

УДК 630*36.001.6

С. А. Голякевич, аспирант (БГТУ);

А. Р. Гороновский, кандидат технических наук, доцент, проректор (БГТУ)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ФАКТОРОВ

Публикация посвящена исследованию эффективности работы многооперационных лесозаготовительных машин. Предложен комплексный критерий оценки эффективности форвардеров и харвестеров. Проведена оценка эффективности использования форвардера МЛПТ-354 и харвестера МЛХ-414 в различных эксплуатационных условиях. Дан анализ эффективных приемов выполнения операции обрезки сучьев харвестером, а также рекомендации по эффективному использованию совмещения операций.

The work is devoted to the study of the effectiveness multioperational harvesting machines. A comprehensive evaluation of the effectiveness criterion forwarders and harvesters. The efficiency of the forwarder MLPT-354 and harvester MLH-414 in various operating conditions. The analysis of the effective methods of operation limbing harvester. The recommendations for the effective use of combining operations.

Введение. Эффективность параметров конструкции и привода многооперационных лесозаготовительных машин определяется возможностью их производительной, экономичной и безотказной работы в заданных эксплуатационных условиях. Для выбора параметров часто используют разрозненные методики оценки энергоёмкости операций [1], производительности [2] и нагруженности машин при их выполнении. Однако условия эксплуатации, приемы выполнения операций и сами параметры машины оказывают различное, нередко противоположное влияние на названные показатели. Это делает затруднительным как раздельное, так и совместное их использование в качестве оценочных критериев.

Основная часть. Для оценки эффективности многооперационных лесозаготовительных машин разработан критерий энергетического потенциала производительности (ЭПП), который определяется как отношение полезно используемой мощности $N_{\text{полезн}}$ к продолжительности выполнения операций технологического цикла $T_{\text{ц}}$.

Ранее подобный критерий уже применялся для оценки эффективности однооперационных, транспортных дорожно-строительных машин [3]. Он определялся выражением полезной работы, совершенной трактором в единицу времени, с учетом доли рабочих операций в суммарном времени цикла.

Отметим, что харвестеры и форвардеры – машины многооперационные. Цикл работы форвардеров состоит из транспортных и технологических операций, продолжительность которых часто соизмерима. Харвестеры на операциях передвижения и вовсе не выполняют полезной работы.

Энергетические затраты на этих операциях разнятся в широких пределах. Поэтому в ис-

ходное выражение для определения ЭПП величина полезно используемой мощности должна входить как произведение математических ожиданий ее составляющих. В случае работы форвардера функция ЭПП примет вид

$$\text{ЭПП} = \left(\left(\begin{array}{l} M_1^\phi \omega_1^\phi \frac{t_1^\phi}{T_p^\phi} + M_2^\phi \omega_2^\phi \frac{t_2^\phi}{T_p^\phi} + \\ + M_3^\phi \omega_3^\phi \frac{t_3^\phi}{T_p^\phi} + M_4^\phi \omega_4^\phi \frac{t_4^\phi}{T_p^\phi} \\ + P_k v_{\text{тр}} \frac{t_1^\phi}{T_p^\phi} \end{array} \right) \frac{V_\phi}{V_n} \right) \frac{1}{T_{\text{ц}}^\phi}, \quad (1)$$

где t_1^ϕ – время на поднимание пачки сортиментов; t_2^ϕ – время на поворот манипулятора с пачкой при погрузке; t_3^ϕ – время на поворот манипулятора с пачкой при разгрузке; t_4^ϕ – время на укладку пачки в штабель; V_ϕ – объем перевозимых форвардером сортиментов; V_n – объем поднимаемой пачки сортиментов; $M_1^\phi - M_4^\phi$ – подъемные и поворотные моменты развиваемые манипулятором при выполнении технологических операций; $\omega_1^\phi - \omega_4^\phi$ – соответствующие им угловые скорости; $T_p^\phi, T_{\text{ц}}^\phi$ – продолжительность рабочих операций и суммарное время цикла работы форвардера [2] соответственно; P_k – касательная сила тяги, развиваемая двигателем груженого форвардера в заданных условиях; $v_{\text{тр}}$ – скорость движения груженого форвардера.

Величина реализуемой касательной силы тяги P_k для различных типов движителей и условий движения определяется при использовании методики [4], а реализуемые подъемный

и поворотный моменты манипулятора с использованием математической модели работы форвардера.

