

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ ДЛЯ БЕЛОРУССКИХ ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ

*Докт. техн. наук, проф. ВАВИЛОВ А. В., канд. экон. наук, доц. НАГОРНОВ В. Н.,  
канд. техн. наук ПАШКОВСКИЙ М. Н., инж. СОКОЛОВСКИЙ Ю. В.*

*Белорусский национальный технический университет*

В Беларуси функционирует ряд энергоисточников, работающих на топливной щепе. До 2015 г. намечается ввод в эксплуатацию таких энергоисточников общей тепловой мощностью 1025,7 МВт и электрической – до 47,45 МВт. Однако эффективность работы энергоисточников сегодня снижается за счет больших затрат на топливообеспечение, т. е. на производство и транспортировку топливной щепы. Основной причиной такого положения дел является отсутствие научно обоснованной технологии и технических средств для топливообеспечения.

Требуется существенно усовершенствовать применяемую технологию и подобрать эффективные технические средства для ее реализации. Для этого в качестве оценочного критерия выбрана себестоимость заготовки топливной щепы, включающей ее производство и доставку на склад энергоисточника.

Себестоимость единицы продукции комплексно-механизированных процессов определяют из учета стоимости эксплуатации машин в течение часа и их часовой эксплуатационной производительности по формуле

$$C_{\text{ед}} = \frac{K_1 \sum_{i=1}^n C_{\text{м-ч}} + K_2 \sum_{i=1}^k Z_{\text{ср}} + \frac{C_{\text{п}}}{T_0}}{\Pi_{\text{эк}}}, \text{ руб./м}^3, \quad (1)$$

где  $C_{\text{м-ч}}$  – стоимость одного машино-часа эксплуатации  $i$ -й машины, руб.;  $\Pi_{\text{эк}}$  – часовая эксплуатационная производительность комплекта машин, м<sup>3</sup>/ч;  $n$  – количество машин, входящих в комплект;  $Z_{\text{ср}}$  – средняя заработная плата рабочих, не связанных с эксплуатацией машин, руб.;  $T_0$  – продолжительность работы комплекта на объекте;  $k$  – количество рабочих, не свя-

занных с эксплуатацией машин;  $C_{\text{п}}$  – стоимость подготовительно-заключительных работ на объекте, руб.;  $K_1, K_2$  – коэффициенты накладных расходов на эксплуатацию машин и заработную плату.

В общем виде стоимость машино-часа определяется по формуле

$$C_{\text{м-ч}} = Z_{\text{а}} + Z_{\text{зп}} + Z_{\text{эн}} + Z_{\text{то}} + Z_{\text{ос}} + Z_{\text{пб}}, \text{ руб.}; \quad (2)$$

где  $Z_{\text{а}}$  – амортизационные отчисления, руб.;  $Z_{\text{зп}}$  – заработная плата машинистов, руб.;  $Z_{\text{эн}}$  – затраты на энергоносители, смазочные материалы и гидравлическую жидкость, руб.;  $Z_{\text{то}}$  – то же на ремонт и техническое обслуживание, руб.;  $Z_{\text{ос}}$  – то же на сменную оснастку, руб.;  $Z_{\text{пб}}$  – то же на перебазировку техники, руб.

Стоимость одного машино-часа для применяемых машин по (2) уже рассчитана в каждой конкретной организации или на предприятии.

Поскольку для реализации технологии заготовки топливной щепы, как правило, задействованы различные типы известных машин, рассчитываем эксплуатационную производительность.

При заготовке щепы из дров переработку древесного сырья на топливную щепу можно осуществлять по двум вариантам стационарной рубильной машиной у склада энергоисточника или мобильной машиной на объекте заготовки дров. Доставка дров на склад по первому варианту осуществляется сортиментовозом, подача дров к стационарной рубильной машине для переработки в топливную щепу – погрузчиком, оборудованным челюстным захватом. Раскалывание бревен диаметром, превышающим размеры патрона (загрузочного окна) рубильной машины, выполняет раскалывающий рабочий орган, навешиваемый чаще всего на манипуля-

тор. Подачу щепы от рубильной машины к буферному складу мини-ТЭЦ реализует транспорт.

