

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7543

УДК 630*3

Статья

Сравнительный анализ эффективности харвестеров зарубежного производства

Кузнецов Алексей Владимирович

доктор технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), kuzalex@psu.karelia.ru

Гайда Александр Александрович

мастер лесозаготовок, АО «Кондопожское лесопромышленное хозяйство» (КЛПХ) (Российская Федерация), Office@klpkh.com

Получена: 16 ноября 2023 / Принята: 5 марта 2023 / Опубликовано: 23 марта 2024

Аннотация: В работе представлен анализ эффективности доступных харвестеров, что особенно актуально в современных условиях санкций. На основе анализа сформулированы цель и задачи исследования. Цель исследования — оценка эффективности доступных в условиях санкций харвестеров зарубежного производства. Задачи исследования: 1) Сравнение доступных харвестеров в условиях введённых санкций; 2) Анализ производительности харвестера на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F и харвестера John Deere 1270G; 3) Оценка возможности рекомендации применения на лесозаготовках харвестера китайского производства на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F. Авторами проведена оценка работы харвестера на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F с харвестерной головкой WARATAN H480C и харвестера John Deere 1270G. Средняя выработка ($H_{выр}$) на человеко-день составила 233,17 м³ у харвестера John Deere 1270G (среднее отработанное время в день 15,20 ч) и 207,67 м³ у харвестера на базе SANY SY245F (отработанное время в день 15,48 ч). В среднем $H_{выр}$ на человеко-день у харвестера на базе SANY SY245F меньше в 1,126 раза. В качестве критерия оценки эффективности лесозаготовительных машин применён адаптированный для харвестеров коэффициент технологической эффективности ($K_{мэ}$). На основе проведённого анализа установлено изменение значений коэффициента технологической эффективности, при этом максимальные значения $K_{мэ} = 0,638$ и $0,647$ достигаются при $V_{хл} = 0,36$ м³ и $0,53$ м³ и чистом времени работы 7,5 ч и 9 ч соответственно (John Deere 1270G). Уменьшение значений $K_{мэ}$ в других условиях позволяет

констатировать снижение эффективности работы харвестера под влиянием дополнительных природно-производственных факторов, в т. ч. при выполнении незапланированных операций. Оценка работы харвестера посредством критерия $K_{тэ}$ даёт возможность сравнить фактическую и теоретическую эффективность лесозаготовительной машины, что, в свою очередь, позволит выявить проблемные места и провести мероприятия по повышению производительности техники и снижению затрат. Анализ показал, что харвестеры китайского производства, в частности на базе экскаватора SANY SY245F, по эффективности вполне конкурентоспособны с лесозаготовительными машинами других производителей.

Ключевые слова: лесозаготовки; харвестер; анализ; эффективность; производительность; коэффициент технологической эффективности

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7543

Article

Comparative analysis of foreign-made harvesters efficiency

Aleksey Kuznetsov

*D. Sc. in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University
(Russian Federation), kuzalex@psu.karelia.ru*

Aleksandr Gayda

*logging foreman, AO «Kondopoga timber industry»
(Kondopozhskoye lesopromyshlennoye khozyaystvo) (Russian Federation), Office@klpkh.com*

Received: 16 November 2023 / Accepted: 5 March 2024 / Published: 23 March 2024

Abstract: The paper presents an analysis of the efficiency of available harvesters, which is especially important in the current conditions of sanctions. The purpose of the study was to assess the effectiveness of foreign-made harvesters available under sanctions. The authors compared and analyzed the productivity of a harvester based on the SANY SY245F crawler excavator and the John Deere 1270G harvester; and assessed possible usage of a Chinese-made harvester based on the SANY SY245F crawler excavator in logging. The authors evaluated the work of a harvester based on SANY SY245F, with a harvester head WARATAH H480C and that of a harvester John Deere 1270G. The average output per man-day made 233.17 m³ for the John Deere 1270G (average hours worked per day 15.20 hours) and 207.67 m³ for the SANY SY245F-based harvester (average day hours worked 15.48 hours). On average, the output per man-day for a harvester based on SANY SY245F was 1.126 times less. As a criterion for evaluating the efficiency of logging machines, we used the coefficient of technological efficiency (CTE) adapted for harvesters. The analysis revealed a change in the values of the technological efficiency coefficient, while the maximum values of CTE = 0,638 and 0,647 were achieved at volume of stem 0,36 and 0.53 m³ and a net operating time of 7.5 and 9 hours, respectively (John Deere 1270G). A decrease in the values of CTE in other conditions allows us to state a decrease in the efficiency of the harvester under the influence of additional natural production factors, including unplanned operations. Evaluation of the harvester operation using the CTE criterion allows comparing the actual and theoretical efficiency of the logging machine, which in turn may allow identifying weaknesses and taking measures to increase equipment productivity and reduce costs. The analysis showed that harvesters made in China and,

