

А. П. Матвейко, д-р техн. наук, профессор; Е. И. Глинская, инженер

## ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ САМОХОДНЫХ И ПЕРЕДВИЖНЫХ РУБИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ЗАГОТОВКЕ ЩЕПЫ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСЕК

Problems of use of wood raw material for reception of energy are shown. Analytical researches of productivity self-propelled and mobile chippers in conditions of logging areas are resulted and the developed mathematical descriptions of preparation chips on logging area by these machines on the basis of researches are received.

**Введение.** Проблема использования древесного сырья для получения энергии была и остается весьма актуальной для Республики Беларусь в связи с ограниченными собственными топливно-энергетическими ресурсами и постоянным подорожанием энергоносителей. Поэтому большая роль отводится низкокачественной древесине, дровам и древесным отходам как топливу для получения тепловой и электрической энергий. Но для этого эти виды древесного сырья должны быть переработаны в древесное топливо. Способ получения древесного топлива для энергетических целей зависит в основном от того, в каком виде оно будет потребляться и где будет концентрироваться древесное сырье для заготовки топлива (на лесосеках, нижних складах лесозаготовительных предприятий или на складах ТЭЦ, потребляющих древесное топливо для получения энергии). Однако независимо от способа получения топлива предварительно древесное сырье в большинстве случаев должно быть измельчено на щепу требуемых фракций по длине. Для измельчения древесного сырья на щепу создано и выпускается большое разнообразие рубительных машин: стационарных, передвижных и самоходных различных типов (дисковых, барабанных и шнековых). На лесосеках самоходные и передвижные рубительные машины работают как машины периодического действия из-за частых переездов от одного места концентрации древесного сырья к другому и необходимости опорожнения бункера от щепы. Формулы для расчета производительности таких машин в условиях лесосек отсутствуют.

**1. Аналитические исследования производительности самоходных и передвижных рубительных машин в условиях лесосек.** Сменная производительность самоходной или передвижной рубительной машины с бункером для щепы, измельчающей древесное сырье непосредственно на лесосеке или придорожном складе (погрузочном пункте или верхнем складе), может быть определена по следующей формуле

$$\Pi_{\text{см}} = \frac{(T - t_{\text{п-з}}) \cdot \Phi_1 \cdot V_6}{\left(\frac{V_6}{V_c} - 1\right) \cdot t_1 + \frac{V_6}{V_c} (t_2 + t_3 + t_4) + t_p + t_5 + t_x}, \quad (1)$$

где  $T$  – продолжительность смены, с;  $t_{\text{п-з}}$  – время на подготовительно-заключительные операции, с;  $\Phi_1$  – коэффициент использования рабочего времени;  $V_6$  – вместимость бункера для щепы, м<sup>3</sup>;  $V_c$  – объем древесного сырья, подлежащего измельчению в одной куче, образующейся на одной технологической стоянке при заготовке древесины, м<sup>3</sup>;  $t_1$  – время на переезд рубительной машины от одной кучи к другой (с одной технологической стоянки на другую), с;  $t_2$  – время на приведение гидроманипулятора машины в рабочее положение, с;  $t_3$  – время на измельчение древесного сырья, сконцентрированного на одной технологической стоянке (в одной куче), с;  $t_4$  – время на приведение гидроманипулятора в транспортное положение, с;  $t_p$  – время на вывозку заготовленной щепы из лесосеки на придорожный склад, с;  $t_5$  – время на выгрузку щепы из бункера рубительной машины в автощеповоз или контейнер, с;  $t_x$  – время на возвращение рубительной машины обратно с придорожного склада на лесосеку, с.

Предложенная формула (1) производительности самоходной и передвижной рубительной машины с бункером для щепы достаточно полно описывает процесс заготовки щепы на лесосеке, но является интегрированной. По ней не представляется возможным проанализировать в полной мере, какие факторы и как влияют на производительность рубительной машины, и поэтому требуется детализация этой формулы. По этой причине она неудобна для практического пользования.

Вместимость бункера рубительной машины для щепы

$$V_6 = V_6^r \cdot f,$$

где  $V_6^r$  – вместимость (геометрический объем) бункера для щепы, нас. м<sup>3</sup>; она дается в технической характеристике рубительной машины;  $f$  – коэффициент полндревесности щепы.

Объем древесного сырья в одной куче, подлежащего измельчению, зависит от вида рубки, применяемой технологии и способа разработки лесосеки, запаса древесины на 1 га, среднего объема хлыста, применяемой лесозаготовительной техники и определяется по формуле

$$V_c = n_d \cdot V_x \cdot k, \quad (2)$$

где  $n_d$  – количество деревьев, спиливаемых и обрабатываемых лесозаготовительной машиной (механизмом) с одной технологической стоянки, шт.;  $V_x$  – средний объем хлыста, м<sup>3</sup>;  $k$  – коэффициент, показывающий, какая часть фитомассы спиленных деревьев подлежит переработке на щепу.

