения энергетических установок на биомассе возросла в связи с появлением в Беларуси мини-ТЭЦ, работающих преимущественно на древесной щепе, поскольку суточная потребность таких установок составляет несколько сотен кубических метров щепы. Первый опыт эксплуатации мини-ТЭЦ на щепе показал высокую себестоимость получаемого топлива и заставил основательно проработать всю систему топливообеспечения. Анализ причин высокой себестоимости свидетельствует о том, что размещать новые мини-ТЭЦ необходимо прежде всего там, где сосредоточены достаточные сырьевые запасы. Одновременно решается задача создания стабильной сырьевой базы на весь срок эксплуатации мини-ТЭЦ за счет плантаций из быстрорастущих древесных пород. Особо важным вопросом в топливообеспечении энергетических установок на биомассе является выбор эффективных технических средств – машин и оборудования, которые позволили бы сделать топливообеспечение высококоррентабельным производством.

Выбор технических средств определяется прежде всего параметрами исходного топлива и сырьевого материала.

Сегодня для производства топливной щепы основным сырьевым материалом являются дрова. Проведенные исследования показали [1–3], что дрова целесообразно доставлять сортиментами на стационарные объекты, размещенные непосредственно у энергоустановок, на которых дрова после подсушки с помощью стационарных рубильных машин дискового типа превращаются в щепу.

Современные каналы информации дают богатый материал по маркам таких рубильных машин, их производительности, цене и другим показателям. Однако потенциальный пользователь должен выбрать ту, которая обеспечит вы-

сокорентабельное производство щепы. Мы предлагаем отдать предпочтение той рубильной машине, которая обеспечивает:

минимальную удельную энергоёмкость [4, 5]

$$N_{уд} = \frac{N}{\Pi_3},$$

где  $N$  – мощность установленных на рубильной машине двигателей, кВт;  $\Pi_3$  – эксплуатационная производительность машины, м<sup>3</sup>/ч;

минимальную себестоимость производства 1 м<sup>3</sup> топливной щепы

$$C = \frac{C_{м-ч}}{\Pi_3},$$

где  $C_{м-ч}$  – стоимость машино-часа, руб./маш.-ч.

$\Pi_3$  можно определить по формуле [6]

$$\Pi_3 = \frac{3600\pi D_{ср}^2 v k_y k_b}{4}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $D_{ср}$  – средний диаметр подаваемых древесных бревен, м;  $v$  – скорость подачи, м/с;  $k_y$  – коэффициент, учитывающий условия работы ( $k_y \approx 0,85$ );  $k_b$  – коэффициент использования машины по времени ( $k_b = 0,85 - 0,95$ ).

Весомым подспорьем в обеспечении топливом энергоустановок на биомассе являются древесные отходы, образуемые в лесу при лесозаготовках, в деревообработке, дорожной отрасли, мелиорации, строительстве и т. д. Все эти отходы должны быть превращены в транспортабельный материал и доставлены к энергоустановке.

Ранее выполненные исследования позволили установить, что для превращения нетранспортабельных древесных отходов в щепу целесообразнее использовать мобильную рубиль-

ную машину барабанного типа, оборудованную собственным контейнером-перегрузчиком для приема производимой щепы и перегрузки ее по мере заполнения контейнера в съемные контейнеры топливоза, оборудованного системой «мультилифт».

Из всего многообразия мобильных рубильных машин и топливоза также предстоит выбрать самое эффективное оборудование. Выбор определяется прежде всего средним расстоянием доставки.

Сменную производительность рубильной машины с контейнером-перегрузчиком в общем случае можно определить по формуле

$$P_{\text{см}} = \frac{T_{\text{н}} V k_{\text{щ}} k_{\text{н}} k_{\text{в}}}{T_{\text{ц}}}, \text{ м}^3/\text{см},$$

где  $T_{\text{н}}$  – время работы рубильной машины в течение смены, ч [4];  $V$  – объем контейнера рубильной машины,  $\text{м}^3$ ;  $k_{\text{щ}}$  – коэффициент полноты заготовки щепы ( $k_{\text{щ}} = 0,36$ );  $k_{\text{н}}$  – то же наполнения контейнера рубильной машины ( $k_{\text{н}} = 0,9-1,1$ );  $T_{\text{ц}}$  – время рабочего цикла рубильной машины.

Время работы рубильной машины в течение смены

$$T_{\text{н}} = T_{\text{см}} - t_{\text{пз}} - t_{\text{пб}}, \text{ ч},$$

где  $T_{\text{см}}$  – продолжительность смены, ч;  $t_{\text{пз}}$  – время подготовительно-заключительных операций, ч ( $t_{\text{пз}} = 0,667$  ч [7]);  $t_{\text{пб}}$  – то же перебазировки рубильной машины в течение смены, ч.

