

УДК:630*36

С. Е. Арико, аспирант (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ВЫЛЕТА МАНИПУЛЯТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ХАРВЕСТЕРА

В статье приведены характеристики предмета труда, соответствующего различным видам рубок ухода, доверительные интервалы изменения таксационных параметров характерного древостоя. В результате исследований влияния способа перемещения харвестера по трелевочному волоку, а также запаса древесины, объема хлыста и интенсивности рубки на эффективный вылет манипулятора установлены рекомендуемые его значения для промежуточного пользования.

In article characteristics of the object of the labor corresponding to various kinds of cabins of leaving, confidential intervals of change estimation parameters of a characteristic forest stand are resulted. As a result of probes of influence of a mode of conveyance harvester on skidding I drag, and also a stock of wood, volume of a switch and intensity of cabin on an effective departure of the manipulator its recommended values for intermediate using are established.

Введение. Современное состояние и перспективы развития лесозаготовительной отрасли Республики Беларусь свидетельствуют о необходимости внедрения перспективных, высокопроизводительных лесозаготовительных комплексов в составе харвестера и форвардера на рубках главного и промежуточного пользования. Объемы машинной заготовки древесины и эффективность работы системы машин «харвестер + форвардер» во многом зависят от природно-производственных условий, и в частности от размерно-качественных характеристик предметов труда, каковым является растущий лес. В этой связи при выборе многооперационных лесозаготовительных машин, предназначенных для проведения определенного вида лесозаготовительных работ, должное внимание следует уделить определению наиболее вероятностных таксационных параметров обрабатываемого древостоя, последующему выбору параметров технологического оборудования и базового шасси исходя из обеспечения эффективности работы валочно-сучкорезно-раскряжевой машины (харвестера).

1. Характеристика предмета труда. Рассматривая лесосечный фонд республики, следует отметить, что 70–80% его составляют молодняки, средневозрастные и приспевающие древостои, в которых возможно проведение рубок промежуточного пользования. При этом таксационные показатели древостоя, который подлежит проведению проходных рубок в лесах первой группы, соответствуют аналогичным параметрам деревьев, отводимых для рубок главного пользования в эксплуатационных лесах (вторая группа). В связи с этим проводилась работа по определению наиболее вероятных параметров обрабатываемого древостоя при проведении различных видов рубок промежуточного пользования на основе их механизации. Решение данного вопроса сводится к определению доверительных интервалов значений высот, диаметров и объемов деревьев

основных лесобразующих пород (сосны, ели и березы) исходя из возможности освоения 95% древостоя с учетом нормального закона распределения значений перечисленных таксационных параметров древостоя [1].

Для реализации поставленной задачи определялись наиболее вероятностные таксационные параметры главных лесобразующих пород в возрасте проведения прочистки, прореживания, проходных рубок, а также усредненные значения для рубок ухода с учетом породного состава, характерного для условий Республики Беларусь, и процентного соотношения между молодняками и средневозрастными древостоями.

Вероятность нахождения параметров обрабатываемого древостоя в интервале между минимальным x_{\min} и максимальным x_{\max} значениями определяется на основании формулы [2]:

$$P(x_{\min} < X \leq x_{\max}) = \Phi(z_2) - \Phi(z_1), \quad (1)$$

где $\Phi(z_2)$, $\Phi(z_1)$ – значения функции Лапласа соответственно по параметрам z_2 и z_1 , которые определяются как

$$z_1 = \frac{x_{\min} - \mu}{\sigma}, \quad z_2 = \frac{x_{\max} - \mu}{\sigma}, \quad (2)$$

где μ и σ – среднеарифметическое значение и среднеквадратичное отклонение исследуемого таксационного параметра древостоя.

