

Леса России и хозяйство в них. 2021. № 4. С. 69–74

*Forests of Russia and economy in them. 2021. № 4. P. 69–74*

Научная статья

УДК 630.323.13

Doi: 10.51318/FRET.2021.95.37.006

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ ХАРВЕСТЕРОМ ПО КРИТЕРИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ

Тимофей Игоревич Савиных<sup>1</sup>, Мария Алексеевна Савиных<sup>2</sup>,  
Сергей Борисович Якимович<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, кафедра технологии  
и оборудования лесопромышленного производства

<sup>1</sup> savinyhti@mail.ru

<sup>2</sup> savinyhma@m.usfeu.ru

<sup>3</sup> jak.55@mail.ru, , <http://orcid.org/0000-0003-1013-6473>

**Аннотация.** Выполнен обзор способов и сравнительный анализ сменной и часовой производительности основных и разработанных авторами способов заготовки древесины: при валке деревьев перпендикулярно волоку; при заготовке древесины в вертикальном положении; при валке деревьев под углом к волоку; при заготовке древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления. Представлены действующие в условиях реального производства, апробированные на производстве и защищенные патентами способы заготовки древесины. Дано обоснование способов заготовки и харвестеров по критерию производительности и удельной энергоемкости с нормативными ограничениями на сохранность лесной среды. Разработана и представлена методика подбора харвестеров и харвестерных головок по критерию производительности и удельной энергоемкости для выбранных способов заготовки древесины. Выполнены расчеты по разработанной методике. Даны рекомендации по областям применения рассмотренных способов и соответствующих им харвестеров и харвестерных агрегатов. Установлено, что различные способы заготовки древесины при прочих равных условиях требуют использования соответствующих по мощности харвестеров с харвестерным агрегатом. Так, например, способ заготовки древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления реализует процесс харвестером существенно меньшей мощности и, соответственно, сопоставимой энергоемкости с более производительными способами и харвестерами большей мощности.

**Ключевые слова:** *производительность, харвестер, удельная энергоемкость, способы заготовки древесины*

Scientific article

## COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF HARVESTING WOOD BY HARVESTER ACCORDING TO THE CRITERION OF PRODUCTIVITY AND SPECIFIC ENERGY INTENSITY

Timofey I. Savinykh<sup>1</sup>, Maria A. Savinykh<sup>2</sup>, Sergei B. Yakimovich<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Ural State Forestry Engineering University, Department of technology and equipment of timber production

<sup>1</sup> savinyhti@mail.ru

<sup>2</sup> savinyhma@m.usfeu.ru

<sup>3</sup> jak.55@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1013-6473>

**Abstract.** A review of methods and a comparative analysis of the shift and hourly productivity of the main and developed by the authors methods of harvesting wood: when felling trees perpendicular to the hauling; when harvesting wood in a vertical position; when felling trees at an angle to the hauling; when harvesting wood in a vertical position with the removal of the vertex part on the skidding portage without landing. Patent-protected methods of wood harvesting operating in real production conditions and tested in production are presented. The substantiation of harvesting methods and harvesters according to the criterion of productivity and specific energy intensity with regulatory restrictions on the preservation of the forest environment is given. The method of selection of harvesters and harvester heads according to the criterion of productivity and specific energy intensity for the selected methods of wood harvesting has been developed and presented. Calculations were performed according to the developed methodology. Recommendations are given on the areas of application of the considered methods and their corresponding harvesters and harvester units. It has been established that various methods of harvesting wood, other things being equal, with the exception of methods, require the use of harvesters with a harvester unit corresponding in power. So, for example, the method of harvesting wood in a vertical position with the removal of the vertex part to the skidding portage without landing implements the process with a harvester of significantly lower power. And, accordingly, comparable energy intensity with more productive methods and harvesters of greater power.

**Keywords:** *productivity, harvester, specific energy consumption, methods of wood harvesting*

### Введение

Одним из важных факторов для заготовки древесины является энергоэффективность комплектов машин с ограничениями на сохранность лесной среды. Определяющее влияние на представленные факторы оказывают способы и приемы работы харвестера и соответствующие этим способам конструкции и типоразмеры машин для заготовки древесины [1]. В этой связи темы работ данной области являются актуальными.

### Цель, объекты и методика исследований

Целью работы является обоснование способа заготовки древесины харвестером на выборочных рубках на основе сравнительной оценки по критериям производительности и удельной энергоёмкости [2, 3]. Для её достижения были поставлены следующие задачи.