По второму варианту дрова измельчаются на щепу на мобильной рубильной машине, которая грузится в щеповозы и отвозится на склад энергоисточника.

Эксплуатационная производительность сортиментовоза определяется по формуле

$$P_{эс} = \frac{V_c k_n k_b}{T_{ц}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $V_c$  – объем дров, перевозимых сортиментовозом за один рабочий цикл,  $\text{м}^3$ ;  $k_n$  – коэффициент наполнения грузового отсека сортиментовоза;  $k_b$  – то же использования рабочего времени сортиментовозом;  $T_{ц}$  – время рабочего цикла сортиментовоза, ч.

Производительность челюстного погрузчика при погрузке дров рассчитываем следующим образом:

$$P_{пч} = \frac{3600V_{п}k_{т}k_{в}}{T_{ц}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $V_{п}$  – объем пачки дров, захватываемой за один рабочий цикл,  $\text{м}^3$ ;  $k_{т}$  – коэффициент технического использования времени,  $k_{т} = 0,8-0,9$ ;  $k_{в}$  – коэффициент использования машины по времени,  $k_{в} = 0,85-0,95$ ;  $T_{ц}$  – время рабочего цикла погрузчика, ч.

Рассчитаем производительность раскалывающего рабочего оборудования, навешиваемого на манипулятор:

$$P_{р} = \frac{3600V_{б}k_{т}k_{в}}{T_{ц}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $V_{б}$  – объем раскалываемого бревна,  $\text{м}^3$ .

Производительность стационарной рубильной машины, а также мобильной, измельчающей дрова, определяем по формуле

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

где  $D_{ср}$  – средний диаметр подаваемых дровяных бревен, м;  $v$  – скорость подачи, м/с;  $k_y$  – коэффициент, учитывающий условия работы,  $k_y \approx 0,85$ .

Производительность скребкового конвейера при доставке щепы на склад энергетической установки можно определить по формуле

$$P_k = 3600v_c F \psi \gamma k_b, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $v_c$  – скорость скребков, м/с;  $F$  – площадь поперечного сечения материала на конвейере,  $\text{м}^2$ ;  $\psi$  – коэффициент производительности конвейера;  $\gamma$  – объемная масса древесного топлива,  $\text{т}/\text{м}^3$ .

Производительность щеповоза

$$P_{щ} = \frac{V_k k_{щ} k_n k_b}{T_{ц}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $V_k$  – объем кузова щеповоза,  $\text{м}^3$ ;  $k_{щ}$  – коэффициент полндревесности щепы,  $k_{щ} = 0,36$ .

По технологии производства щепы из древесных отходов срезка маломерных деревьев и их укладка в кучи осуществляется валочно-пакетирующей машиной. Сбор тонкомерных деревьев, их вывозку к месту переработки на щепу и складирование в штабеля для предварительной подсушки производит форвардер или машина лесная погрузочно-транспортная типа МТПЛ-5-11 или МПТ-461, выпускаемая Мозырским машиностроительным заводом. Переработка уложенных в штабеля тонкомерных деревьев и сложенных древесных отходов осуществляется мобильной рубильной машиной типа Беларусь МР-25, оборудованной бункером-перегрузчиком. При заполнении бункера мобильная рубильная машина осуществляет транспортировку на небольшие расстояния и перегрузку топливной щепы в контейнер щеповоза, который доставляет щепу на склад энергетической установки.

Производительность валочно-пакетирующей машины

$$P_{впм} = \frac{3600V k_b}{T_{ц}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $V$  – объем древесины, срезанной за один рабочий цикл,  $\text{м}^3$ ;  $T_{ц}$  – время рабочего цикла валочно-пакетирующей машины, ч.

Объем срезанной древесины определяется следующим образом:

$$V = V_d n, \text{ м}^3,$$

где  $V_d$  – средний объем одного срезанного дерева,  $\text{м}^3$ ;  $n$  – количество деревьев захватываемых валочно-пакетирующим оборудованием за один рабочий цикл, шт.