Результаты определения усредненных параметров и доверительных интервалов по видам рубки приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

Результаты определения среднего объема хлыста и доверительного интервала

Вид рубки	μ	σ	Доверительный интервал
<i>Прочистка</i>	0,019	0,01416	[0,005; 0,024]
Прореживание	0,068	0,05593	[0,015; 0,090]
<u>Проходная рубка</u>	<u>0,284</u>	<u>0,19316</u>	<u>[0,043; 0,324]</u>
Рубки ухода	0,212	0,14572	[0,033; 0,244]

Данные показывают, что в зависимости от вида рубки промежуточного пользования наиболее вероятные параметры древостоя изменяются в широком диапазоне. Так, при проведении прочистки и прореживания средний объем хлыста не превышает $0,1 \text{ м}^3$. В свою очередь, на проходных рубках объем изменяется от $0,04$ до $0,32 \text{ м}^3$.

Таблица 2
Результаты определения среднего диаметра древостоя и доверительного интервала

Вид рубки	μ	σ	Доверительный интервал
Прочистка	6,25	2,1260	[3,65; 6,72]
Прореживание	10,50	3,2167	[5,84; 10,90]
Проходная рубка	18,17	4,5539	[9,97; 18,30]
Рубки ухода	15,23	3,9891	[9,40; 15,71]

Исходя из того, что таксационные параметры древостоя, отведенного для проведения рубок промежуточного пользования, в условиях различных предприятий могут отличаться, для определения эффективности работы лесозаготовительной машины были определены наиболее вероятные параметры обрабатываемого древостоя для рубок ухода в условиях лесосечного фонда Республики Беларусь.

Таблица 3
Результаты определения средней высоты древостоя и доверительного интервала

Вид рубки	μ	σ	Доверительный интервал
Прочистка	8,23	2,5466	[4,29; 8,46]
Прореживание	12,85	3,8218	[6,62; 13,11]
Проходная рубка	19,58	5,2424	[10,02; 19,70]
Рубки ухода	16,87	4,6249	[8,65; 17,02]

В соответствии с полученными данными для обеспечения возможности обработки не менее 95% лесосечного фонда рубок ухода и проведения выборочных санитарных рубок многооперационная валочно-сучкорезно-раскряжевая машина должна эффективно работать в древостое от $0,033$ до $0,250 \text{ м}^3$ при наиболее вероятном древостое с объемом $0,21 \text{ м}^3$, диаметром 15 см и высотой 16,9 м.

Как видно из рис. 1, данные параметры соответствуют 37% приспевающего древостоя сосны и 7–18% древостоя в возрасте рубки главного пользования эксплуатационных лесов. Для березы данные показатели соответственно равны 91–93% и 61%.

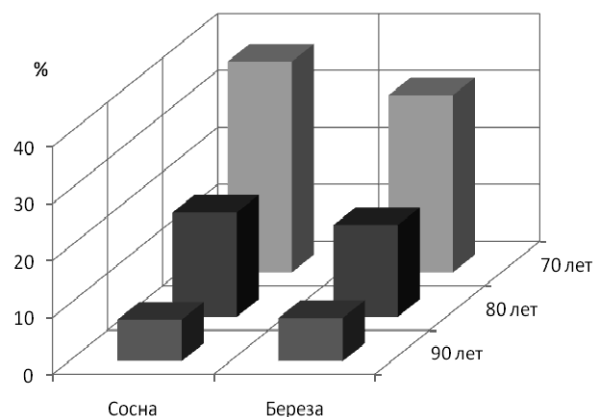


Рис. 1. Доля древостоя с объемом до $0,25 \text{ м}^3$

С учетом того, что древостой объемом менее $0,25 \text{ м}^3$ соответствует ели моложе 60 лет, возможность обработки данного древостоя обеспечит заготовку древостоя на всех видах рубок ухода в насаждениях второй категории на 93–95%, а на рубках главного пользования и выборочных санитарных рубках в лесах первой категории на 24–27%.

2. Исследование влияния вылета манипулятора на эффективность работы харвестера. При оценке эффективности работы харвестерных машин в условиях лесозаготовок наиболее значимым параметром является производительность, которая зависит от ряда ее технических характеристик, природно-производственных факторов и особенностей технологии.