in particular, based on the SANY SY245F excavator are quite competitive in terms of efficiency with forest machines from other manufacturers.

Keywords: logging works; harvester; analysis; efficiency; productivity; coefficient of technological efficiency

1. Введение

Основные технологии проведения лесосечных работ в России связаны с заготовкой древесины в хлыстах, деревьях или сортиментах, при этом сортиментная технология находит всё большее распространение [1], [2]. В этих условиях применение на лесозаготовках многооперационных машин позволяет повысить эффективность лесосечных работ и безопасность их проведения. Использование лесозаготовительными компаниями комплексов машин в составе харвестера и форвардера стало неотъемлемым атрибутом сортиментной технологии лесозаготовок. В отдельных регионах эти системы машин преобладают, вытеснив другие комплексы машин.

В современных реалиях санкций лесозаготовительные компании столкнулись с проблемой доступности к приобретению новой лесозаготовительной техники и ремонта существующих образцов. В этих условиях на рынке представлены (или планируются к производству) лесозаготовительные машины отечественного и зарубежного производства, из которых особо стоит отметить модели, выпускаемые белорусской компанией «АМКОДОР» (AMKODOR FH3081, AMKODOR FF1681 и т. д.), и харвестеры на базе экскаваторов китайского производства (Xuvol, LiuGong CLG922E, SANY SY245F и т. д.) [2].

2. Материалы и методы

Холдингом «Карелия Палп» (Республика Карелия) и, в частности, входящим в него АО «Кондопожское лесопромышленное хозяйство» (КЛПХ) [3], [4] был приобретён и прошёл апробацию в условиях предприятия харвестер на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F с харвестерной головкой WARATAN H480C. Стоит отметить, что данная модификация харвестера выпускается также с головками LOGMAX 6000, Ponsse H7 и Техноком Т600. При этом особый интерес с точки зрения импортозамещения вызывает харвестерная головка Техноком Т600 (вес 1,350 т, максимальный диаметр ствола 72 см, скорость протяжки до 6 м/с), являющаяся аналогом одного из ведущих финских производителей и разработанная китайскими партнёрами ГК «Техноком» [5].

В рамках работы при оценке эффективности лесозаготовительных машин в современных условиях было проведено исследование работы харвестера на базе экскаватора SANY SY245F с харвестерной головкой WARATAN H480C и харвестера John Deere 1270G с такой же головкой в схожих природно-производственных условиях (средний объём хлыста $V_{хл}$ соответственно 0,28 м³ и 0,27 м³, равнинный рельеф местности). На базе фактических данных и технических характеристик харвестеров проведены расчёт их производительности и оценка эффективности работы в определённых природно-производственных условиях на основе технологического показателя их эффективности.

В работах [6] и [7] для оценки технических и технологических параметров эффективной работы лесотранспортных средств на транспортировке древесины предлагается использовать обобщённый показатель проходимости:

$$P_{np} = \frac{Q_m \cdot S_m \cdot t_{\text{э}} \cdot q_{\text{э}}}{Q_{\text{э}} \cdot S_{\text{э}} \cdot t_m \cdot q_m} = \frac{Q_m \cdot v_m \cdot q_{\text{э}}}{Q_{\text{э}} \cdot v_{\text{э}} \cdot q_m}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{э}}$ и Q_m — объём пачки при движении по эталонному и трудному участкам пути, м³; $S_{\text{э}}$ и S_m — протяжённость эталонного и трудного участков пути, м; $t_{\text{э}}$ и t_m — время при движении как по эталонному, так и по трудному участку пути, с; $v_{\text{э}}$ и v_m — скорость движения машины по эталонному и трудному участкам пути, м/с; $q_{\text{э}}$ и q_m — расход топлива при движении как по эталонному, так и по трудному участку пути, л/км (м³).

