

К вопросу о моделировании расхода топлива форвардеров

К.П. Рукомойников ^a, Е.М. Царев ^b, С.Е. Анисимов ^c, Н.И. Томилова ^d

Поволжский государственный технологический университет пл. Ленина, 3, Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия

^a RukomojnikovKP@volgatech.net, ^b CarevEM@volgatech.net, ^c AnisimovSE@volgatech.net ^d natin.2010@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-9956-5081>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-5695-3028>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-3332-0927>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-7333-2618>

Статья поступила 01.04.2021, принята 20.05.2021

В настоящее время на лесозаготовительных и лесохозяйственных предприятиях страны отсутствуют единые нормы обоснования расхода топливно-энергетических ресурсов при использовании современных машин и механизмов. Это создает сложности при прогнозировании затрат и учете объемов использованного топлива. Материалы, изложенные в статье, ставят своей задачей показать результаты экспериментального обоснования расхода топливных ресурсов при трелевке сортиментов форвардерами, произведенными в различных странах. Расчеты, реализованные по полученным опытным путем показателям, предусматривали анализ затрат дизельного топлива на один кубометр собранной, стрелеванной и выгруженной на погрузочном пункте древесины на каждом этапе производственного эксперимента. Получены математические модели расхода топлива форвардерами. Факторными признаками в них являются размерные характеристики обрабатываемых на лесосеках деревьев и расстояния их трелевки до погрузочных площадок. В работе демонстрируются результаты производственных испытаний и результаты обработки полученных значений с поиском статистических закономерностей между факторными и результативными признаками. Сделан вывод о значимости коэффициента детерминации моделей. Обработка результатов экспериментальных исследований в программе статистика с проверкой статистической значимости коэффициентов уравнения регрессии показывает, что значения коэффициентов уравнений для всех анализируемых форвардеров по модулю больше их стандартных ошибок. Следовательно, каждый из использованных в моделях коэффициентов оказывает существенное влияние на результативный признак. Созданные математические модели могут применяться при планировании расходов лесозаготовительных и лесохозяйственных предприятий в аналогичных природно-производственных условиях. Полученные результаты внедрены в производство.

Ключевые слова: трелевка, бревно, производственный эксперимент, форвардер, норма расхода топлива.

To the question of modeling the fuel consumption of forwarders

K.P. Rukomojnikov, E.M. Tsarev, S.E. Anisimov, N.I. Tomilova

Volga State University of Technology; 3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, Republic of Mari El

^a RukomojnikovKP@volgatech.net, ^b CarevEM@volgatech.net, ^c AnisimovSE@volgatech.net ^d natin.2010@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-9956-5081>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-5695-3028>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-3332-0927>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-7333-2618>

Received 01.04.2021, accepted 20.05.2021

Currently, logging and forestry enterprises in the country do not have uniform standards for justifying the consumption of fuel and energy resources when using modern machines and mechanisms. This creates difficulties in forecasting costs and accounting for the volume of fuel used. The materials presented in the article aim to show the results of an experimental substantiation of the consumption of fuel resources when skidding logs by forwarders produced in different countries. The calculations were carried out on the basis of the experimental indicators provided for the analysis of diesel fuel costs per cubic meter of wood collected, skidded and unloaded at the loading point at each stage of the production experiment. Mathematical models of fuel consumption by forwarders have been obtained. Their factorial features are the dimensional characteristics of the trees processed at the felling sites and the distance of their skidding to the loading sites. The paper demonstrates the results of production tests, and the results of processing the obtained values with the search for statistical regularities between the factorial and the effective indicators. The conclusion about the significance of the coefficient of determination of the models is made. Processing the results of experimental studies in the program "statistics" with checking the statistical significance of the coefficients of the regression equation shows that the modules of the values of the coefficients of the equations for all the analyzed forwarders are greater than the values of their standard errors. Consequently, each of their coefficients has a significant impact on the effective feature. The created mathematical models can be used in planning the costs of logging and forestry enterprises in similar natural production conditions. The obtained results have been introduced into production.

Keywords: skidding, log, production experiment, forwarder, fuel consumption rate.