Производительность валочно-сучкорезно-раскряжевой машины в обобщенном виде выражается формулой [3]

$$\Pi = \frac{(T - t_{п-3}) \cdot \varphi_1 \cdot V_{хл} \cdot n}{t_1 + t_{ц} \cdot n}, \quad (3)$$

где T – продолжительность смены, с; $t_{п-3}$ – время на выполнение подготовительно-заключительных операций, с; φ_1 – коэффициент использования рабочего времени; $V_{хл}$ – средний объем хлыста, м^3 ; n – число деревьев обрабатываемых с одной рабочей позиции (с одной технологической стоянки), шт.; t_1 – время на переезд машины с одной рабочей позиции на другую, с; $t_{ц}$ – время на обработку одного дерева, с.

Число деревьев, обрабатываемых с одной рабочей позиции лесозаготовительной машины, зависит от ширины полосы леса, разрабатываемой машиной за один проход (b); ширины ленты (a), осваиваемой с одной рабочей позиции; ликвидного запаса древесины на 1 га ($Q_{га}$); интенсивности рубки насаждения (i); среднего объема хлыста ($V_{хл}$) и определяется следующим образом [3]:

$$n = \frac{a \cdot b \cdot Q_{га} \cdot i}{10000 \cdot V_{хл}}. \quad (4)$$

В свою очередь, время на обработку одного дерева (формула (5)) включает время наведения срезающего механизма на дерево (t_2), его зажим (t_3), опускание ЗСУ к месту спиливания и предварительный натяг (t_4), время на спиливание дерева (t_5), подтаскивание его к месту раскряжевки (t_6), а также на очистку дерева от сучьев (t_7) и раскряжевку (t_8).

$$t_{\text{ц}} = t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8. \quad (5)$$

Рассматривая перечисленные составляющие, следует отметить тот факт, что значительное влияние на эффективность работы лесозаготовительной машины оказывает объем транспортно-переместительных операций харвестера и его технологического оборудования. При этом существенное влияние на технологию работы лесозаготовительной машины, технические и массово-габаритные параметры харвестера оказывает вылет устанавливаемого манипулятора.

Для учета влияния его максимального значения на среднее расстояние наведения на дерево захватно-срезающего устройства (ЗСУ), а также среднее расстояние подтаскивания дерева к месту раскряжевки была разработана схема (рис. 2) определения данных величин.

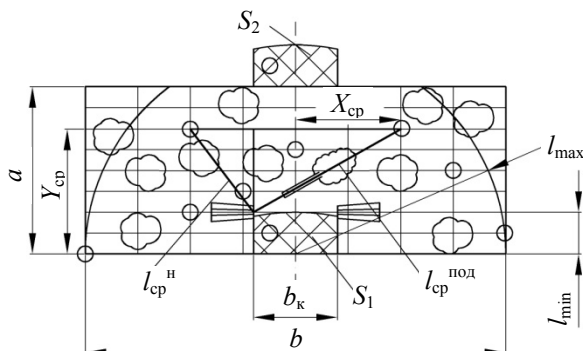


Рис. 2. Схема определения средних расстояний наведения ЗСУ на дерево и его подтаскивания

Средние расстояния наведения на дерево (l_{cp}^{H}) и его подтаскивания ($l_{\text{cp}}^{\text{под}}$) определяется исходя из двухсторонней укладки сортиментов по перекрестной схеме работы харвестера путем определения средних расстояний от места установки манипулятора на лесозаготовительной машине до древостоя в продольном (Y_{cp}) и поперечном (X_{cp}) направлении относительно направления движения лесной машины по формулам (6)–(7).

$$l_{\text{cp}}^{\text{H}} = \sqrt{(Y_{\text{cp}} - l_{\text{min}})^2 + (X_{\text{cp}} - \frac{b_k}{2})^2}; \quad (6)$$

$$l_{\text{cp}}^{\text{под}} = \sqrt{(Y_{\text{cp}} - l_{\text{min}})^2 + (X_{\text{cp}} + \frac{b_k}{2})^2}. \quad (7)$$

Определение средних расстояний Y_{cp} и X_{cp} , ввиду симметричного равномерного распределения древостоя относительно оси трелевочного волока, осуществлялся в соответствии со схемой разработки полупасеки, представленной на рис. 3.