Эффективность работы форвардера МЛПТ-354 производства ПО «МТЗ» в различных эксплуатационных условиях отражена на рис. 1.

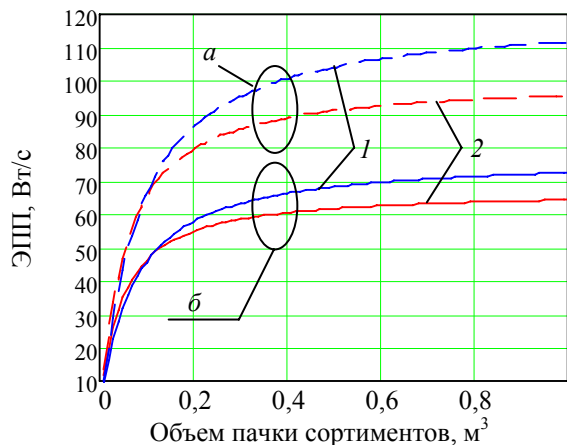


Рис. 1. Эффективность параметров форвардера МЛПТ-354 для различных условий эксплуатации: *а* – 3-й тип почвогрунтов; *б* – 1-й тип почвогрунтов; 1 – грузоподъемность форвардера 7 т; 2 – грузоподъемность форвардера 5 т

Из условия обеспечения прочности несущей конструкции скорость движения груженого форвардера в рассматриваемых условиях ограничена величиной 1,2 м/с, а скорость холостого хода – 2 м/с. В этой связи в условиях 1-го типа лесных почвогрунтов и заданных параметров микропрофиля поверхности движения форвардер значительно недоиспользует мощность установленного двигателя, равную 88 кВт.

С ухудшением условий движения с 1-го до 3-го типа лесных почвогрунтов энергоёмкость технологического цикла работы форвардера возрастает, его производительность снижается. При этом ЭПП увеличивается, а следовательно, параметры конструкции и привода форвардера лучше реализуются в более сложных условиях эксплуатации.

Увеличение объема поднимаемой пачки сортиментов приводит к росту ЭПП, что объясняется более полным использованием мощности привода манипулятора и меньшим количеством холостых операций при погрузке и разгрузке. В рассматриваемых эксплуатационных условиях эффективность работы форвардера с пачками сортиментов 0,4 м³ и 1 м³ отличается не более чем на 7%. Малое различие в эффективности обусловлено незначительным влиянием времени погрузки на общую продолжительность технологического цикла, которая значительно зависит от ограниченных скоростей движения форвардера.

Критерий ЭПП позволяет также оценивать эффективность работы харвестеров. В этом случае ЭПП определяется следующим выражением:

$$\text{ЭПП} = \left(\begin{array}{l} M_1^x \cdot \omega_1^x \frac{t_1^x}{T_p^x} + M_2^x \cdot \omega_2^x \frac{t_2^x}{T_p^x} + \\ + F_{\text{пр}} \cdot v_{\text{пр}} \frac{t_{\text{пр}}}{T_p^x} + M_3^x \cdot \omega_3^x \frac{t_3^x \cdot n_1}{T_p^x} \end{array} \right) \frac{n_2}{T_{\text{ц}}^x}, \quad (2)$$

где t_1^x – время на срезание дерева; t_2^x – время на подтаскивание дерева к месту раскряжевки; $t_{\text{пр}}^x$ – время на очистку дерева от сучьев; t_3^x – время на раскряжевку; M_1^x, ω_1^x – поворотный момент надвигания пильной шины на дерево и ее угловая скорость при валке дерева; M_2^x, ω_2^x – поворотный момент манипулятора и его угловая скорость; $F_{\text{пр}}, v_{\text{пр}}$ – усилие и скорость протаскивания дерева в харвестерной головке; M_3^x, ω_3^x – поворотный момент надвигания пильной шины на дерево и ее угловая скорость при раскряжевке; $T_p^x, T_{\text{ц}}^x$ – продолжительность рабочих операций и суммарное время цикла работы харвестера соответственно; n_1 – количество пропилов для раскряжевки одного ствола дерева; n_2 – количество деревьев обрабатываемых с одной технологической стояки, зависящее от вида проводимой рубки и плотности древостоя.