Время рабочего цикла мобильной рубильной машины

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{п}} + t_{\text{р}} + t_{\text{рх}} + t_{\text{хх}} + t_{\text{р.пер}} + t_{\text{м}}, \text{ ч},$$

где  $t_{\text{п}}$  – время наполнения (погрузки) контейнера рубильной машины, ч;  $t_{\text{р}}$  – то же разгрузки рубильной машины в контейнер топливоза, ч ( $t_{\text{р}} \approx 0,025$  ч);  $t_{\text{рх}}$ ,  $t_{\text{хх}}$  – то же на передвижение рубильной машины по лесосеке в груженом и порожнем состоянии, ч;  $t_{\text{р.пер}}$  – то же на переезды рубильной машины, при подборе лесосечных отходов, ч;  $t_{\text{м}}$  – то же маневрирования рубильной машины у контейнера, переключения передач и т. п., ч ( $t_{\text{м}} \approx 0,05$  ч).

Время наполнения контейнера рубильной машины определяется исходя из ее производительности при переработке лесосечных отходов  $P_{\text{ч}}$

$$t_{\text{пор}} = \frac{V}{P_{\text{ч}}}, \text{ ч}.$$

Время на передвижение рубильной машины по лесосеке в груженом и порожнем состоянии [7]:

$$t_{\text{рх}} = \frac{sk_0}{v_{\text{рх}}}; \quad t_{\text{хх}} = \frac{sk_0 k_1}{v_{\text{хх}}}, \text{ ч},$$

где  $s$  – расстояние подвозки щепы, км;  $v_{\text{рх}}$ ,  $v_{\text{хх}}$  – скорости в груженом и порожнем состояниях, км/ч;  $k_0$ ,  $k_1$  – коэффициенты, учитывающие увеличение пройденного пути за счет непрямолинейности при движении и увеличения пути при развороте машины ( $k_0 = 1, 2$ ;  $k_1 = 1, 2$ ).

Время на переезды при подборе лесосечных отходов

$$t_{\text{р.пер}} = \frac{l_{\text{пер}}}{v_{\text{пер}}}, \text{ ч},$$

где  $l_{\text{пер}}$  – путь, проходимый машиной при сборе лесосечных отходов, км;  $v_{\text{пер}}$  – средняя скорость движения машины при сборе пачки, км/ч.

Путь, проходимый машиной при сборе:

$$l_{\text{р.пер}} = \frac{10V k_{\text{щ}}}{Q_{\text{га}}^0 b i}, \text{ км},$$

где  $Q_{\text{га}}^0$  – запас лесосечных отходов на 1 га,  $\text{м}^3$ ;  $b$  – ширина полосы лесосеки, разрабатываемая манипулятором рубильной машины, м;  $i$  – интенсивность рубки насаждений.

Стоимость производства топливной щепы из лесосечных отходов определяется по формуле

$$C = \frac{C_{\text{маш-см}}}{P_{\text{см}}}, \text{ руб./м}^3,$$

где  $C_{\text{маш-см}}$  – стоимость машино-смены рубильной машины, руб./маш-см.

Исследования позволили определить, что существенное влияние на производительность рубильной машины с контейнером-перегрузчиком оказывает путь, проходимый при сборе лесосечных отходов и доставке щепы к контейнеру. Увеличение пути, проходимого при сборке отходов, и расстояния доставки щепы снижает время работы рубильного агрегата мобильной машины в течение смены и существенно повышает себестоимость производства топливной щепы.

На рис. 1 представлен график изменения производительности отечественных мобильных рубильных машин (в плотных  $\text{м}^3$ ) при переработке лесосечных отходов в зависимости от

расстояния вывозки щепы к контейнеру топливовоза с системой типа «мультилифт».

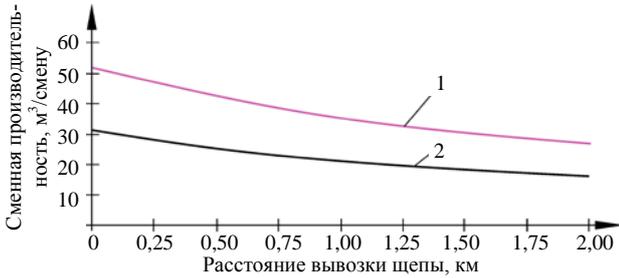


Рис. 1. Зависимость производительности мобильной рубильной машины с контейнером-перегрузчиком от расстояния вывозки щепы к контейнеру топливовоза: 1, 2 – производительность соответственно рубильных машин «Беларус МР-25» и «Амкорд-29061»

Как видно из графика, при увеличении расстояния вывозки топливной щепы мобильной рубильной машиной на расстояние до 2 км ее сменная производительность снижается почти в два раза, что связано с уменьшением времени работы рубильного агрегата и работой машины в качестве транспортного средства. Простой рубильного агрегата приводит к значительному увеличению стоимости топливной щепы и, как следствие, при работе мобильной рубильной машины в комплекте с контейнеровозом с системой типа «мультилифт» – к сокращению возможного расстояния доставки топливной щепы потребителю.