Количество деревьев, спиливаемых с одной технологической стоянки, равно:

$$n_d = \frac{A \cdot Q_{\text{га}} \cdot i}{10\,000 \cdot V_x},$$

где  $A$  – площадь лесосеки (делянки, пасеки), осваиваемая с одной технологической стоянки, м<sup>2</sup>;  $Q_{\text{га}}$  – ликвидный запас древесины на 1 га, м<sup>3</sup>;  $i$  – интенсивность рубки: зависит от вида рубки и при рубках ухода  $i = 0,3-0,4$ ; при сплошных рубках  $i = 1,0$ .

Тогда формула (2) примет вид

$$V_c = \frac{A \cdot Q_{\text{га}} \cdot i \cdot k}{10\,000}. \quad (3)$$

Коэффициент  $k$  зависит от вида рубки и применяемой технологии заготовки древесины и равен при сплошнолесосечных рубках 0,15 – 0,25, при прочистке – 1,0.

Время на переезды рубительной машины с одной технологической стоянки на другую (от одной кучи древесного сырья к другой) зависит от расстояния между смежными стоянками ( $a$ ) и скорости движения машины ( $v_{\text{дв}}$ ) и равно:

$$t_1 = a / v_{\text{дв}}. \quad (4)$$

Расстояние между смежными технологическими стоянками зависит от способа и схемы разработки лесосеки (делянки, пасеки) и применяемой техники и при использовании валочно-сучкорезо-раскряжевочных машин манипуляторного типа составляет 0,4  $L_{\text{max}}$  ( $L_{\text{max}}$  – максимальный вылет гидроманипулятора машины) [1].

Время на приведение гидроманипулятора в рабочее ( $t_2$ ) или транспортное ( $t_4$ ) положение состоит из времени, необходимого на подъем или опускание стрелы гидроманипулятора и поворота его на определенный угол в горизонтальной плоскости (примерно на 90–100°). Время  $t_2$  и  $t_4$  целесообразно определять путем хронометражных наблюдений. Однако время на поворот манипулятора в горизонтальной плоскости можно рассчитать по формуле

$$t_{\text{пов}} = \frac{n_{\text{рад}}}{\omega},$$

где  $n_{\text{рад}}$  – количество оборотов, совершаемых гидроманипулятором, чтобы перейти в рабочее или транспортные положение, рад;  $\omega$  – угловая скорость вращения гидроманипулятора, рад/с.

Измельчение древесного сырья на щепу на технологической стоянке происходит непрерывно. Поэтому время на подачу сырья в подающее устройство рубительной установки в формуле (1) не учитывается, так как подача производится в процессе измельчения и это время перекрывается временем на измельчение древесного сырья.

Время на измельчение древесного сырья на технологической стоянке зависит от количества древесного сырья в куче ( $V_c$ ) и производительности рубительной установки ( $\Pi_{\text{руб}}$ ):

$$t_3 = \frac{V_c}{\Pi_{\text{руб}}}. \quad (5)$$

Величина  $V_c$  определяется по формуле (3).

$$\Pi_{\text{руб}} = l \cdot b \cdot H \cdot z \cdot n \cdot \varphi_1^1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3, \quad (6)$$

где  $l$  – длина вырабатываемой щепы, м;  $b$ ,  $H$  – соответственно ширина и толщина (высота) измельчаемого материала (ширина и высота приемного окна подающего устройства рубительной установки), м;  $z$  – число ножей на диске или барабане рубительной установки, шт.;  $n$  – число оборотов диска (барабана), с<sup>-1</sup>;  $\varphi_1^1$  – коэффициент использования рабочего времени механизма измельчения;  $\varphi_2$  – коэффициент загрузки рубительной установки;  $\varphi_3$  – коэффициент плотности подаваемого материала в рубительную установку.

Подставив в формулу (5) значения  $V_c$  и  $\Pi_{\text{руб}}$ , получим, что

$$t_3 = \frac{A \cdot Q_{\text{га}} \cdot i \cdot k}{10\,000 \cdot l \cdot b \cdot H \cdot z \cdot n \cdot \varphi_1^1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3}. \quad (7)$$

Время на вывозку заготовленной щепы из лесосеки на придорожный склад ( $t_p$ ) и возвращение рубительной машины обратно на лесосеку ( $t_x$ ) равно:

$$t_p = \frac{S}{v_{\text{тр}}}, \quad (8)$$

$$t_x = \frac{S}{v_x}, \quad (9)$$

где  $S$  – среднее расстояние вывозки заготовленной щепы из лесосеки на придорожный склад, м; зависит от схемы расположения трелевочных волоков и размеров делянки;  $v_{\text{тр}}$  – скорость движения рубительной машины по волоку с полным бункером щепы, м/с;  $v_x$  – скорость движения рубительной машины с пустым бункером на лесосеку, м/с. Скорость  $v_{\text{тр}}$  всегда меньше  $v_x$  примерно 1,7–2 раза.