Усилие $F_{\text{пр}}$, необходимое для протаскивания дерева при непосредственной подаче его вальцами харвестерной головки, определяется как сумма технологических сил сопротивления протаскиванию [5], силы сопротивления волочению $F_{\text{вол}}$ и силы инерции дерева $\Phi_{\text{дер}}$. Учет силы инерции дерева необходим при больших объемах ствола, где она значительно влияет на величину максимально достигаемой скорости протаскивания.

$$F_{\text{пр}} = \frac{P_p^c + (q + Q_d) \cdot \mu + F_{\text{ц}}}{2} + F_{\text{вол}} + \Phi_{\text{дер}}, \quad (3)$$

где P_p^c – сила сопротивления срезанию сучьев в харвестерной головке; q – суммарное давление прижимных вальцов на обрабатываемое дерево; Q_d – вес дерева; μ – коэффициент трения качения ствола по подающим вальцам головки; $F_{\text{ц}}$ – сила сопротивления в цапфах вальцов.

Возможность использования различных приемов выполнения технологических операций зависит от квалификации оператора. Так, к примеру, опытные операторы харвестеров на операции обрезки сучьев используют встречную подачу на дерево харвестерной головки.

В случае протаскивания дерева с совмещением операций силы $F_{\text{вол}}$ и $\Phi_{\text{дер}}$ не влияют на

общее усилие протаскивания, так как дерево покоится. Для определения затрачиваемой на очистку деревьев от сучьев мощности при совмещении операций целесообразнее рассчитывать поворотный момент манипулятора и угловую скорость его поворота. При этом необходимо учитывать момент инерции манипулятора при его ускоренном повороте на заданном вылете.

Сравнительная эффективность такого совмещения для харвестера МЛХ-414 отражена на рис. 2 (приведено сравнение при вылете манипулятора 5 м).

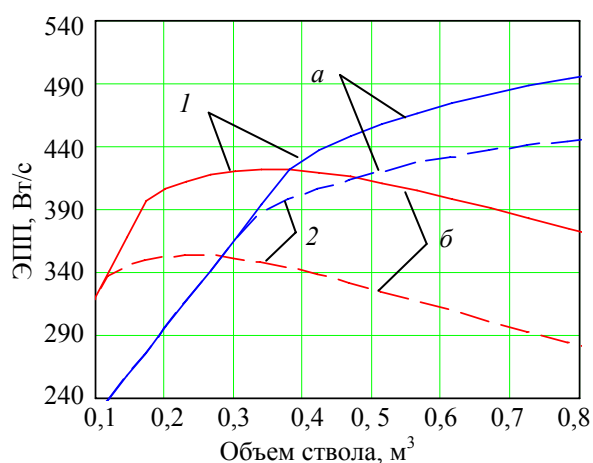


Рис. 2. Эффективность приемов выполнения технологической операции обрезки сучьев в различных эксплуатационных условиях:
а – с совмещением операций; *б* – без совмещения;
1 – мощность привода харвестерной головки 50 кВт;
2 – мощность привода харвестерной головки 40 кВт

Для функции ЭПП, описывающей работу харвестера с совмещением операций, учтено, что после встречной подачи харвестерной головки на дерево необходимо его повторное подтаскивание к месту раскрывки, что не является полезной работой и приводит лишь к увеличению времени цикла.

Изменение эффективности работы в сосновых древостоях 2-го класса бонитета с объемом ствола от 0,1 до 0,8 м³ имеет различный характер. Так, при объемах ствола меньше 0,17 м³ эффективность использования харвестера резко падает. Интенсивное падение эффективности обусловлено введенным в функцию ЭПП ограничением по максимальной скорости протаскивания деревьев в харвестерной головке Kesla 20 RH, установленной на данном харвестере и равной 5 м/с. При использовании совмещения операций также наблюдается интенсивный спад эффективности, но уже при объемах меньше 0,4 м³. Это обусловлено ограничением по скорости поворота манипулятора «Kesla 1395 Н».

Функция ЭПП указывает на эффективность использования совмещения операций при работе в древостоях с объемом ствола больше 0,38 м³. Работа в данной области характеризуется максимально допустимыми скоростями обрезки сучьев. При этом сила сопротивления волочению дерева и сила инерции дерева при разгоне значительны. Момент инерции поворота манипулятора, напротив, мал, а сила сопротивления волочению дерева при совмещении операций не влияет на затрачиваемую мощность.

Отметим, что при объемах ствола больше 0,75 м³ использование данного харвестера затруднительно ввиду ограничений развиваемой силы тяги протаскивающих валцов харвестерной головки величиной 18 кН.