С учётом особенностей работы лесотранспортных машин [изменение P_{cm} лесотранспортных машин в эталонных, удовлетворительных (осложнённых) или трудных природно-производственных условиях] специалистами [8] предложен объективный технологический показатель эффективности лесозаготовительных машин — коэффициент технологической проходимости:

$$K_{mn} = \frac{P_{cm}^m \cdot q_{\text{э}}}{P_{cm}^{\text{э}} \cdot q_m}, \quad (2)$$

где $P_{cm}^{\text{э}}$ и P_{cm}^m — сменная производительность машин при работе в эталонных и трудных (осложнённых или удовлетворительных) условиях, м³/смену; $q_{\text{э}}$ и q_m — расход топлива при работе в эталонных и трудных условиях, л/км (м³).

На основе полученных данных проведём оценку комплексной эффективности лесозаготовительных машин — харвестера на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F с харвестерной головкой WARATAN H480C и харвестера John Deere 1270G. В качестве критерия оценки эффективности применим адаптированный для харвестеров коэффициент технологической эффективности ($K_{m\text{э}}$):

$$K_{m\text{э}} = \frac{P_{cm}^m \cdot q_{\text{э}}}{P_{cm}^{\text{э}} \cdot q_m} = \frac{H_{\text{выр}}^m \cdot q_{\text{э}}}{H_{\text{выр}}^{\text{э}} \cdot q_m}, \quad (3)$$

где $P_{cm}^{\text{э}}$ и P_{cm}^m — сменная производительность харвестера при работе в эталонных (на основе теоретических расчётов) и трудных (на основе фактических данных) природно-производственных условиях, м³/смену; $H_{\text{выр}}^{\text{э}}$ и $H_{\text{выр}}^m$ — средняя выработка харвестера при работе в эталонных и трудных природно-производственных условиях, м³/чел.-день; $q_{\text{э}}$ и q_m — расход топлива при работе в эталонных и трудных условиях, л/чел.-день.

3. Результаты

На основе результатов анализа полученных фактических данных (представлены специалистами АО «КЛПХ») было установлено, что у харвестера John Deere 1270G средний расход топлива (q) на один моточас составил 13,52 л, а средний расход на кубический метр при $V_{хл} = 0,2—0,23 \text{ м}^3$ — 1,3 л, при $V_{хл} = 0,24—0,27$ — 0,7 л. Соответственно у харвестера на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F средний расход на один моточас составляет 20,1 л, а средний расход на кубический метр при $V_{хл} = 0,2—0,23 \text{ м}^3$ — 1,9 л, при $V_{хл} = 0,24—0,27 \text{ м}^3$ — 1,4 л, т. е. разница по расходу топлива в среднем в 1,5 раза, при $V_{хл} = 0,24—0,27 \text{ м}^3$ — в 2 раза больше у харвестера на базе экскаватора SANY SY245F.

В то же время средняя выработка на человеко-день ($H_{выр}$) составила 233,17 м^3 у харвестера John Deere 1270G (среднее отработанное время в день 15,20 ч) и 207,67 м^3 у харвестера на базе экскаватора SANY SY245F (среднее отработанное время в день 15,48 ч), т. е. по выработке на человеко-день китайский харвестер практически идентичен харвестеру John Deere 1270G (в среднем $H_{выр}$ на человеко-день меньше в 1,126 раза).

На основе наиболее полноценных групп, выбранных посредством сравнения наибольшего значения коэффициента детерминации R^2 , был проведён регрессионный анализ с целью определения зависимости динамики изменения выработки ($H_{выр}$, $\text{м}^3/\text{чел.-день}$) в зависимости от объёма хлыста ($V_{хл}$, м^3), эффективного рабочего времени (T , ч) и расхода топлива (q , л/день). Степень достоверности полученных результатов подтверждается с помощью значения R^2 . В таблицах 1—4 представлены результаты дисперсионного анализа уравнений регрессий.