Производительность топливовоза с системой типа «мультилифт» зависит от расстояния доставки щепы и в общем случае определяется по формуле

$$P_{cm} = \frac{T_n V n k_n k_{щ} k_B}{T_{ц}}, \text{ м}^3/\text{см},$$

где  $n$  – количество контейнеров, перевозимых контейнеровозом за одну езду.

Время работы топливовоза в течение смены

$$T_n = T_{cm} - t_{пз} - t_{нп}, \text{ ч},$$

где  $t_{пз}$  – подготовительно-заключительное время с учетом медицинского осмотра, ч ( $t_{пз} = 25 \text{ мин} = 0,417 \text{ ч}$  [8]);  $t_{нп}$  – время на пробег от гаража до пункта первой погрузки, ч;

$$t_{нп} = \frac{L_{п}}{v_T}, \text{ ч},$$

где  $L_{п}$  – пробег топливовоза от гаража до пункта первой погрузки, км;  $v_T$  – расчетная норма пробега топливовоза, км/ч.

Время рабочего цикла топливовоза составляет

$$T_{ц} = t_{пог} + t_{раз} + t_{гх} + t_{пх} + t_{л.ус} + t_{ож} + t_M, \text{ ч},$$

где  $t_{пог}$  – время погрузки топливовоза, ч (при  $n = 1$   $t_{пог} \approx 0,05$  ч, при  $n = 2$   $t_{пог} \approx 0,25$  ч);  $t_{раз}$  – то же разгрузки топливовоза, ч (при  $n = 1$   $t_{раз} \approx 0,025$  ч, при  $n = 2$   $t_{раз} \approx 0,25$  ч);  $t_{гх}$  – то же движения топливовоза в груженом состоянии, ч;  $t_{пх}$  – то же в порожнем состоянии, ч;  $t_{л.ус}$  – то же по лесовозному усу, ч;  $t_{ож}$  – то же на ожидание встречного транспортного средства, ч;  $t_M$  – то же маневрирования топливовоза на верхнем складе и резервном складе у энергоустановки ( $t_M = 0,05$  ч).

Время движения топливовоза в груженом и в порожнем состояниях определяется по формулам:

$$t_{гх} = \frac{s}{v_{гх}}; \quad t_{пх} = \frac{s}{v_{пх}}, \text{ ч},$$

где  $s$  – расстояние вывозки древесины, км;  $v_{гх}$  – средняя скорость груженого топливовоза, км/ч;  $v_{пх}$  – то же порожнего топливовоза, км/ч.

Время движения топливовоза по лесовозному усу по аналогии с лесным автотранспортом составляет [7]

$$t_{л.ус} = t_{yc} s_{yc}, \text{ ч},$$

где  $t_{yc}$  – время пробега 1 км в обоих направлениях по лесовозному усу, ч ( $t_{yc} = 0,167$  ч);  $s_{yc}$  – расстояние вывозки по лесовозному усу, км.

Время на ожидание встречного транспортного средства

$$t_{ож} = t_B s_1, \text{ ч},$$

где  $t_B$  – время на ожидание встречного автопоезда на 1 км пробега в порожнем направлении на 1 км лесовозного уса (для однополосного лесовозного уса  $t_B = 6 \text{ с} = 0,002 \text{ ч}$  [7]);  $s_1$  – протяженность лесовозного уса, км.

Стоимость доставки топливной щепы потребителю определяется по формуле [8, 9]:

$$C = \frac{C_{\text{маш-ч}}^T T_{cm} + C_{1\text{км}}^T l_{cm}}{P_{cm}}, \text{ руб./м}^3,$$

где  $C_{\text{маш-ч}}^T$  – стоимость машино-часа топливовоза, не зависящая от пробега, руб./ч;  $C_{1\text{км}}^T$  – то же 1 км пробега топливовоза средства, руб./км;  $l_{cm}$  – сменный пробег топливовоза, км.

Зависимость производительности топливовоза со сменными контейнерами на базе шасси МАЗ при работе с прицепом (два контейнера)

и без него (один контейнер) в зависимости от расстояния доставки топливной щепы потребителю представлена на рис. 2.