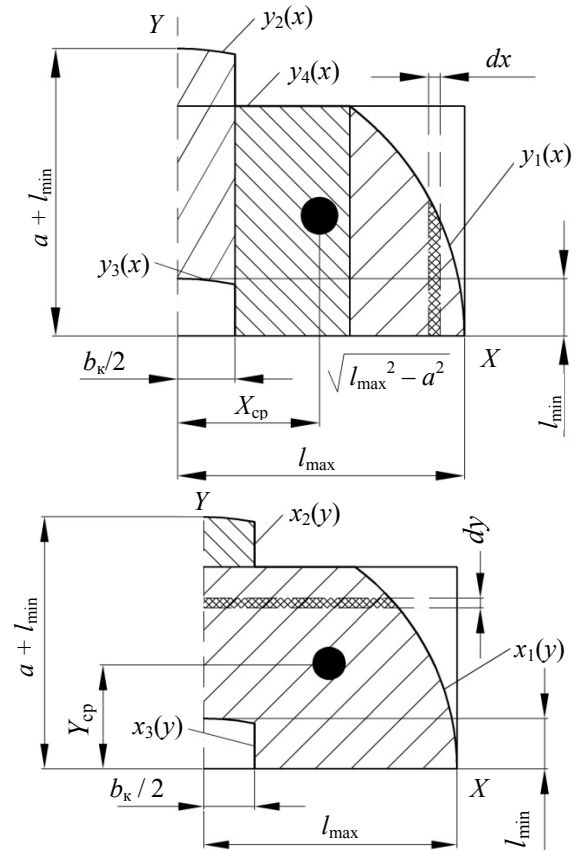


Рис. 3. Схема разработки полупасеки

Из приведенной схемы видно, что рабочая зона манипуляторного оборудования имеет специфическую форму ввиду обработки части ленты на предыдущей стоянке и необходимости проведения такого же объема работ за пределами обрабатываемой ленты для осуществления переезда на следующее рабочее пространство в связи с особенностями компоновки лесной машины. С учетом данного факта среднее расстояние от оси крепления манипулятора на шасси валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины до обрабатываемого дерева будет соответствовать расстоянию до центра тяжести плоского сечения рабочей зоны технологического оборудования.

Координаты центра тяжести плоской фигуры по отношению к принятым осям находятся следующим образом [4]:

$$X_{\text{cp}} = \frac{S_y}{A}; \quad Y_{\text{cp}} = \frac{S_x}{A}, \quad (8)$$

где S_x , S_y — статические моменты площади относительно оси X и Y , м^3 ; A — площадь рабочей зоны, м^2 .

Учитывая, что

$$S_x = \int_A y dA, \quad S_y = \int_A x dA, \quad A = \int_A dA, \quad (9)$$

после преобразований значения координат центра тяжести можно определить по выражениям:

$$x_c = \frac{\int_0^{\sqrt{l_{\max}^2 - a^2}} a \cdot x \cdot dx + \int_0^{l_{\max}} x \cdot \sqrt{l_{\max}^2 - x^2} \cdot dx}{\int_0^{\sqrt{l_{\max}^2 - a^2}} a \cdot dx + \int_0^{l_{\max}} \sqrt{l_{\max}^2 - x^2} \cdot dx};$$

$$y_c = \frac{\int_0^a y \cdot \sqrt{l_{\max}^2 - y^2} \cdot dy + \int_a^{a+l_{\min}} y \cdot \frac{b_k}{2} \cdot dy - \int_0^{l_{\min}} y \cdot \frac{b_k}{2} \cdot dy}{\int_0^a \sqrt{l_{\max}^2 - y^2} \cdot dy}$$

При проведении исследований первоочередное внимание было уделено выбору способа перемещения валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины по трелевочному волоку.

В технологическом цикле работы харвестера следует выделить три основных способа перемещения машины с одной технологической стоянки на другую, отличающиеся расстоянием между переездами (a). Первый, когда $a = l_{\max} - l_{\min}$, находит распространение на сплошных рубках [5, 6], второй, когда $a = (l_{\max} - l_{\min}) / 2$, характерен для рубок промежуточного пользования. С целью снижения повреждения древостоя при его значительной густоте находит применение третий способ перемещения валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины, при котором $a = 1-1,5$ м.