1. Провести обзор способов и сравнительный анализ сменной и часовой производительности способов заготовки: при вал-

ке деревьев перпендикулярно волоку; при заготовке древесины в вертикальном положении; валке деревьев под углом к волоку; заготовке древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления.

2. Обосновать захватно-срезающие агрегаты для представленных способов заготовки древесины харвестером.

3. Провести оценку удельной энергоёмкости представленных

способов заготовки древесины и обосновать параметры харвестера.

4. Разработать рекомендации по выбору наиболее эффективно-го способа заготовки при выборочных рубках.

Для сравнения нами был выбран известный традиционный способ и ряд разработанных в УГЛТУ способов заготовки древесины:

– способ заготовки древесины с перемещениями перпендикулярно волоку (традиционный, валка деревьев перпендикулярно волоку);

– способ заготовки древесины с перемещениями под углом к волоку (валка деревьев под углом к волоку) [4];

– способ заготовки древесины в вертикальном положении (обработка дерева в вертикальном положении) [5];

– способ заготовки древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части (обработка дерева в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления) [6].

С целью обеспечения сопоставимых условий для сравнения способов приняты характеристики, представленные в табл. 1. Они одинаковые для всех способов.

Изменяемыми факторами, характеризующими способ, являются последовательность обработки, траектория движения базы и захватно-срезающего агрегата харвестера, положение и траектория выноса дерева и сортиментов харвестером.

Расчет производительности производился для представленных способов заготовки древесины харвестером с использованием результатов имитационного эксперимента по определению времени цикла [7] и выражения

$$П_{см} = \frac{T_{см} - t_p}{t_u} V_x,$$

где  $T_{см}$  – продолжительность смены, 28 800 с;

$t_p$  – регламентированные простои, 10 000 с;

$V_x$  – средний объем хлыста;  $V_x = 0,4 \text{ м}^3$ ;

$t_u$  – продолжительность цикла, с.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Полученные данные производительности сравниваемых способов представлены в табл. 2 [7].

Для корректной оценки удельной энергоемкости способов необходимо подобрать соответствующие этим способам харвестерные агрегаты. Исходя из данных табл. 1 и 2 и сущности способов, подобраны захватно-срезающие агрегаты харвесте-

ров для каждого из сравниваемых способов. При выборе учитывалось, что часть способов оперирует поваленным или стоящим деревом, часть отдельными элементами поваленного или стоящего дерева: вершинами, сортиментами и пр. и в этой связи необходимы харвестерные агрегаты различной мощности: для оперирования с целым деревом – большей, с частью дерева – меньшей.

1. Способ заготовки древесины с перемещениями перпендикулярно волоку, традиционный – агрегат John Deere H 414.

2. Способ заготовки древесины с перемещениями под углом к волоку [4] – агрегат WARATAN H270 Series II.

3. Способ заготовки древесины в вертикальном положении [5] – агрегат KOMATSU 370.2.

4. Способ заготовки древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления. Способ по патенту на изобретение [6] – агрегат LOG MAX 5000D.

Таблица 1

Table 1

Инвариантные показатели для сравнения способов заготовки древесины

Invariant indicators for comparing wood harvesting methods

Показатели Indicators	Значения Values
Размеры лесосеки, га The size of the cutting area, ha	0,25
Комплект машин Set of machines	харвестер-форвардер harvester forwarder
Объем хлыста ( $V_{хл}$ ) Whip Volume ( $V_{wh}$ )	0,4
Количество сортиментов Number of sortings	4

Таблица 2

Table 2

Значения производительности для сравниваемых способов  
Performance values for the methods being compared

Способ заготовки древесины Method of harvesting wood	Часовая производительность $P_{ч}$ , м <sup>3</sup> Hourly productivity $P_{ч}$ , m <sup>3</sup>	Сменная производительность $P_{см}$ , м <sup>3</sup> Replaceable performance $P_{см}$ , m <sup>3</sup>
Заготовка древесины с перемещениями перпендикулярно волоку, традиционный Harvesting of wood with movements perpendicular to the fiber, traditional	20,7	165,4
Заготовка древесины с перемещениями под углом к волоку [4] Harvesting of wood with movements at an angle to the drag [4]	22,2	177,6
Заготовка древесины в вертикальном положении [5] Harvesting of wood in an upright position [5]	19,7	157,4
Заготовка древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления [6] Harvesting of wood in a vertical position with the removal of the vertex part to the skidding portage without landing [6]	14,4	115,5

Для определения удельной энергоёмкости способов заготовки древесины и выбранных машин использовалась наша авторская методика [8].

