

УДК 630*6

А. С. Федоренчик, кандидат технических наук, профессор (БГТУ)

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ САМОХОДНЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РУБИЛЬНЫХ МАШИН

Показана актуальность наращивания объемов топливной щепы в стране. Выполнен анализ конструкции отечественных прицепных и самоходных рубильных машин, и получены формулы для определения их производительности в различных природно-производственных условиях.

The urgency of increasing volumes of fuel wood chips in the country is shown. The analysis of the structures of domestic trailed and self-propelled chippers is made. Formulas for determining their performances in various natural and industrial environments are set.

Введение. Исторически сложилось так, что Беларусь зависит от импорта газа, нефти, угля из России, поскольку не обладает достаточными собственными энергетическими ресурсами. Правительством страны поставлены стратегические задачи, предусматривающие доведение доли собственных энергоресурсов в балансе котельно-печного топлива (КТП) не менее 28,0% в 2015 г. и 32,0% к 2020 г. [1]. В достижении поставленных целей значительная роль отводится использованию низкокачественной древесины и древесных отходов.

В 2011 г. в Беларуси в различных министерствах и ведомствах, а также на частных предприятиях на древесном топливе работало более 3000 котлов мощностью от 0,012 до 20 МВт. Кроме того, в комбинированном цикле выработки тепловой и электрической энергии работало 11 мини-ТЭЦ, которые построены с установленной электрической мощностью от 1,2 до 4,23 МВт и тепловой от 6,5 до 16,4 МВт. В соответствии с Государственной программой развития источников энергии за счет использования местных видов топлива на 2010–2015 годы в республике должен быть построен и введен в эксплуатацию 161 энергоисточник на местных видах топлива с установленной электрической мощностью 39,5–47,5 МВт и тепловой мощностью 1025,7 МВт [2].

Сегодня на предприятиях Министерства лесного хозяйства функционирует 5 пеллетных производств, 6 брикетных и 47 производств по выпуску топливной щепы суммарной мощностью 1,11 млн. м³ год. К 2015 г. объем производства топливной щепы должен составить 500 тыс. т условного топлива, или около 2 млн. плотных м³. В качестве сырья для производства топливной щепы к 2020 г. планируется использовать до 7 млн. м³ дров, 0,5 млн. м³ отходов лесозаготовок, около 1,5 млн. м³ отходов деревообработки [3].

Характеристика машин. При производстве топливной щепы в странах с интенсивным развитием биоэнергетики в основном используются мобильные барабанные рубильные машины мощностью 90–340 кВт, оснащенные гидроманипулятором и подающим транспортером.

Благодаря усилиям специалистов МТЗ, ОАО «Амкодор», БГТУ в нашей стране разработаны и начали эксплуатироваться отечественные мобильные рубильные машины, краткая техническая характеристика которых представлена в таблице.

Особенностью данных машин является то, что все они имеют импортные рубильные модули известных фирм, таких как немецкая «Jenz», экспортирующая свою продукцию в 30 стран мира, в том числе и в Республику Беларусь, или финская «Kesla».

Характеристика рубильных машин

Марка машины	Описание	Максимальный диаметр сырья, мм	Производительность, нас. м ³ /ч	Мощность двигателя, кВт	Масса комплекта, т
БЕЛАРУС МР-25	трактор + одноосный прицеп с бункером	270–360	25–60	96	11,2
БЕЛАРУС МР-25-03	трактор + двухосный прицеп	270–360	25–60	96	15,1
БЕЛАРУС МР-40	прицепная с собственным двигателем	450–600	40–100	155	19,6
Амкодор 2902 (6Х6)	на базе форвардера с бункером	450–600	до 100	132	24,0
БЕЛАРУС МР-100	прицепная с собственным двигателем	420–990	Не менее 100	/223	19,7
Амкодор 2904 (4Х4)	на базе форвардера с собственным двигателем	450–600	До 80	116/238*	20,2
МАЗ-694469 (8Х4)	на базе автомобиля с собственным двигателем	420–560	150	/360	26,5

По соотношению цена – качество отечественные рубильные машины уже могут составить конкуренцию австрийским «Eschlböck» и «Mus-Max», финской «Junkkarit», американской «Mogbark», шведской «Bruks. Каждая из этих фирм выпускает широкий параметрический ряд рубильных машин с производительностью от 20 до 250 нас. м³ щепы в час.

