

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ СИСТЕМОЙ МАШИН «ХАРВЕСТЕР – ФОРВАРДЕР»

In the article the questions of effective using of harvesters and forwarders on logging operations are considered. The calculation of shift and annual capacity depending on using conditions, stand characteristics, logging methods and technologies is carried out. The recommendations of effectiveness increase of work of machine-logging system «harvester – forwarder» are done.

**Введение.** Реализация принципов устойчивого лесопользования и лесосоуправления в Республике Беларусь обуславливает создание и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологических процессов, которые в большинстве случаев могут быть осуществлены при механизации всех лесозаготовительных фаз.

На современном этапе развития лесозаготовительного производства в стране наблюдается тенденция к увеличению доли заготовки и вывозки из лесосеки сортиментов. Современным высокопроизводительным оборудованием, работающим по технологическому процессу с заготовкой сортиментов у пня, является система машин «харвестер – форвардер». Отечественными машиностроительными предприятиями освоен выпуск данных специализированных машин, и имеется некоторый опыт их эксплуатации на предприятиях лесного комплекса страны.

Разрабатываемые и создаваемые отечественные лесозаготовительные машины во многом призваны повысить производительность труда и обеспечить безопасные условия производства. Сортиментная технология на базе комплекса машин «харвестер – форвардер» помимо решения вышеуказанных проблем позволяет увеличить долю древесины, заготавливаемой при несплошных рубках, сократить расходы по уходу за лесом, обеспечить высокую совместимость машин с окружающей средой.

Однако эффективная эксплуатация рассматриваемого машинного комплекса возможна только при должном учете факторов, которые в той или иной степени влияют на производительность машин (природно-производственные условия и параметры предмета труда, способы и технологии рубок, организация производственного процесса и др.).

**1. Производительность машин.** На производительность харвестера оказывают влияние следующие факторы [1, 2]: средний объем хлыста; ликвидный запас древесины на 1 га; ширина полосы леса, разрабатываемой машиной за один проход; интенсивность рубки насаждения; средняя длина выпиленных сортиментов; средняя скорость протаскивания дерева через сучкорезный механизм; производительность чистого пиления пильного механизма.

Сменная производительность валочно-сучкорезно-раскряжевой машины (ВСРМ) определяется по формуле [3]

$$\Pi = \left[ 10^{-4} (T - t_{п-3}) \cdot \varphi_1 \cdot a \cdot b \cdot Q_{га} \cdot i \right] / \left\{ \frac{a}{v_{дв}} + \left[ t_2 + \frac{V_{хл}}{\Pi_{пил} \varphi_2 f (H - 1,3)} + t_4 + \frac{H - kH - l_b}{u_{ср}} + \frac{\pi d_{ср}^2 (H - l_b)}{4 \Pi_{пил} \varphi_2 l_{ср}} \right] \times \frac{ab Q_{га} i}{10^4 \cdot V_{хл}} \right\},$$

где  $T$  – продолжительность смены, с;  $t_{п-3}$  – время на выполнение подготовительно-заключительных операций, с;  $\varphi_1$  – коэффициент использования рабочего времени;  $a$  – ширина ленты, осваиваемой с одной рабочей позиции, м;  $b$  – ширина полосы леса, разрабатываемой машиной за один проход, м;  $Q_{га}$  – ликвидный запас древесины на 1 га, м<sup>3</sup>;  $i$  – интенсивность рубки насаждения;  $v_{дв}$  – средняя скорость движения харвестера при переезде с одной рабочей позиции на другую, м/с;  $t_2$  – время на подготовку дерева к спиливанию, с;  $V_{хл}$  – средний объем хлыста, м<sup>3</sup>;  $\Pi_{пил}$  – производительность чистого пиления пильного механизма, м<sup>2</sup>/с;  $\varphi_2$  – коэффициент использования  $\Pi_{пил}$ ;  $f$  – видовое число ствола дерева;  $H$  – средняя высота спиливаемых деревьев, м;  $t_4$  – время на сталкивание (повал) спеленного дерева, с;  $k$  – коэффициент, показывающий, какая часть длины дерева протаскивается через сучкорезный механизм за время падения дерева;  $l_b$  – средняя длина вершины дерева, не подлежащая очистке от сучьев, м;  $u_{ср}$  – средняя скорость протаскивания дерева через сучкорезный механизм, м/с;  $d_{ср}$  – средний диаметр пропилов, м;  $l_{ср}$  – средняя длина выпиленных сортиментов, м.