Введение. Одним из важных аспектов использования всех лесозаготовительных машин в России и за рубежом является планирование расхода топлива и смазочных материалов в ходе проектирования деятельности предприятий, а также анализа правомерности его списания при подготовке отчетности для налоговых органов [1]. В настоящее время лесная промышленность РФ все более переходит к технологии сортиментной заготовки лесоматериалов у пня [2-4]. О развитии этой технологии и модернизации используемой для этого техники свидетельствуют многие источники информации. Исследования в данной области показывают, что в различных древостоях показатели расхода энергетических ресурсов лесными машинами для трелевки бревен колеблются в пределах от 46 до 70 процентов [5-7] в общей доле затрат на разработку лесосек, что особенно актуально при освоении ветровальных, заболоченных, низкобонитетных лесных площадей [8]. В условиях стремления промышленности РФ к переходу на импортозамещающие технологии и оборудование в лесопромышленном комплексе, а также с учетом повсеместного роста цен на топливно-энергетические ресурсы анализ затрат на составляющие эффективного использования отечественной и зарубежной лесной техники приобретает все большую актуальность.

Методы и методология исследования. В настоящее время в Российской Федерации отсутствуют официальные нормативы для списания топлива лесохозяйственными и лесозаготовительными предприятиями при использовании современных технических средств [9]. Подобные нормативы были установлены ранее Приказом Рослесхоза в 1999 году [10], однако эти устаревшие нормативные документы не предусматривают требований к расчету аналогичных показателей для современных машин, задействованных на лесосеках.

Целью настоящего исследования является попытка научного обоснования расхода топлива на примере экспериментальных исследований работы форвардеров с созданием математических моделей для различных представителей этого типа технических средств.



Рис. 1. Фрагмент эксперимента. Заполнение топливного бака ТБ-1-16М

Для реализации поставленной цели исследований в реальных производственных условиях были проведены

экспериментальные исследования на базе различных форвардеров. Анализировалась работа форвардеров различных стран. При экспериментальных исследованиях использовались форвардеры: Амкодор-2682, Коматсу 840, ТБ-1М-16А. Анализ расхода топлива форвардеров осуществлялся на территории учебно-опытного лесхоза Поволжского государственного технологического университета (г. Йошкар-Ола).

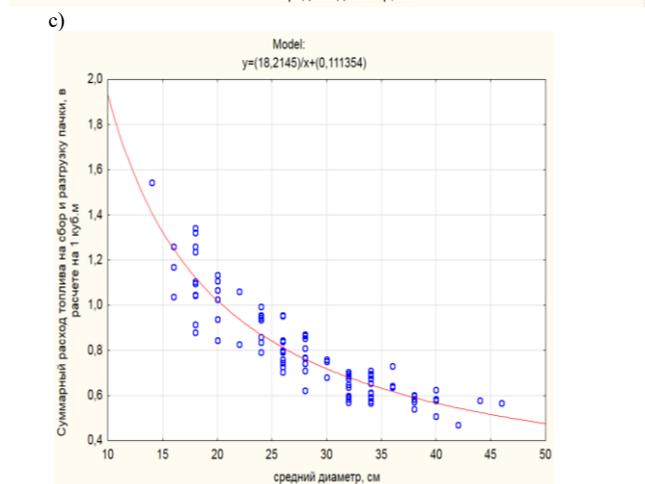
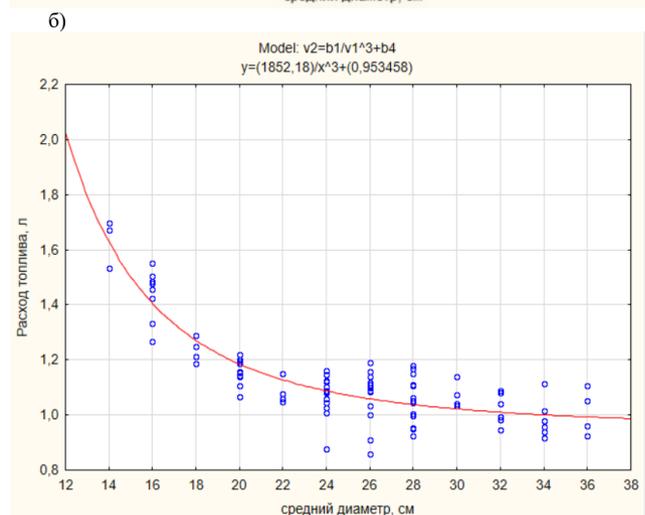
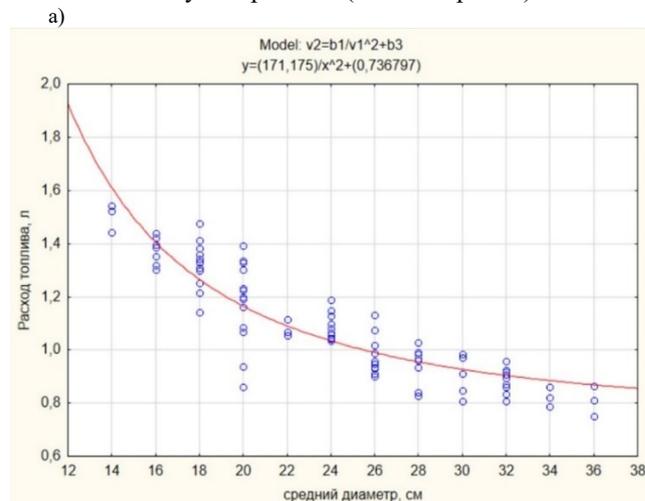