Производительность форвардера при сборе и вывозке тонкомерных деревьев и древесных отходов рассчитывается по формуле

$$P_{\phi} = \frac{\phi_1 \phi_2 V_{\text{п}}}{T_{\text{ц}}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $\phi_1$  – коэффициент использования рабочего времени;  $\phi_2$  – то же технической готовности.

Производительность мобильной рубильной машины с бункером-перегрузчиком

$$P_{\text{м.рм}} = \frac{V_{\text{рм}} k_{\text{щ}} k_{\text{н}} k_{\text{в}}}{T_{\text{ц}}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $V_{\text{рм}}$  – объем бункера рубильной машины,  $\text{м}^3$ ;  $k_{\text{н}}$  – коэффициент наполнения контейнера рубильной машины ( $k_{\text{н}} = 0,8-1,0$ ).

Производительность контейнерного топливозовоза определяется по формуле

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

где  $n_{\text{к}}$  – количество контейнеров, перевозимых топливозовозом за одну езду.

С помощью указанных выше формул проведем расчеты по определению себестоимости заготовки топливной щепы по различным технологическим вариантам. Результаты расчетов представлены в табл. 1–3 и на рис. 1.

Таблица 1

Технико-экономические показатели применяемой технологии заготовки щепы из дровяной древесины

Показатель	Производство щепы на рубильной машине в лесу	Доставка щепы щеповозом на резервный склад или к мини-ТЭЦ	Погрузка щепы на резервном складе в транспортное средство	Вывозка щепы из резервного склада к энергоисточнику
Производительность в смену, $\text{м}^3/\text{см}$	110	30,5 на расст. 50 км	242,1	114,4
Стоимость машино-смены, руб./маш.-см.	1133990	463154	358712	199248
Себестоимость, руб./ $\text{м}^3$	10309	15185	1482	1742
Себестоимость, руб./т у. т.	39586	58310	5691	6689
Общая себестоимость, руб./т у. т.	50 км	$\sum$ 110276		
	25 км	$\sum$ 55138		

Таблица 2

Технико-экономические показатели предлагаемой технологии заготовки щепы из дровяной древесины

Показатель	Вывозка дров из леса сортиментовозом на резервный склад	Доставка дров с резервного склада к стационарной рубильной машине	Переработка дров на щепу стационарной рубильной машиной и подача ее к энергоисточнику	Раскалывание крупномерной дровяной древесины
Производительность в смену, $\text{м}^3/\text{см}$	43,6	114,4	136	133,5
Стоимость машино-смены, руб./маш.-см.	510623	36036	464232	36752
Себестоимость, руб./ $\text{м}^3$	11712	315	3413	275
Себестоимость, руб./т у. т.	45046	1212	13127	1058
Общая себестоимость, руб./т у. т.	50 км	$\sum$ 60443		
	25 км	$\sum$ 37920		

Таблица 3

Технико-экономические показатели предлагаемой технологии заготовки щепы из лесосечных отходов

Показатель	Вывозка отходов с лесосеки на верхний склад транспортно-погрузочной машиной МТПЛ-5-11	Переработка лесосечных отходов на щепу рубильной машиной Беларусь МР-25 с доставкой к контейнерам топливозовоза	Доставка щепы к мини-ТЭЦ топливозовозом (МАЗ-630305-241)
Производительность в смену, $\text{м}^3/\text{см}$	17,3	30,7	46
Стоимость машино-смены, руб./маш.-см.	245152	415904	463154
Себестоимость, руб./ $\text{м}^3$	14170	13547	10068
Себестоимость, руб./т у. т.	54413	52020	38661
Общая себестоимость, руб./т у. т.	50 км	$\sum$ 145094	