По данной формуле определена производительность харвестера МЛХ-434 с учетом особенностей его конструкции, технологии работы и параметров предмета труда, а также организации лесозаготовительного производства в Республике Беларусь. При выполнении расчетов принимали:  $T = 25\ 200$  с (7 ч);  $t_{п-3} = 2400$  с;  $\varphi_1 = 0,85$ ;  $\varphi_2 = 0,75$ ;  $f = 0,45$ ;  $t_2 = 30$  с;  $t_4 = 10$  с;  $v_{дв} = 0,8$  м/с;  $V_{хл} = 0,3$  м<sup>3</sup>;  $Q_{га} = 180$  м<sup>3</sup>/га;  $b = 16$  м;  $i = 1$ ;  $l_{ср} = 4$  м;  $u_{ср} = 3,6$  м/с;  $\Pi_{пил} = 0,025$  м<sup>2</sup>/с.

Результаты теоретических исследований производительности харвестера представлены в виде диаграмм на рис. 1–3.

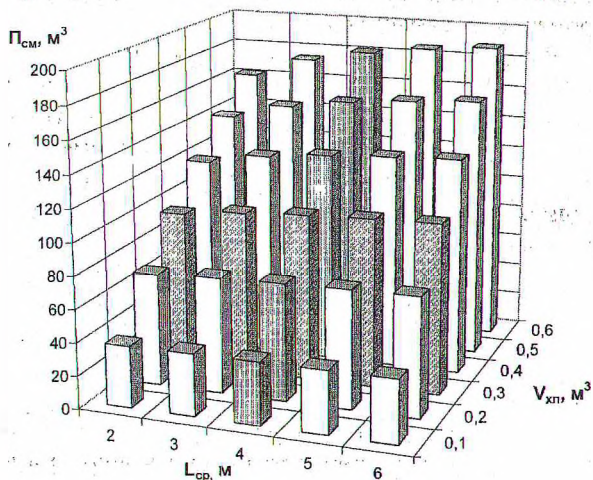


Рис. 1. Зависимость производительности харвестера от среднего объема хлыста и длины выпиленных сортиментов

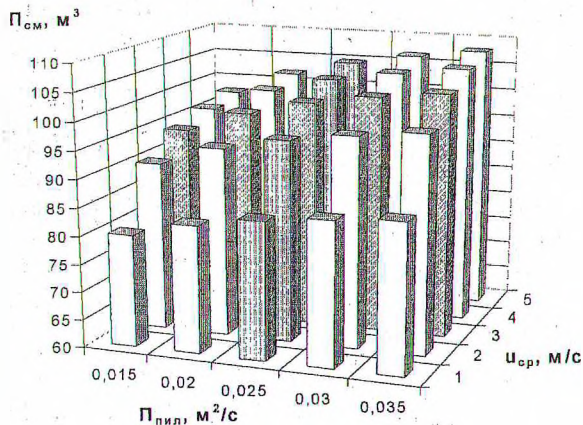


Рис. 2. Зависимость производительности харвестера от скорости протаскивания дерева и производительности чистого пиления

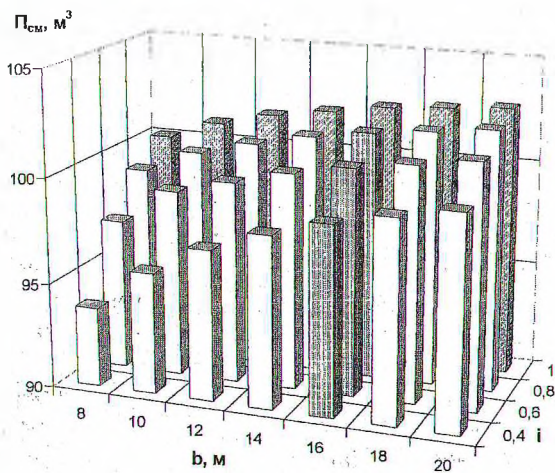


Рис. 3. Зависимость производительности харвестера от интенсивности рубки и ширины полосы леса, разрабатываемой машиной за один проход

Анализ полученных зависимостей позволяет установить степень влияния отдельных факторов на производительность ВСРМ, а также их взаимосвязь. Как показано на диаграммах, наибольшее влияние оказывает средний объем хлыста. При увеличении  $V_{хл}$  от 0,2 до 0,4 м<sup>3</sup> производительность возрастает в 1,8 раза. Кроме того, при больших значениях объема хлыста более выраженное влияние оказывает на производительность и длина выпиленных сортиментов.