1. Харвестерный агрегат John Deere H 414 разработан для харвестеров John Deere среднего размера – 1170Е.

Установленная мощность харвестерного агрегата и/или машины, системы машин (кВт) определяется на основе расхода гидрожидкости (л/мин) и давления гидронасосов (бар) по выражению [8]

$$N = \frac{P_{нас} Q}{600\eta},$$

где  $P_{нас}$  – номинальное давление насоса, бар;

$Q$  – расход жидкости, л/мин;

$\eta$  – коэффициент подачи насоса (КПД) для гидравлического

привода обычно находится в диапазоне 0,85–0,95.

Удельная энергоёмкость харвестерного агрегата и/или машины, системы машин  $g_s$ , (кВт·ч)/м<sup>3</sup>, определяется для конечного состояния предмета труда — сортимента по выражению [8]

$$g_s = \frac{N}{P_{ч}},$$

где  $P_{ч}$  – часовая производительность.

$$N = \frac{280 \cdot 270}{600 \cdot 0,85} = 148,2 \text{ кВт},$$

$$g_s = \frac{148,2}{20,675} = 7,2 \text{ (кВт·ч)/м}^3.$$

2. Харвестерный агрегат KOMATSU C93 разработан для харвестера KOMATSU 931.

$$N = \frac{280 \cdot 280}{600 \cdot 0,85} = 153,7 \text{ кВт},$$

$$g_s = \frac{153,7}{22,2} = 6,9 \text{ (кВт·ч)/м}^3.$$

3. Харвестерный агрегат KOMATSU 370.2 разработан для харвестера KOMATSU 941.1.

$$N = \frac{250 \cdot 250}{600 \cdot 0,85} = 122,5 \text{ кВт},$$

$$g_s = \frac{122,5}{19,675} = 6,2 \text{ (кВт·ч)/м}^3.$$

4. Харвестерный агрегат LOG MAX 5000D разработан для харвестера EcoLog 560D.

$$N = \frac{250 \cdot 210}{600 \cdot 0,85} = 102,9 \text{ кВт},$$

$$g_s = \frac{102,9}{14,437} = 7,1 \text{ (кВт·ч)/м}^3.$$

**Выводы**

1. Различные способы заготовки древесины при прочих равных условиях требуют использования соответствующих по мощности харвестеров с харвестерным агрегатом. Так, например, способ заготовки древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления реализует процесс заготовки харвестером существенно меньшей мощности и, соответственно, сопоставимой энергоемкости с более производительными способами и харвестерами большей мощности.

2. Для выбранных агрегатов и машин был произведен расчет удельной энергоэффективности,

который показал, что на выборочных рубках наиболее энергоэффективными оказались:

– способ заготовки древесины с перемещениями под углом к волоку [4] с харвестером KOMATSU 931 и харвестерной головкой KOMATSU C93, удельная энергоемкость равна 6,9 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>;

– способ заготовки древесины в вертикальном положении [5] с харвестером KOMATSU 941.1 и харвестерной головкой KOMATSU 370.2, удельная энергоемкость равна 6,2 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>.

Менее энергоэффективные способы:

– способ заготовки древесины с перемещениями перпендику-

лярно волоку харвестером John Deere среднего размера – 1170E и харвестерной головкой John Deere H 414, удельная энергоемкость равна 7,2 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>;

– способ заготовки древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления. Способ по патенту на изобретение [6] с харвестером EcoLog 560D и харвестерной головкой LOG MAX 5000D, удельная энергоемкость равна 7,1 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>.

3. Способ по патенту на изобретение [6] в полной мере соответствует требованиям действующих правил заготовки древесины и лесовосстановления.