Рубильные машины «Беларус МР-25» и «Амкодор 2902», как имеющие бункер, могут измельчать сырье непосредственно на пасечном волоке или на погрузочном пункте, промежуточном и лесном складе. Остальные машины предназначены для работы в пунктах сосредоточения сырья у лесовозных дорог, на лесозаготовительных терминалах, у цехов переработки и лесных складах [4].

Расчет производительности. Особый интерес представляет расчет производительности самоходных рубильных машин, например МАЗ-694469, предназначенных для обслуживания рассредоточенных участков, имеющих древесное сырье в рамках одного или нескольких предприятий.

Пусть маршрут движения машины и очередность измельчения сырья на m участках с запасом сырья величиной V_i , м³, соответствует схеме, показанной на рис. 1.

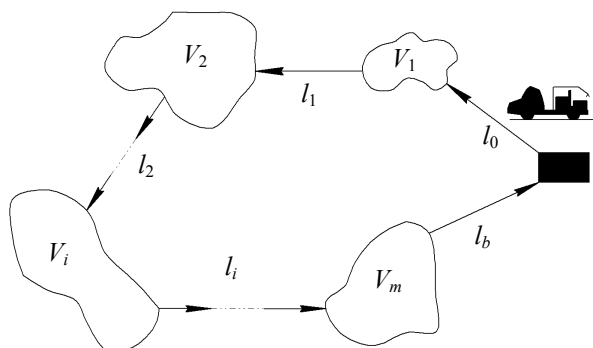


Рис. 1. Маршрут движения рубильной машины при измельчении сырья

Тогда сменную производительность машины, в общем виде, м³, можно определить по выражению (1).

$$P_{см} = t_{раб} \cdot P_{руб}, \quad (1)$$

где $t_{раб}$ – время измельчения древесного сырья, с, в течение смены; $P_{руб}$ – производительность рубильного органа, м³/с.

Время на измельчение сырья в течение смены

$$t_{раб} = [(T - t_{пз})\varphi - t_{пер} - (t_{yc} + t_{тр})m]\varphi_n, \quad (2)$$

где T – продолжительность смены, с; $t_{пз}$ – время на подготовительно-заключительные операции, с;

φ – коэффициент использования рабочего времени; $t_{пер}$ – время, затрачиваемое на переезды машины, с; t_{yc} и $t_{тр}$ – время, соответственно, перевода рубильной машины из транспортного положения в рабочее и наоборот, с; m – количество участков, на которых машина измельчает сырье; φ_n – коэффициент, учитывающий своевременную подачу щеповоза.

Пусть скорость перемещения рубильной машины от участка к участку приблизительно близка, тогда $t_{пер}$ можно определить как

$$t_{пер} = \frac{l_0 + \sum_{i=1}^{m-1} l_i + l_b}{V_{cp}}. \quad (3)$$

Если скорости перемещения рубильной машины на каждом участке отличаются, то данное время определяется из выражения

$$t_{пер} = \frac{l_0}{v_0} + \sum_{i=1}^{m-1} \frac{l_i}{v_m} + \frac{l_b}{v_b}, \quad (4)$$

где l_0 и l_b – расстояние соответственно от гаража до первого участка и от последнего участка до гаража, м; l_i – расстояние между i и $i + 1$ участками, м; v_m – скорость перемещения машины между i и $i + 1$ участком, м/с; v_0 и v_b – скорости перемещения машины, соответственно, от гаража до первого участка и от последнего участка до гаража, м/с.

$$P_{руб} = l \cdot b \cdot H \cdot z \cdot n \cdot \varphi_1^1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3, \quad (5)$$

где l – длина вырабатываемой щепы, м; b , H – соответственно ширина и толщина (высота) измельчаемого материала, м; z – число ножей на барабане рубильного органа, шт.; n – число оборотов барабана, с⁻¹; φ_1 – коэффициент использования рабочего времени механизма измельчения; φ_2 – коэффициент загрузки рубильного органа; φ_3 – коэффициент плотности подаваемого материала в рубильный орган.