Из технических параметров машины в комплексе существенное влияние оказывают на эффективность работы скорость протаскивания дерева через харвестерную головку и производительность чистого пиления срезающего механизма. Ввиду того, что харвестер большую часть цикла выполняет технологические операции, скорость его передвижения практически не влияет на производительность.

К основным технологическим параметрам, влияющим на работу ВСРМ, относятся ширина разрабатываемой полосы леса и интенсивность рубки. Исходя из того, что харвестер в среднем может обрабатывать полосу леса шириной до 20 м при сплошных рубках с принятыми в расчетах значениями, его производительность составит 102,8 м<sup>3</sup> в смену.

На производительность форвардера оказывают влияние объем ваза сортиментов, среднее расстояние трелевки, запас на 1 га, ширина разрабатываемой полосы леса, средняя длина сортиментов, интенсивность рубки насаждения.

Производительность в смену погрузочно-транспортной машины (ПТМ) определяется по формуле [1]

$$\Pi = \frac{(T - t_{п-3}) \cdot V_{п} \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2}{t_{ц}}$$

где  $V_{п}$  – объем древесины, который будет вывезен ПТМ за один рейс, м<sup>3</sup>;  $\Phi_1, \Phi_2$  – соответственно коэффициенты использования рабочего времени и технической готовности;  $t_{ц}$  – время, затраченное на выполнение операций по сбору и транспортировке лесоматериалов объемом  $V_{п}$ , с:

$$t_{ц} = t_{пог} + t_{раз} + t_{рх} + t_{хх} + t_{п.пер} + t_{р.пер},$$

где  $t_{пог}, t_{раз}$  – затраты времени на погрузку и разгрузку сортиментов, с;  $t_{рх}, t_{хх}$  – затраты времени на движение машины в грузовом и порожнем направлениях, с;  $t_{п.пер}, t_{р.пер}$  – время, затраченное на переезды машины во время набора пачек лесоматериалов при погрузке и разгрузке, с.

При выполнении расчетов принимали:  $T = 25\,200$  с (7 ч);  $t_{п-3} = 2400$  с;  $\Phi_1 = 0,85$ ;  $\Phi_2 = 0,75$ ;  $V_{п} = 8$  м<sup>3</sup>; расстояние трелевки  $S = 300$  м.

Результаты теоретических исследований производительности форвардера представлены в виде диаграмм на рис. 4–6.

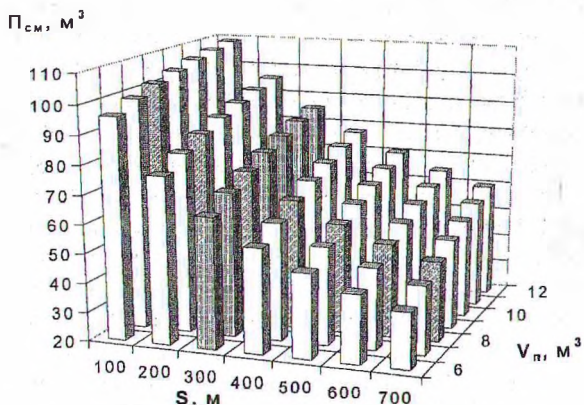


Рис. 4. Зависимость производительности форвардера от расстояния трелевки и объема перевозимой пачки сортиментов