Харвестер John Deere 1270G:

$$H_{выр} = 792,554 \cdot V_{хл} + 13,2931 \cdot T + 0,302962 \cdot q - 262,555. \quad (4)$$

Таблица 1. Дисперсионный анализ уравнения регрессий

Table 1. Analysis of variance of the regression equation

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Среднеквадратичное значение	Критерий Фишера	P -значение
Модель	324128,0	3	108043,0	45,07	0,0000
Остаток	57534,8	24	2397,28		
Всего	381663,0	27			

Коэффициент детерминации $R^2 = 84,9 \%$.

Стандартная ошибка оценивания равна 48,962.

Средняя абсолютная погрешность равна 33,4494.

Харвестер John Deere 1270G:

$$H_{\text{выр}} = 858,091 \cdot V_{\text{хл}} + 15,7948 \cdot T - 239,539. \quad (5)$$

Таблица 2. Дисперсионный анализ уравнения регрессий

Table 2. Analysis of variance of the regression equation

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Среднеквадратичное значение	Критерий Фишера	P-значение
Модель	318400,	2	159200,	62,91	0,0000
Остаток	63262,5	25	2530,5		
Всего	381663,	27			

Коэффициент детерминации $R^2 = 83,42 \%$.

Стандартная ошибка оценивания равна 50,304.

Средняя абсолютная погрешность равна 34,77.

Харвестер на базе экскаватора SANY SY245F:

$$H_{\text{выр}} = 279,731 \cdot V_{\text{хл}} + 5,83285 \cdot T + 0,329899 \cdot q - 77,0391. \quad (6)$$

Таблица 3. Дисперсионный анализ уравнения регрессий

Table 3. Analysis of variance of the regression equation

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Среднеквадратичное значение	Критерий Фишера	P-значение
Модель	134256,0	3	44752,0	38,75	0,0000
Остаток	28870,0	25	1154,8		
Всего	163126,0	28			

Коэффициент детерминации $R^2 = 82,3 \%$.

Стандартная ошибка оценивания равна 33,9823.

Средняя абсолютная погрешность равна 24,1559.

Харвестер на базе экскаватора SANY SY245F:

$$H_{\text{выр}} = 257,032 \cdot V_{\text{хл}} + 14,0332 \cdot T - 77,1492. \quad (7)$$

Таблица 4. Дисперсионный анализ уравнения регрессий

Table 4. Analysis of variance of the regression equation

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Среднеквадратичное значение	Критерий Фишера	<i>P</i> -значение
Модель	130093,	2	65046,3	51,20	0,0000
Остаток	33033,4	26	1270,51		
Всего	163126,	28			

Коэффициент детерминации $R^2 = 79,75\%$.

Стандартная ошибка оценивания равна 35,64.

Средняя абсолютная погрешность равна 26,038.

Опираясь на фактические данные и технические характеристики рассмотренных лесозаготовительных машин, проведём расчёт $P_{см}^э$ и $P_{см}^м$ харвестера John Deere 1270G (рисунок 1, а), а также оценку значений $K_{мэ}$ (рисунок 1, б). При расчёте сменной производительности ($P_{см}$) рассмотренных выше лесозаготовительных машин (на основе их технических характеристик) с использованием методических рекомендаций, представленных в работе [9], с учётом идентичных условий работы (отработанное время в смену 8 ч), были получены значения $P_{см}$, превышающие фактические данные в 1,071—1,477 раза (на базе экскаватора SANY SY245F) и 1,225—1,539 раза (на базе экскаватора John Deere 1270G). Данное обстоятельство лишний раз указывает на влияние дополнительных природно-производственных факторов и затрат времени на эффективность лесных машин при проведении лесосечных работ в реальных природных условиях.