Подставив выражения (2), (3) или (4) в (1), получим

$$P_{см} = [(T - t_{пз})\varphi_1 - \frac{l_0 + \sum_{i=1}^{m-1} l_i + l_b}{V_{cp}} - (t_{yc} + t_{тр})m]\varphi_n \cdot l \cdot b \cdot H \cdot z \cdot n \cdot \varphi_1^1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3]; \quad (6)$$

$$P_{см} = [(T - t_{пз})\varphi_1 - (\frac{l_0}{v_0} + \sum_{i=1}^{m-1} \frac{l_i}{v_m} + \frac{l_b}{v_b}) - (t_{yc} + t_{тр})m]\varphi_n \cdot l \cdot b \cdot H \cdot z \cdot n \cdot \varphi_1^1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3]. \quad (7)$$

На складах топливного сырья мини-ТЭЦ, где создаются межсезонные запасы прежде всего из дровяной древесины, рубильная машина

может двигаться вдоль штабеля низкокачественного сырья, измельчать его и формировать на земле кучу топливной щепы (оперативный запас), как представлено на рис. 2.

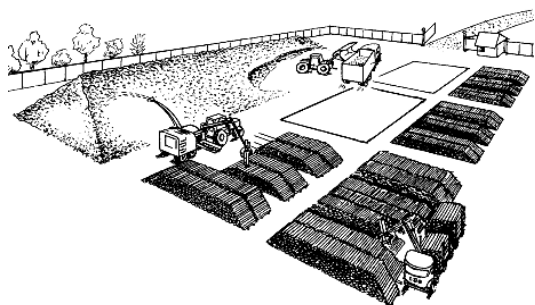


Рис. 2. Схема работы самоходной рубильной машины на лесозаготовительном терминале

В этом случае сменная производительность рубильной машины определяется по формуле

$$P_{см} = \frac{(T - t_{п.з}) \cdot \varphi_1 \cdot V_{щ}}{t_1 + t_2 + t_3},$$

где φ_1 – коэффициент использования рабочего времени, учитывающий и переезды рубильной машины от штабеля к штабелю сырья; $V_{щ}$ – объем древесного сырья в штабеле, м³; t_1 – время на переезд рубильной машины к штабелю сырья, с; t_2 – время на приведение рубильной машины из транспортного положения в рабочее, с; t_3 – время на измельчение древесного сырья, уложенного в штабель, с.

Время t_3 можно определить по формуле

$$t_3 = \frac{V_{щ}}{P_{руб}} = \frac{a \cdot h \cdot l_{шт} \cdot f_{п}}{l \cdot b \cdot H \cdot z \cdot n \cdot \varphi_1^1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3},$$

где a , h , $l_{шт}$ – соответственно ширина, высота и длина штабеля сырья; $f_{п}$ – коэффициент полноты древесности древесины, уложенной в штабель; φ_1 – коэффициент использования рабочего времени механизма измельчения, учитывающий и время на перемещение машины вдоль штабеля древесного сырья в процессе его измельчения.

С учетом высокой производительности рубильного органа машины формулы (6) и (7) справедливы, если на обслуживаемых участках будет создан достаточный запас древесного сырья, позволяющий ее реализовать. В противном случае сменная производительность рубильной машины будет ограничена величиной фактического запаса сырья. Такая ситуация часто имеет место, если измельчение сырья осуществляется на погрузочных пунктах или верхних складах лесосек, реже на промежуточных складах [5]. Ограничителем производительности рубильной машины может также выступать

несвоевременная подача щеповоза, если измельчение древесного сырья происходит непосредственно в его кузов.

Заключение. Запланированный рост производства объемов топливной щепы в стране требует повышения эффективности работы рубильных машин. С учетом отличающихся природно-производственных условий и сложившихся технологий заготовки топливной щепы машиностроительной отраслью разработаны и выпускаются различные типы рубильных машин: навесные, с ручной подачей сырья на измельчение; прицепные и самоходные с подачей сырья на измельчение манипулятором. Практически отсутствует опыт эксплуатации самоходных рубильных машин, выполненных на базе автомобиля, которые достаточно широко применяются во многих европейских и Скандинавских странах.