Снижение мощности привода харвестерной головки значительно влияет на эффективность его работы при обычном выполнении технологических операций. Так, при работе в древостое с объемом хлыста 0,3 м³ уменьшение мощности привода харвестерной головки с 50 до 40 кВт снижает эффективность работы харвестера до 13%. В случае работы с совмещением мощность привода головки никак не влияет на эффективность работы в древостое с объемом ствола до 0,32 м³. Граница эффективного использования совмещения при этом снижается до объемов ствола 0,28–0,3 м³.

Различное влияние мощности привода харвестерной головки на эффективность способов выполнения операции обрезки сучьев объясняется тем, что максимальная скорость очистки дерева при использовании совмещения зависит не только от мощности и скорости работы харвестерной головки, но и показателей привода поворота манипулятора.

Повысить эффективность работы харвестера при работе в древостоях с объемом ствола больше 0,17 м³ возможно при увеличении максимальной мощности харвестерной головки и допускаемой силы тяги протаскивающих валцов. Однако такой подход сопряжен с ростом нагруженности несущей конструкции харвестера и его привода.

Рассмотренные функции ЭПП (1) и (2) не учитывают вероятностного характера возникновения усилий в процессе выполнения каждой операции технологического цикла, а также распределения условий эксплуатации. Учет такого распределения позволит более точно использовать критерий ЭПП с целью установления эффективных параметров многооперационных машин для конкретных лесозаготовительных предприятий. Заметим, что функция ЭПП предназначена для оценки эффективности па-

раметров машин в заданных условиях, но не позволяет сравнивать эффективность заготовки древесины при их изменении.

Заключение. Рассмотренный критерий энергетического потенциала производительности позволяет выполнять комплексную оценку эффективности параметров конструкции и привода многооперационных лесозаготовительных машин (форвардеров и харвестеров) для различных природно-производственных условий.

Его особенностью является совместный учет энергетических и временных составляющих эффективности работы многооперационных машин и возможность введения технологических и конструкционных ограничивающих факторов.

Исследованиями установлено, что при работе харвестера МЛХ-414 в сосновых древостоях 2-го класса бонитета на операции обрезки сучьев эффективно использовать встречную подачу харвестерной головки манипулятором на дерево при объеме ствола больше $0,38 \text{ м}^3$. При меньших объемах ствола целесообразно использовать обычный способ обрезки сучьев. Уменьшение мощности харвестерной головки с 50 до 40 кВт приводит в рассмотренном случае к снижению эффективности харвестера на 13%. При работе с совмещением такое снижение мощности сказывается на эффективности работы лишь в древостоях с объемом ствола больше $0,32 \text{ м}^3$. Работа харвестера МЛХ-414 в древостоях с объемом хлыста более $0,78 \text{ м}^3$ без использования совмещения операций затруднительна ввиду ограничения по развиваемой силе тяги протаскивающих вальцов.

Использование данного харвестера в древостоях с объемом ствола менее $0,17 \text{ м}^3$ также не рационально. Значительный спад эффективности

при этом обусловлен ограниченной до 5 м/с скоростью обрезки сучьев.

Рост эффективности работы форвардеров в рассмотренных эксплуатационных условиях значительно ограничивается допускаемыми по условию обеспечения прочности конструкции скоростями движения.

Для форвардера МЛПТ-354 ухудшение условий движения с 1-го до 3-го типа лесных почвогрунтов приводит к росту ЭПП, что указывает на лучшее соответствие параметров его конструкции и привода этим условиям. Однако в более сложных условиях эксплуатация данного форвардера затруднительна ввиду ограничений по возможности реализации требуемой касательной силы тяги.

Литература

1. Федоренчик, А. С. Сравнительная оценка работы лесных машин по показателям энергоёмкости / А. С. Федоренчик, А. В. Жорин, Д. В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 1997. – Вып. V. – С. 20–26.
2. Матвейко, А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства / А. П. Матвейко. – Минск: Техноперспектива, 2006.
3. Гинзбург, Ю. В. Промышленные тракторы / Ю. В. Гинзбург, А. И. Швед, А. П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1986.
4. Пищов, С. Н. Применение движителя комбинированного типа для повышения тягово-сцепных свойств лесных погрузочно-транспортных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / С. Н. Пищов. – Минск, 2008.
5. Федоренчик, А. С. Харвестеры: учеб. пособие / А. С. Федоренчик, И. В. Турлай. – Минск: БГТУ, 2002.

Поступила 15.03.2012