Влияние каждого из способов на производительность валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины определено с учетом особенностей конструкции харвестерных машин, технологии работы и наиболее вероятностных таксационных параметров предмета труда для рубок ухода (табл. 1-3), представлено на рис. 4.

Исследованиями установлено, что при заготовке древесины в насаждениях с наиболее вероятностными таксационными показателями, характерными для условий рубок ухода Республики Беларусь, производительность изменяется на 3-7%. Однако ввиду большего числа возможных вариантов валки деревьев эффективнее является осуществление переездов между стоянками на 1-1,5 м, что позволит снизить повреждение не только оставшегося древостоя, но и подроста.

По данным В. С. Мирошникова [7], для древостоя со средним объемом $0,21 \text{ м}^3$ запас находится в пределах $163-233 \text{ м}^3/\text{га}$ при изменении

полноты от 0,7 до 1,0. На рис. 5 представлены зависимости изменения производительности харвестера от максимального вылета установленного манипулятора при заготовке сортиментов в насаждениях с различным запасом.

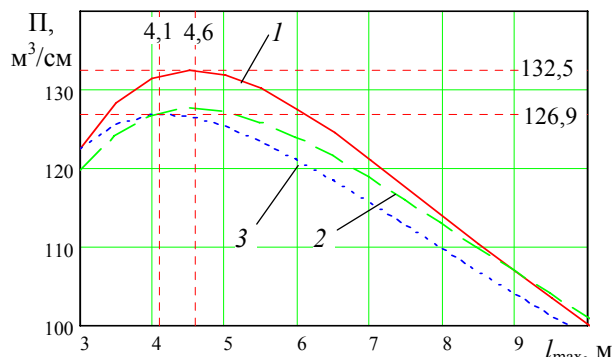


Рис. 4. Изменение производительности харвестера от вылета манипулятора и способа перемещения харвестера вдоль трелевочного волока:

$l - a = l_{\max} - l_{\min}$; $2 - a = (l_{\max} - l_{\min}) / 2$; $3 - a = 1$ м

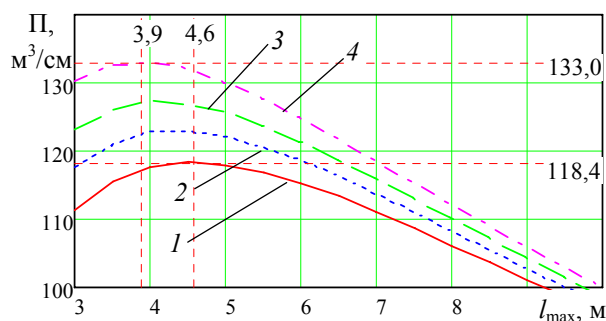


Рис. 5. Изменение производительности харвестера от вылета манипулятора и запаса древесины:

1 - $160 \text{ м}^3/\text{га}$; 2 - $180 \text{ м}^3/\text{га}$;
3 - $200 \text{ м}^3/\text{га}$; 4 - $230 \text{ м}^3/\text{га}$

При анализе полученных данных установлено, что эффективный вылет манипулятора находится в диапазоне от 3,9 до 4,6 м, при этом с увеличением запаса вылет уменьшается. Однако рубки леса с очень слабой интенсивностью (10%) приводят к его увеличению до 6,4 м (рис. 6).

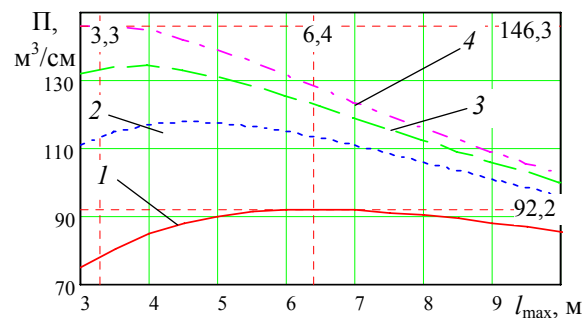


Рис. 6. Изменение производительности харвестера от вылета манипулятора и интенсивности рубки:

1 - 10%; 2 - 20%; 3 - 30%; 4 - 40%

При рассмотрении эффективности работы валочно-сучкорезно-раскряжевной машины в древостоях с различным средним объемом хлыста был учтен тот факт, что с его увеличением изменяются не только таксационные параметры древостоя, но и запас насаждения (табл. 4).