Анализ полученных формул показывает, что сменная производительность данных машин в зависимости от условий работы может отличаться в несколько раз. Наиболее производительна машина работает, когда она не зависит от наличия щеповоза (на лесозаготовительных терминалах при измельчении низкокачественного древесного сырья, уложенного в штабель (рис. 2) и формировании куч щепы на земле).

Однако преимущества самоходных рубильных машин благодаря высокой скорости перемещения по сравнению с прицепными раскрываются в условиях, когда они обслуживают децентрализованные площадки с сырьем, принадлежащие одному или нескольким предприятиям. На правах оказания услуг это имеет место в работе районных жилищно-коммунальных хозяйств, городских, районных и областных гортопов, обеспечивающих топливной щепой местных потребителей. Даже если на переезды рубильная машина затратит около 50% рабочего времени смены (может за это время проехать свыше 150 км), ее расчетная сменная производительность составит свыше 300 нас. м³ при измельчении тонкомерного сырья и до 800 нас. м³ при измельчении стволовой древесины.

Для реализации заложенного потенциала годовой производительности самоходных рубильных машин на базе автомобиля и повышения эффективности производства топливной щепы также целесообразно приобретение таких машин областными управлениями лесного хозяйства или группой лесхозов для коллективного пользования. В этом случае для каждого из пользователей не только удешевится процесс получения щепы, потребуются меньшее количество водителей-операторов, улучшится техническое обслуживание, но и будет легче реализовать, с учетом логистики, рациональные

транспортно-технологические схемы утилизации всех видов вторичного древесного сырья (лесосечных отходов, низкокачественной дровяной древесины, отходов цехов деревообработки, старой древесины) конкретного региона. Гибкость технологического процесса при этом может быть обеспечена, если за одной рубильной машиной закреплены два-три щеповоза.

Следует ожидать, что даже мелкосерийный выпуск и приобретение опыта эксплуатации самоходных рубильных машин на базе автомобилей приведет в стране не только к постепенному сокращению общей численности и унификации имеющегося парка рубильных машин, повысит эффективность их работы, но и создаст предпосылки для реализации технологий, позволяющих подсушивать древесное сырье естественным путем при хранении в штабелях у лесовозных дорог. Последнее обстоятельство особенно важно для вовлечения в переработку значительных объемов сучьев и ветвей, которые в настоящее время практически не используются.

С учетом высокой мобильности самоходных рубильных машин на базе автомобиля, возможности измельчать различное сырье, отличающееся широким спектром размерно-качественных характеристик они будут эффективны при продуманной транспортно-логистической схеме применения как на предприятиях системы Министерства лесного хозяйства, так и на предприятиях Министерства жилищно-коммунального хозяйства.

Однако белорусский опыт свидетельствует: любые проекты по заготовке и использованию

топливной щепы требуют скупуплезной экономической проработки, ибо могут оказаться как высокорентабельными, так и глубоко убыточными. Причем приобрести в этой области готовые технологии вряд ли удастся. Слишком много факторов влияет на эффективность этих процессов.

Литература

1. Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 годы: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь № 586 от 10 мая 2011 года. Минск, 2011.

2. Государственная программа развития источников энергии за счет использования местных видов топлива на 2010–2015 годы: утв. постановлением Министерства экономики Респ. Беларусь № 1076 от 19 июля 2010 года. Минск, 2010.

3. Федоренчик А. С., Ледницкий А. В., Штукин С. С. Что мы знаем о древесном биотопливе? Минск: РЧУП «Рифтур», 2013.

4. Федоренчик А. С., Ледницкий А. В. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов Минск: БГТУ, 2010. 446 с.

5. Федоренчик А. С., Герман А. А., Протас П. А. Лесные машины «Амкодор»: учеб.-метод. пособие для студентов специальностей 1-46 01 01 «Лесоинженерное дело», 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса», 1-75 01 01 «Лесное хозяйство» Минск: БГТУ, 2013.

Поступила 28.02.2014