Время на выгрузку щепы из бункера рубительной машины ( $t_5$ ) включает время на подачу рубительной машины к автощеповозу (контейнеру), опрокидывание бункера (выгрузка щепы) и возвращение бункера в исходное по-

ложение и обычно определяется путем хронометражных наблюдений. Время на опрокидывание бункера со щепой и возврат в исходное положение может быть определено и расчетным путем.

Количество технологических стоянок рубительной машины за один цикл определяется выражением  $V_6/V_c$ . Количество переездов машины с одной технологической стоянки на другую за один цикл будет на единицу

$$P_{\text{см}} = \frac{(T - t_{\text{п-3}}) \cdot \Phi_1 \cdot V_6}{\left( \frac{10\,000 \cdot V_6}{A \cdot Q_{\text{га}} \cdot i \cdot k} - 1 \right) \cdot \frac{a}{v_{\text{дв}}} + \frac{10\,000 \cdot V_6}{A \cdot Q_{\text{га}} \cdot i \cdot k} \left( t_2 + \frac{A \cdot Q_{\text{га}} \cdot i \cdot k}{10\,000 \cdot l \cdot b \cdot H \cdot z \cdot n \cdot \Phi_1^1 \cdot \Phi_2 \cdot \Phi_3} + t_4 \right) + \frac{S}{v_{\text{гр}}} + t_5 + \frac{S}{v_x}}, \quad (10)$$

Знаменатель в формуле (10) представляет собой время цикла, находимое на заполнение бункера рубительной машины щепой, доставку щепы на придорожный склад и ее выгрузку и возвращение машины обратно на лесосеку.

Если самоходная или передвижная рубительная машина с бункером для щепы измельчает древесное сырье на щепу на верхнем (придорожном) или нижнем складе, на которых в одном месте концентрируются значительные объемы древесного сырья для измельчения, формула (10) для расчета производительности рубительной машины значительно упростится, так как не требуются переезды ее от одной кучи древесного сырья к другой и вывозка заготовленной щепы на придорожный склад, и примет вид:

$$P_{\text{см}} = \frac{(T - t_{\text{п-3}}) \cdot \Phi_1 \cdot V_6}{V_6 \cdot l \cdot b \cdot H \cdot z \cdot n \cdot \Phi_1^1 \cdot \Phi_2 \cdot \Phi_3} + t_n, \quad (11)$$

где  $\Phi_1$  – коэффициент использования рабочего времени, учитывающий и переезды рубительной машины с одного верхнего (придорожного) склада на другой;  $\Phi_1^1$  – коэффициент использования рабочего времени рубительной установки (механизма измельчения), учитывающий и время на перемещение ее вдоль штабеля древесного сырья в процессе его измельчения;  $t_n$  – время на выгрузку щепы из бункера рубительной машины в автощеповоз или контейнер, с.

Значения остальных величин даны выше.

По формуле (11) можно определить также производительность самоходной или передвижной рубительной машины без бункера для щепы на измельчении древесного сырья на щепу на верхнем (придорожном) или нижнем складе. Для этого в формулу (11) вместо вместимости бункера ( $V_6$ ) в метрах кубических поставить вместимость кузова автощеповоза ( $V_{\text{щ}}$ ) в метрах кубических и принять  $t_n = 0$ .

меньше, чем стоянок, так как рубительная машина со склада сразу подъезжает к очередной куче древесного сырья, подлежащей к измельчению.

Подставив выражения (3), (4), (7), (8) и (9) в формулу (1) и сделав соответствующие преобразования, получим развернутую формулу производительности самоходной и передвижной рубительной машины с бункером в условиях лесосеки:

**Выводы.** 1. Показана актуальность проблемы использования древесного сырья для получения энергии и необходимость в большинстве случаев измельчения древесины на щепу требуемых фракций по длине для получения энергетического топлива независимо от способа получения этого топлива. Для измельчения различных видов древесного сырья на щепу созданы и находят применение стационарные, передвижные и самоходные дисковые, барабанные и шнековые рубительные машины. Однако формулы для расчета производительности самоходных и передвижных рубительных машин, измельчающих древесное сырье на щепу на лесосеках и верхних (придорожных складах), отсутствуют.

2. Выполненные аналитические исследования производительности самоходных и передвижных рубительных машин в условиях лесосек позволили получить развернутые формулы производительности этих машин на измельчении древесного сырья непосредственно на лесосеках, верхних (придорожных) и нижних складах. Полученные формулы представляют собой математические описания процесса работы самоходных и передвижных рубительных машин на измельчении древесного сырья на щепу в различных природно-производственных условиях.

3. При использовании полученных развернутых формул (10) и (11) представляется возможным детально анализировать зависимости производительности самоходных и передвижных рубительных машин от различных природно-производственных факторов, технологических и конструктивных параметров рубительных машин и устанавливать наиболее производительную работу рубительной машины в конкретных природно-производственных условиях.

## Литература

1. Матвейко, А. П. Производительность валочно-сучкорезно-раскряжеочных машин на заготовке сортиментов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – Минск, 2003. – Вып. IX. – С. 24–28.