При установке на базовую машину SANY SY245F харвестерных головок разных производителей (WARATAN H480C, LOGMAX 6000, Ponsse H7, Техноком Т600) эффективность гусеничного харвестера, согласно теоретическим расчётам на основе технических характеристик харвестерных головок, варьируется в следующих пределах (рисунок 2, а). Кроме этого, согласно теоретическим расчётам на основе технических характеристик машин, производительность харвестера John Deere 1270G выше $P_{см}$ харвестера на базе SANY SY245F в 1,035—1,191 раза (рисунок 2, б), что вполне соответствует представленному выше анализу фактических данных (разница по среднему значению $H_{выр}$ составляет 1,126 раза). Полученные результаты измерений и расчётов в целом соответствуют данным, представленным в работах [10], [11] и [12] ($P_q = 18—21$ м³/ч, при $V_{хл} = 0,3$ м³), с учётом погрешности в измерениях и влиянии природно-производственных условий на работу лесозаготовительных машин.

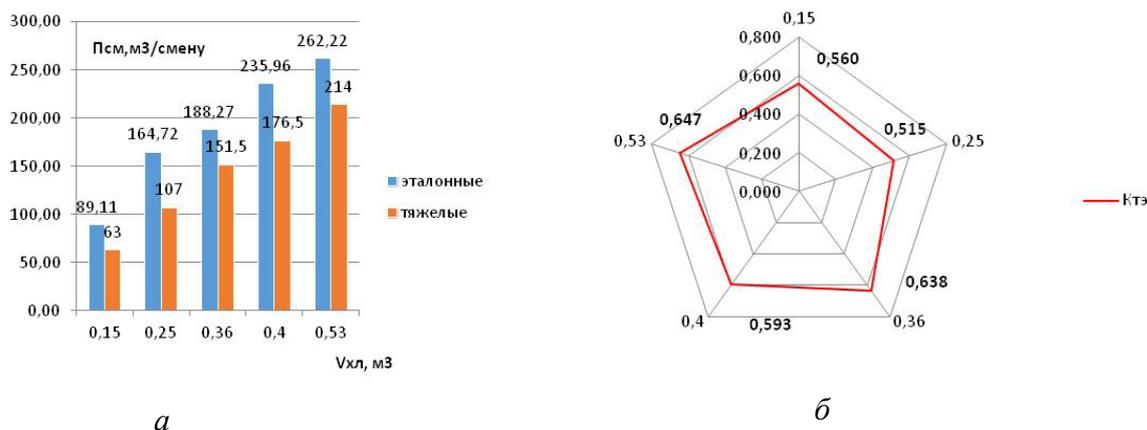


Рисунок 1. Харвестер John Deere 1270G: *a* — $P_{см}$ в зависимости от $V_{хл}$, в эталонных и тяжёлых условиях соответственно; *б* — значение коэффициента технологической эффективности (C_{TE}) при варьировании $V_{хл}$, $м^3$

Fig. 1. Harvester John Deere 1270G: (a) $P_{см}$, depending on V_{hl} , in standard and severe conditions, respectively; (b) value of the technological efficiency coefficient (C_{TE}) with varying V_{hl} , $м^3$