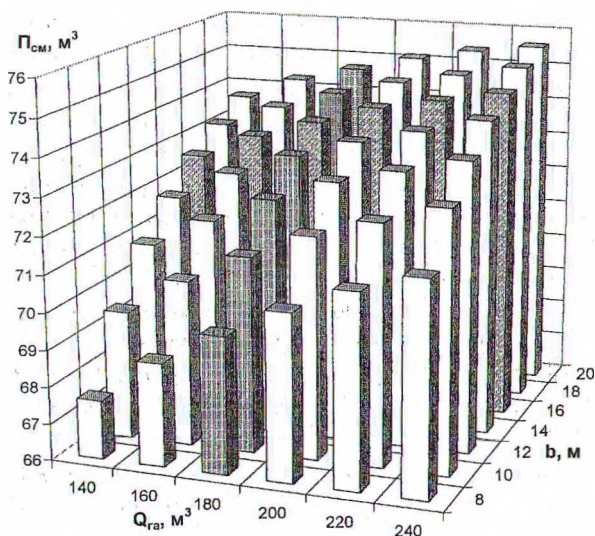


Рис. 5. Зависимость производительности форвардера от запаса древесины и ширины леса, разрабатываемой машиной за один проход

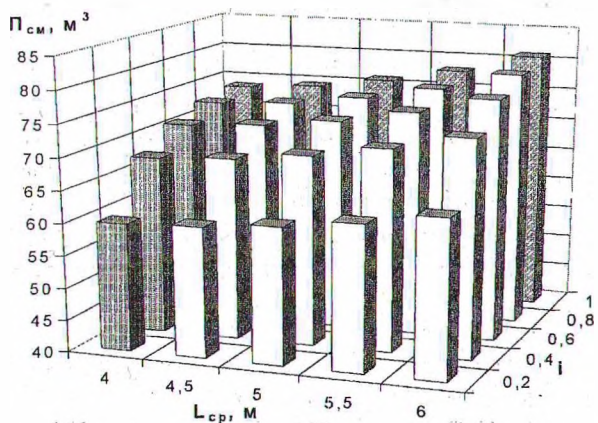


Рис. 6. Зависимость производительности форвардера от интенсивности рубки насаждения и средней длины сортиментов

Проведенный анализ зависимостей позволяет установить теоретическую производи-

тельность форвардера в конкретных природно-производственных условиях.

Наибольшее влияние на производительность ПТМ оказывает среднее расстояние трелевки сортиментов и объем перевозимого вoза. Причем, несмотря на то, что объем вoза сортиментов зависит от грузоподъемности форвардера, площади сечения грузовой платформы, длины перевозимых сортиментов и почвенно-грунтовых условий, данный показатель более постоянная величина, чем расстояние трелевки, и в меньшей степени может выступать в качестве управляемого фактора. Среднее расстояние трелевки зависит от принятой технологии лесосечных работ, почвенно-грунтовых условий, качества разбивки лесосеки на технологические элементы и является одним из основных управляемых факторов для повышения эффективности работы системы машин «харвестер – форвардер».

Так как форвардер в отличие от харвестера большее время в технологическом цикле затрачивает на передвижения, более выраженное влияние на его производительность имеют интенсивность рубки и ликвидный запас древесины на лесосеке. Однако средний объем хлыста такого существенного влияния, как у харвестера, не оказывает и выражается в большей степени через длину сортиментов.

**2. Годовая выработка машин.** Годовая производительность (выработка) исследуемых машин рассчитывалась с учетом факторов, которые условно можно объединить в следующие группы: организационные (режим работы предприятия, простой техники по организационным причинам, способы выполнения ремонтных работ и др.); экономические (производительность труда, трудоемкость выполнения вспомогательных операций, уровень использования исправной техники); технологические (размер лесосек и степень их концентрации; вид рубки и др.).

Годовая выработка машин определена на основании сменной производительности для условий эксплуатации, встречаемых с наибольшей вероятностью в Республике Беларусь при проведении сплошных рубок главного пользования. В качестве переменных величин были выбраны факторы, оказывающие наиболее значительное влияние на эффективность работы исследуемых машин:  $V_{хл}$  – для харвестера,  $S$  – для форвардера.

Следует отметить, что другие условия работ также имеют определенное влияние на производительность. Например, породный состав, рельеф местности, освещенность, снежный покров, низкая квалификация оператора и неправильное планирование работ могут снизить производительность на 40–50% от оптимального уровня [4].

Годовая производительность машин приведена в табл. 1 и 2.