руб./т у. т.	25 км	$\Sigma$ 125703
--------------	-------	-----------------

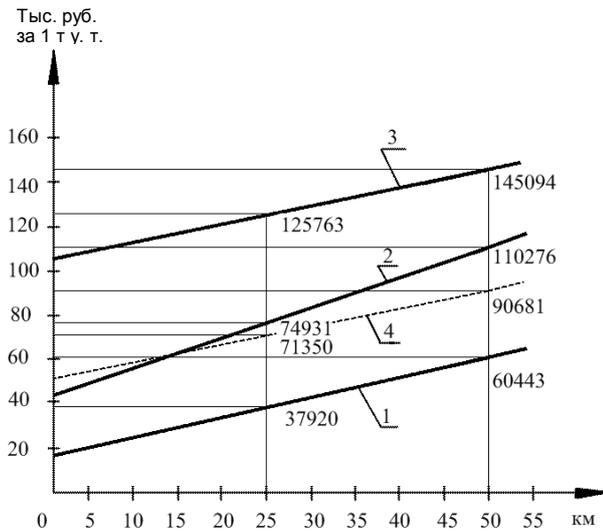


Рис. 1. Графики зависимости себестоимости заготовки топливной щепы по различным технологиям от расстояния вывозки: 1 – производство щепы у мини-ТЭЦ на базе стационарной рубильной машины; 2 – то же в лесу на базе передвижной рубильной машины; 3 – то же из лесосечных отходов на базе передвижной рубильной машины; 4 – то же из лесосечных отходов, когда лесозаготовительные бригады формируют кучи отходов на верхнем складе

Как показывает анализ, переработка дровяной древесины в щепу в республике осуществляется главным образом с применением мобильных рубильных машин непосредственно на лесосеке [1]. Нами же предлагается вариант приготовления топливной щепы с доставкой из лесосеки дров сортиментовозами с их последующей переработкой в щепу стационарными рубильными машинами непосредственно на электроисточнике [2, 3]. Преимущество предлагаемого варианта можно видеть, сравнивая данные табл. 1, 2 и графиков 1 и 2 на рис. 1. Главное преимущество предлагаемой схемы заключается в экономии затрат на доставку дровяной древесины от лесосеки к электроисточнику и замене дорогого дизельного топлива, необходимого на привод мобильной рубильной машины электроэнергией, генерируемой электроисточником, который использует древесное топливо.

В представленных расчетах не учитывалась разница в стоимости затрат на топливо, расходуемого на привод рубильной машины:

$$U_m = (b_g \Pi_g - \bar{E}_T \tau_{ээ}), \text{ руб.};$$

где  $b_g, \bar{E}_T$  – удельный расход дизельного топлива и электроэнергии на получение 1 м<sup>3</sup> щепы;  $\Pi_g, \tau_{ээ}$  – цена дизельного топлива и тариф (себестоимость) на электроэнергию.

Из табл. 3 видно, что предлагаемая технология заготовки топливной щепы из лесосечных отходов с применением отечественной мобильной рубильной машины МР-25 и съемных контейнеров топливоза, оборудованного системой «мультилифт», обеспечивает себестоимость заготовки щепы значительно ниже установленной на нее цены.

## ВЫВОДЫ

1. Применяемая технология заготовки топливной щепы для белорусских энергоисточников, предусматривающая получение щепы на мобильных рубильных машинах непосредственно в лесу, и ее доставка щеповозами к энергоисточнику является затратной.

2. Предложено усовершенствовать технологию заготовки щепы за счет вывозки дровяной древесины из леса имеющимися сортиментовозами и получения щепы на стационарных рубильных машинах непосредственно у энергоисточника.

3. Выполненные расчеты по определению себестоимости заготовки топливной щепы показали, что предложенная усовершенствованная технология и подобранные технические средства обеспечивают существенное снижение затрат и повышение эффективности топливообеспечения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Вавилов, А. В.** Ресурсосберегающие технические средства для топливообеспечения энергетических установок на биомассе / А. В. Вавилов. – Минск: Стринко, 2006. – 179 с.
2. **Вавилов, А. В.** Дополнительные резервы топливной древесины и пути их использования в Беларуси / А. В. Вавилов // Энергоэффективность. – 2009. – № 5. – С. 12–13.
3. **Вавилов, А. В.** Факторы, определяющие эффективность производства и использования в Беларуси конкретного вида древесного топлива / А. В. Вавилов // Энергоэффективность. – 2010. – № 5. – С. 8–9.