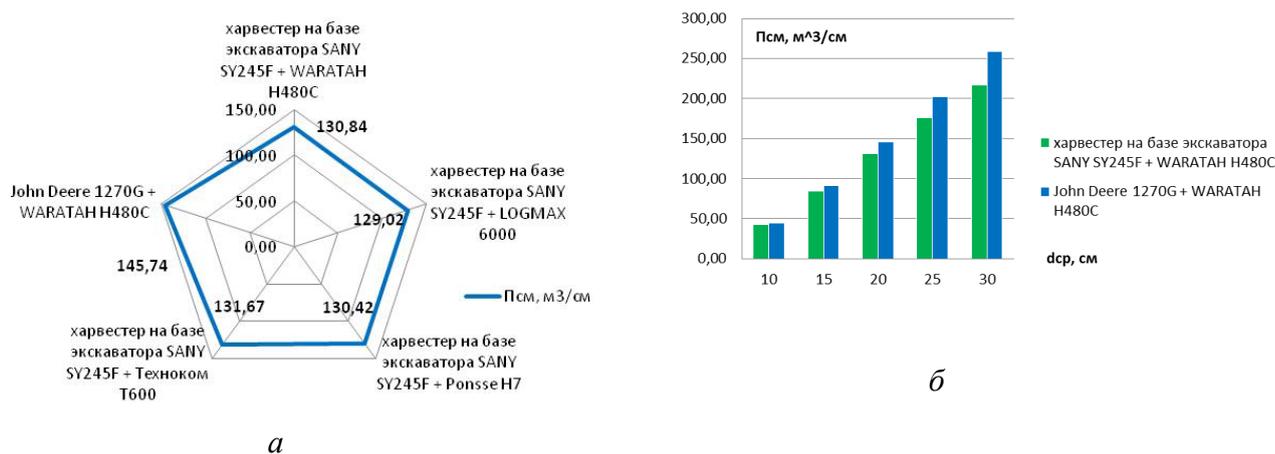


Рисунок 2. Сменная производительность ($P_{см}$): *a* — харвестеров на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F с разными харвестерными головками и John Deere 1270G при $V_{хл} = 0,26 м^3$, *б* — харвестера на базе экскаватора SANY SY245F и John Deere 1270G

Fig. 2. Output per shift ($P_{см}$): (a) harvesters based on the SANY SY245F crawler excavator with different harvester heads and John Deere 1270G at $V_{hl} = 0,26 м^3$, (b) harvesters based on the SANY SY245F and John Deere 1270G excavator

На основе проведённого анализа установлено изменение значений коэффициента технологической эффективности, при этом максимальные значения $K_{мэ} = 0,638$ и $0,647$ достигаются при $V_{хл} = 0,36$ и $0,53 \text{ м}^3$ и чистом времени работы $7,5$ ч и 9 ч соответственно. Уменьшение значений коэффициента $K_{мэ}$ в других условиях ($V_{хл}$) позволяет констатировать снижение эффективности работы харвестера под влиянием дополнительных природно-производственных факторов, основным из которых являются потери времени при выполнении незапланированных операций. Оценка работы харвестера посредством критерия $K_{мэ}$ позволяет оценить, насколько фактическая эффективность лесозаготовительной машины соответствует её возможностям, что, в свою очередь, позволит выявить проблемные места и провести мероприятия для совершенствования технологического процесса её работы, в т. ч. повышения производительности техники и снижения затрат на её эксплуатацию.

4. Обсуждение и заключение

Анализ показал, что харвестеры китайского производства, в частности на базе гусеничного экскаватора SANY SY245F, по эффективности вполне конкурентоспособны с лесозаготовительными машинами других зарубежных производителей. Достоинства: достаточно высокая производительность, доступность, простота конструкции базовой машины и т. д. Недостатки: повышенный расход топлива, недостаточная защита остекления кабины, перегрев масла в гидравлической системе, операторами отмечаются и другие конструктивные особенности. Стоит отметить, что при анализе эффективности рассмотренных харвестеров не принимались во внимание надёжность и ремонтпригодность машин, что, несомненно, является важным фактором при выборе лесозаготовительной техники и требует проведения отдельных исследований.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о вполне реальных предпосылках к использованию харвестеров на базе китайских гусеничных экскаваторов (например, SANY SY245F) на лесозаготовках в нашей стране, которые вполне эффективны при проведении лесосечных работ и являются прямыми конкурентами продукции компании «АМКОДОР» и подержанных лесозаготовительных машин зарубежного производства.

Список литературы

1. Обоснование направлений совершенствования лесозаготовительных машин / В. И. Скрыпник, А. В. Кузнецов, А. С. Васильев [и др.]. Петрозаводск: ООО «Verso», 2016. 93 с.
2. Кузнецов А. В., Галактионов О. Н. Анализ производства лесозаготовительных машин в России // Инженерный вестник Дона. Ростов н/Д., 2023. С. 712—722.
3. ООО «Карелия Палп». URL: <http://karjalapulp.com/> (дата обращения: 12.08.2023). Текст: электронный.
4. АО «Кондопожское лесопромышленное хозяйство» (КЛПХ). URL: <http://klpkh.com/> (дата обращения: 12.08.2023). Текст: электронный.