**Список источников**

1. Yakimovich S. B., Teterina M. A. Ways of conservation the natural environment and the intensification of logging round timber // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 232. – P. 9. – DOI:10.1088/1755-1315/272/3/032026.
2. Якимович С. Б. Постановка и решение задачи синтеза и оптимального управления технологическими процессами лесозаготовок // Лесн. вестник. – 2003. – № 5. – С. 96–103.
3. Якимович С. Б. Оптимальное управление процессами лесозаготовок: уравнения состояний // Лесн. вестник. – 2003. – № 3. – С. 149–160.
4. Пат. 2365093 Российская Федерация, МПК А016 23/02. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа / Якимович С. Б., Груздев В. В., Крюков В. Н., Тетерина М. А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Марийск. гос. техн. ун-т; заявл. 26.02.08; опубл. 27.08.09.
5. Экспериментальная оценка эффективности нового способа заготовки сортиментов в вертикальном положении / Е. В. Чернятьев, Е. В. Филичкина, Д. С. Янгильдин, С. Б. Якимович // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XIV Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». – Екатеринбург, 2018. – С. 75–80.
6. Пат. 2741351 Российская Федерация, МПК А01G23/02. Способ заготовки сортиментов/ Якимович С.Б. (RU), Савиных Т.И. (RU), Савиных М.А. (RU). № 2020117709, заявл. 18.05.2020; опубл. 20.01.2021, Бюл. № 3. 9 с.
7. Сравнительная оценка способов заготовки древесины харвестером по критериям производительности и сохранности лесной среды / Т. И. Савиных, М. А. Савиных, А. А. Санталов, С. Б. Якимович // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – Екатеринбург, 2021. – С. 48–50.
8. Якимович С. Б., Ефимов Ю. В. Оценка эффективности систем машин и харвестерных агрегатов для заготовки древесины по фундаментальному критерию технолога — удельной энергоемкости // Лесн. вестник. – 2020. – Т. 24. – № 1. – С. 59–68.

### References

1. Yakimovich S. B., Teterina M. A. Ways of conservation the natural environment and the intensification of logging round timber // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 232. – P. 9. – DOI:10.1088/1755-1315/272/3/032026.
2. Yakimovich S. B. Formulation and solution of the problem of synthesis of optimal control of technological processes logging // Forest Bulletin. – 2003. – №. 5. – P. 96–103.
3. Yakimovich S. B. Optimal control of logging processes: Equations of states // Lesnoy Vestnik. – 2003. – №. 3. – P.149–160.
4. Patent 2365093, The Russian Federation МПК A016 23/02. A method of harvesting sortings by a manipulator-type machine / Yakimovich S. B., Gruzdev V. V., Kryukov V. N., Teterina M. A. // State Educational Institution of Higher Professional Education Mari State Technical University; announced 26.02.08; published 27.08.09.
5. Experimental evaluation of the effectiveness of a new method of harvesting sortings in a vertical position / E. V. Chernyatyeve, E. V. Filichkina, D. S. Yangildin, S. B. Yakimovich // Scientific creativity of youth – to the forest complex of Russia : mater. XIV Vseros. nauch.-tech. conf. of students and postgraduates and the competition under the program «Smart Guy». – Yekaterinburg, 2018. – P. 75–80.
6. Patent 2741351 Russian Federation, IPC A01G23/02. Method of preparation of sorting / Yakimovich S. B. (RU), Savinykh T. I. (RU), Savinykh M. A. (RU). №. 2020117709, application 18.05.2020; publ. 20.01.2021, Bul. №. 3. 9 P.
7. Comparative evaluation of methods of harvesting wood by harvester according to the criteria of productivity and preservation of the forest environment / T. I. Savinykh, M. A. Savinykh, A. A. Santalov, S. B. Yakimovich // Scientific creativity of youth – the forest complex of Russia : materials of the XVII All-Russian (national) scientific and Technical conference of students and postgraduates. – Yekaterinburg, 2021. – P. 48–50.
8. Yakimovich S.B., Efimov Yu. V. Evaluation of the efficiency of machine systems and harvester units for harvesting wood according to the fundamental criterion of the technologist – specific energy intensity // Lesnoy Vestnik. – 2020. – Vol. 24. – №. 1. – P. 59–68.

### *Информация об авторах*

*Т. И. Савиных – магистр;*

*М. А. Савиных – магистр;*

*С. Б. Якимович – доктор технических наук, профессор.*

### *Information about the authors*

*T. I. Savinykh – undergraduate student; M. A. Savinykh – undergraduate student;*

*S. B. Yakimovich – doctor of technical sciences, professor.*

*Статья поступила в редакцию 09.08.2021; принята к публикации 08.11.2021.*

*The article was submitted 09.08.2021; accepted for publication 08.11.2021.*

---

---