Годовая производительность харвестера

Природно-производственные условия	Производительность, м <sup>3</sup>		
	1 смена	1,5 смены	2 смены
$V_{хл} = 0,1 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; i = 1; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	7 638	11 457	15 276
$V_{хл} = 0,2 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; i = 1; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	14 432	21 648	28 864
$V_{хл} = 0,3 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; i = 1; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	<b>20 582</b>	<b>30 874</b>	<b>41 165</b>
$V_{хл} = 0,4 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; i = 1; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	26 170	39 255	52 340
$V_{хл} = 0,5 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; i = 1; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	31 396	47 094	62 792
$V_{хл} = 0,6 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; i = 1; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	36 381	54 572	72 762

Таблица 2

Годовая производительность форвардера

Природно-производственные условия	Производительность, м <sup>3</sup>		
	1 смена	1,5 смены	2 смены
$S = 100 \text{ м}; V_{п} = 8 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	19 603	29 405	39 206
$S = 200 \text{ м}; V_{п} = 8 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	16 454	24 682	32 909
$S = 300 \text{ м}; V_{п} = 8 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	<b>14 170</b>	<b>21 254</b>	<b>28 339</b>
$S = 400 \text{ м}; V_{п} = 8 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	12 461	18 691	24 923
$S = 500 \text{ м}; V_{п} = 8 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	11 098	16 646	22 195
$S = 600 \text{ м}; V_{п} = 8 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	10 022	15 034	20 045
$S = 700 \text{ м}; V_{п} = 8 \text{ м}^3; b = 16 \text{ м}; l = 4 \text{ м}; Q_{га} = 180 \text{ м}^3$	9 120	13 680	18 240

### 3. Производительность системы машин.

Благодаря возможности создания больших межоперационных запасов при правильном планировании и организации технологического процесса на лесосечных работах машины в системе «харвестер – форвардер» имеют гибкую связь.

С целью повышения эффективности работы машин, уменьшения простоев необходимо знать оптимальное их количество в системе для конкретных природно-производственных условий.

Расчетами установлено, что определяющими факторами для работы харвестера является средний объем хлыста, а для форвардера расстояние трелевки. Так, на лесосеке с  $V_{хл} = 0,15–0,25 \text{ м}^3$  и  $S = 300 \text{ м}$  харвестер и форвардер имеют приблизительно равную сменную производительность, которая составляет около  $70 \text{ м}^3$ . Однако при  $V_{хл} = 0,4 \text{ м}^3$  производительность харвестера составит  $130 \text{ м}^3$  и для эффективной работы системы, исключаяющей простои оборудования, потребуется два форвардера. Для условий лесозаготовительного производства Беларуси система «харвестер – форвардер» будет включать один харвестер и один или два форвардера.

**Выводы.** 1. Проведенные расчеты позволяют установить теоретическую норму выработки харвестера и форвардера в зависимости от конкретных природно-производственных условий, а также количество машин в системе. Комплекс расчетов выполнен с учетом технологических, технических и природных факторов, характерных для исследуемой системы машин и условий лесозаготовок в Республике Беларусь.

2. Для повышения производительности машин в системе «харвестер – форвардер» необходимо: повышать коэффициент технической готовности машин; переходить на двухсменный режим работы с учетом оптимального планирования очередности разработки лесосек и других организационно-технологических вопросов; включать в машинный комплекс бензиномоторную пилу для обработки особо крупных, фаутных деревьев, деревьев, имеющих значительную кривизну ствола, находящихся в зоне, недоступной для манипулятора харвестера; осуществлять смену работы операторов (чередование работы на харвестере и с бензиномоторной пилой позволяет снизить утомляемость работников, монотонность труда, риск возникновения аварийных ситуаций).

### Литература

1. Матвейко, А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Практикум / А. П. Матвейко, Д. В. Клоков, П. А. Протас. – Минск: БГТУ, 2005. – 160 с.
2. Федоренчик, А. С. Харвестеры / А. С. Федоренчик, И. В. Турлай. – Минск: БГТУ, 2002. – 172 с.
3. Матвейко, А. П. Производительность валочно-сучкорезно-раскряжеочных машин на заготовке сортиментов / А. П. Матвейко // Труды БГТУ. Лесная и деревообработ. пром-сть. – Минск, 2003. – Вып. XI. – С. 24–28.
4. Промежуточное пользование лесом на Северо-Западе России / В. А. Ананьев [и др.]. – Йозенсуу: НИИ леса Финляндии, 2005. – 150 с.