5. Харвестерная головка Т600 — первая в России реальная альтернатива европейским брендам // Журнал «ЛПК Сибири». URL: <https://lpk-sibiri.ru/logging/harvester-heads/harvesternaya-golovka-t600-pervaya-v-rossii-realnaya-alternativa-evropeyskim-brendam/?ysclid=1fnw3hgino292636735> (дата обращения: 12.08.2023). Текст: электронный.
6. Анисимов Г. М., Котиков В. М., Куликов М. И. Лесотранспортные машины. М.: Экология, 1997. 448 с.
7. Кнороз В. И., Астров И. П. Оценка проходимости колёсных машин // Труды НАМИ. 1973. Вып. 142. С. 66—76.
8. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Кузнецов А. В. Анализ показателей работы и оценка эффективности лесозаготовительных машин в различных природно-производственных условиях // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. 2010. № 4. С. 66—75.
9. Производство лесосечных работ: Технология и техника / И. Р. Шегельман, В. И. Скрыпник, А. В. Питухин [и др.]. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2015. 366 с.
10. Apafaián A. I., Proto A. R., Borz S. A. Performance of a mid-sized harvester-forwarder system in integrated harvesting of sawmill, pulpwood and firewood // Ann. For. 2017. Res. 60 (2). P. 227—241. DOI: 10.15287/afr.2017.909.
11. Eriksson M., Lindroos O. Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets // International Journal of Forest Engineering. 2014. No. 25 (3). P. 179—200. DOI: 10.1080/14942119.2014.974309.
12. Расчёт эксплуатационных затрат лесосечных машин / Ю. Ю. Герасимов, К. Н. Сибиряков, С. Л. Мошков [и др.]. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии, 2009. 46 с.

References

1. Skrypnik V. I., Kuznetsov A. V., Vasilyev A. S., Sapozhkov D. V., Zaitsev V. G. *Justification of directions for improving forestry machines*. Petrozavodsk, Verso LLC, 2016. 93 p. (In Russ.)
2. Kuznetsov A. V., Galaktionov O. N. Analysis of the production of forestry machines in Russia. *Engineering Bulletin of the Don*. Rostov-on-Don, 2023, pp. 712—722. (In Russ.)
3. Karelia Pulp LLC. Available at: <http://karjalapulp.com/> (date accessed: 08.12.2023). Text. Image: electronic. (In Russ.)
4. JSC «Kondopoga timber industry» (KLPK). Available at: <http://klpkh.com/> (date accessed: 08.12.2023). Text. Image: electronic. (In Russ.)
5. Harvester head T600 — the first real alternative to European brands in Russia. *Journal «LPK Siberia»*. Available at: <https://lpk-sibiri.ru/logging/harvester-heads/harvesternaya-golovka-t600-pervaya-v-rossii-realnaya-alternativa-evropeyskim-brendam/?ysclid=1fnw3hgino292636735> (date accessed: 08.12.2023). Text. Image: electronic. (In Russ.)
6. Anisimov G. M., Kotikov V. M., Kulikov M. I. *Forest transport vehicles*. Moscow, Ecology, 1997. 448 p. (In Russ.)
7. Knoroz V. I., Astrov I. P. Assessment of the cross-country ability of wheeled vehicles. *Proceedings of NAMI*, 1973, release 142, pp. 66—76. (In Russ.)
8. Shegelman I. R., Skrypnik V. I., Kuznetsov A. V. Analysis of performance indicators and assessment of the efficiency of logging machines in various natural and production conditions. *Scientific notes of Petrozavodsk State University. Series: Natural. and Tech. Sciences*, 2010, no. 4, pp. 66—75. (In Russ.)
9. Shegelman I. R., Skrypnik V. I., Pitukhin A. V., Galaktionov O. N. *Production of logging works: Technology and equipment*. Petrozavodsk, PetrSU Publishing House, 2015. 366 p. (In Russ.)

10. Apafaian A. I., Proto A. R., Borz S. A. Performance of a mid-sized harvester-forwarder system in integrated harvesting of sawmill, pulpwood and firewood. *Ann. For.*, 2017, res. 60 (2), pp. 227—241. doi: 10.15287/afr.2017.909.
11. Eriksson M., Lindroos O. Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering*, 2014, no. 25 (3), pp. 179—200. doi: 10.1080/14942119.2014.974309.
12. Gerasimov Yu. Yu., Sibiryakov K. N., Moshkov S. L., Vällky E., Karvinen S. *Calculation of operating costs of logging machines*. Joensuu, Finnish Forest Research Institute, 2009. 46 p. (In Russ.)

© Кузнецов А. В., Гайда А. А., 2024