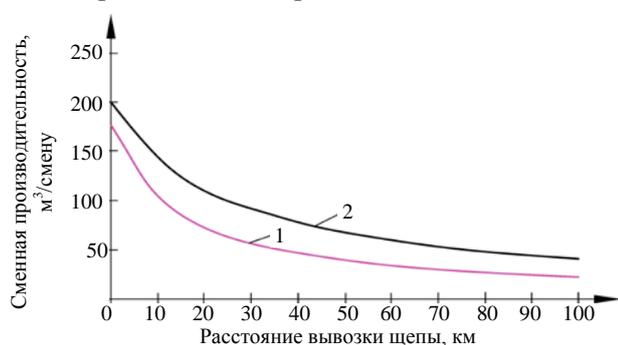


Рис. 2. Зависимость производительности топливозовоза от расстояния доставки топливной щепы потребителю: 1, 2 – производительность топливозовоза соответственно с одним и двумя контейнерами

Отдельно следует отметить выбор оборудования для заготовки щепы из быстрорастущей древесины энергетических плантаций или самовозобновившейся поросли из малоценных пород. Пока закладываются первые энергетические плантации, биомассу с которых можно убирать не раньше, чем лет через десять, необходимо заготавливать щепу из самовозобновляющейся поросли или древесно-кустарниковой растительности с объектов мелиорации. Только в Витебской области запас поросли ольхи серой (не представляющей сегодня ценности для промышленности) составляет более 18 млн м<sup>3</sup>. Однако произрастает ольха серая в основном на труднопроезжаемых увлажненных участках. Это обстоятельство и определяет выбор конструкции машины для срезания такой растительности. Машина должна иметь хорошую проходимость при работе на грунтах с недостаточной несущей способностью. Кроме этого, машина должна срезать не только маломерные деревья, но и формировать из них пачки, собирать и вывозить их к месту производства топливной щепы. Таким требованиям удовлетворяет отечественный высокопроходимый тягач трелевочный с манипулятором «Амкодор-2243», оборудованный специальным рабочим органом для срезания деревьев, их пакетирования и укладки для трелевки. После необходимых доработок для выполнения рассматриваемых операций нами предлагается использовать более эффективный «Амкодор-2661», позволяющий не только срезать и пакетировать деревья, но и собирать пакеты, формировать из них воз и доставлять его к рубильной машине, обеспечивая ее эффективную работу.

## ВЫВОДЫ

1. Для получения топливной щепы из дровяной древесины предлагается вывозить дрова сортиментозами на стационарные объекты у энергетических установок, там их складировать, подсушивать и подавать на измельчение стационарными рубильными машинами дискового типа.

2. Ныне неиспользуемые древесные отходы предлагается собирать независимо от их ведомственной принадлежности для дальнейшего производства из них щепы рубильными машинами, оборудованными собственными контейнерами-перегрузчиками для перегрузки щепы в съемные контейнеры контейнеровозов, собирающих эти контейнеры и доставляющих их к энергоустановкам.

3. Для срезания, пакетирования, сбора и доставки к рубильной машине поросли малоценных пород, в том числе выращиваемой на специальных плантациях, предлагается применять «Амкодор-2661», оборудованный срезающим и пакетизирующим рабочими органами.

4. Выбирать эффективное техническое средство для топливообеспечения предлагается через удельную энергоёмкость и себестоимость единицы произведенной продукции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. К выбору комплектов машин для топливообеспечения энергоустановок на биомассе / А. В. Вавилов [и др.] // Вестник БНТУ. – 2007. – № 2. – С. 66–70.
2. Энергосберегающие процессы и технические средства для заготовки топливной щепы из лесосечных отходов / А. В. Вавилов [и др.] // Труды БГТУ. – 2006. – Вып. XV. – С. 34–37.
3. Эффективное оборудование для стационарного объекта жилищно-коммунального хозяйства по производству топливной щепы / А. В. Вавилов [и др.] // Строительная наука и техника. – 2007. – № 6. – С. 91–94.
4. Экономическое проектирование технологических машин строительного комплекса / А. В. Вавилов [и др.]; под общ. ред. А. В. Вавилова. – Минск: Стринко, 2003. – 102 с.
5. Дорожно-строительные машины / А. В. Вавилов [и др.]; под ред. А. М. Щемелева. – Минск: Технопринт, 2000. – 515 с.
6. Вавилов, А. В. Ресурсосберегающие технические средства для топливообеспечения энергоустановок на биомассе / А. В. Вавилов. – Минск, 2006. – 180 с.
7. Технология и оборудование лесозаготовительного производства / А. П. Матвейко [и др.]. – Минск: БГТУ, 2005. – 160 с.
8. Успенский, В. Перевозка грузов и пассажиров автомобильным транспортом: порядок расчета тарифов / В. Успенский // Информбанк. – 2001. – № 65. – С. 10–14.
9. Гарост, М. М. Обоснование рационального выбора комплектов машин для производства земляных работ / М. М. Гарост, Е. М. Масловская. – Гомель: БелГУТ, 2004. – 46 с.

Поступила 4.04.2008