Таблица 4

Соотношение между основными таксационными параметрами древостоя и запасом

$V_{хл}, м^3$	$d_{1,3}, м$	$H, м$	$Q_{га}, м^3/га$
0,02	0,06	8,2	82
0,07	0,11	12,9	141
0,21	0,15	16,9	198
0,28	0,18	19,6	239

Анализ зависимостей, представленных на рис. 7, свидетельствует о том, что объем хлыста является основным параметром, который существенно влияет на производительность многооперационной машины.

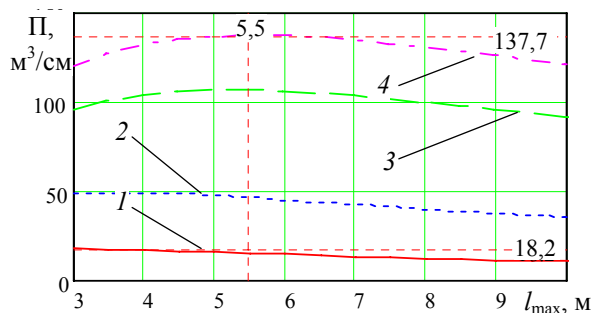


Рис. 7. Изменение производительности харвестера от вылета манипулятора и объема хлыста
1 – 0,02 м³; 2 – 0,07 м³; 3 – 0,21 м³; 4 – 0,28 м³

Ввиду того, что при заготовке сортиментов в древостое с объемом хлыста менее 0,1 м³ сменная производительность харвестера соответствует норме выработки 2–3 бензиномоторных пил, а стоимость лесной машины на порядок выше, то в данных условиях более эффективным является применение ручного моторного инструмента либо оснащение манипуляторной машины специализированным технологическим оборудованием, предназначенным для работы в молодняках. Для обеспечения эффективной работы харвестера при проведении рубок ухода максимальный вылет манипулятора должен находиться в пределах 5,5–6,4 м.

Заключение. Проведенные исследования позволили определить влияние различных природно-производственных факторов на выбор эффективного вылета манипулятора и производительность харвестера. Установлено, что для рубок ухода необходимо применять технологическое оборудование, обеспечивающее обработку пасаки шириной 11–13 м. При значительном объеме проводимых со слабой или очень слабой интенсивностью рубок в древостое, имеющем возраст 60–80 лет, эффективный вылет увеличивается до 7,1–7,5 м. К аналогичному эффекту приводит применение лесозаготовительных машин, имеющих механическую трансмиссию ввиду снижения средней скорости движения. В связи с этим обеспечение эффективной работы харвестера в различных насаждениях возможно за счет его оснащения гидроманипулятором с телескопическим исполнением рукояти, позволяющим увеличивать вылет на 1,5–2 м.

Литература

1. Анучин, Н. П. Лесная таксация: учеб. для вузов / Н. П. Анучин. – 5-е изд., доп. – М.: Лесная пром-сть, 1982.
2. Степнов, М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний / М. Н. Степнов. – М.: Машиностроение, 1972.
3. Матвейко, А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Практикум: учеб. пособие для студентов инженерно-экономических специальностей лесного комплекса / А. П. Матвейко, Д. В. Клоков, П. А. Протас. – Минск: БГТУ, 2005.
4. Справочник по сопротивлению материалов / Е. Ф. Винокуров [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1988.
5. Федоренчик, А. С. Харвестеры: учеб. пособие для студентов вузов / А. С. Федоренчик, И. В. Турлай. – Минск: БГТУ, 2002.
6. Матвейко, А. П. Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов / А. П. Матвейко, А. С. Федоренчик. – Минск: БГТУ, 2002.
7. Справочник таксатора / В. С. Мирошников [и др.]; под общ. ред. В. С. Мирошникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Ураджай, 1980.

Поступила 14.03.2011