Рис. 2. Экспериментальные результаты суммарного расхода топлива на сбор и разгрузку пачки лесоматериалов в расчете на 1 м³: а) форвардер Амкодор-2682; б) форвардер Коматсу 840; в) форвардер ТБ-1-16М

Каждое новое наблюдение сопровождалось пополнением топливного бака форвардера до уровня горловины. Такой метод исследования известен как объемный метод реализации эксперимента [11]. Фиксация объема пополнения топливного бака осуществлялась мерным стаканом емкостью 1 литр и ценой деления 0,1 литр (рис.1).

В процессе выполнения наблюдений фиксировались следующие параметры: расстояние трелевки бревен, средний диаметр деревьев, объем пачки бревен, затраты дизельного топлива на сбор, трелевку, выгрузку бревен и холостой ход к месту сбора новой группы лесоматериалов.

Особое внимание в ходе экспериментальных исследований было уделено размерным характеристикам деревьев и дальности транспортировки бревен на нескольких анализируемых лесосеках. Анализ расхода топлива осуществлялся с учетом средних диаметров заготавливаемых бревен в трелеваемых пачках. Расчеты, реализованные по полученным опытным путем показателям, предусматривали анализ затрат дизельного

топлива в расчете на один кубометр собранной, стрелеванной и выгруженной на погрузочном пункте древесины на каждом этапе производственного эксперимента.

Обработка результатов наблюдений осуществлялась в соответствии с нормативными требованиями [12-14].

Результаты исследования. Выявленные в ходе производственного эксперимента значения расхода топлива при сборе и разгрузке пачек бревен показаны на рис.2. Каждая точка на графике соответствует одному из результатов наблюдений за машиной.

Обработка результатов экспериментальных исследований в программе статистика (табл.1.) с проверкой статистической значимости коэффициентов уравнения регрессии показывает, что значения коэффициентов уравнений регрессии для всех анализируемых форвардеров по модулю больше их стандартных ошибок. Показатель Р- значение каждого коэффициента модели не превышает уровня значимости 0,05. Следовательно, каждый из коэффициентов оказывает существенное влияние на результативный признак.

Таблица 1. Проверка статистической значимости коэффициентов математических зависимостей

Коэффициент	Значение коэффициента	Стандартная ошибка	t-статистика	Р-значение	Нижняя граница (95%)	Верхняя граница (95%)
для Амкодор-2682:						
k1	171,18	8,898	19,2	0,00	153,5	188,9
k2	0,74	0,02	35,4	0,00	0,7	0,8
для Коматсу 840						
k1	1852,18	98,51	18,8	0,00	1656,4	2047,9
k2	0,95	0,02	78,9	0,00	0,93	0,98
для ТБ-1-16М						
k1	18,2	0,838	21,7	0,00	16,7	19,9
k2	0,11	0,03	3,34	0,00	0,05	0,18

В ходе эксперимента получены результаты с достоверной вероятностью 0,95 у полученных закономерностей. При этом коэффициент детерминации во всех полученных закономерностях был выше 0,8. Этот показатель позволил прийти к выводу о высокой степени зависимости показателей расхода топлива от размеров перемещаемых бревен. Значимость коэффициентов детерминации полученных зависимостей доказана в ходе дисперсионного анализа при сопоставлении расчетного значения критерия Фишера с критическим значением этого показателя. В связи с этим принято решение об адекватности полученных закономерностей, построенных по выборочным данным, генеральным данным всей совокупности.

Выполненные исследования позволили с уровнем надежности 95% выявить диапазоны варьирования средних значений расхода топлива форвардеров при их холостых и грузовых перемещениях по лесосеке в расчете на трелевку одного кубометра древесины на расстоянии один метр. Указанные диапазоны различны в зависимости от анализируемой модели форвардера и находятся для анализируемых колесных форвардеров Амкодор-2682 и Коматсу 840 в пределах от 0,0011 до 0,0012, а для гусеничного форвардера ТБ-1М-16 в пределах от 0,0012 до 0,0013 .

Дальнейший анализ показателей, полученных в ходе наблюдения за переместительными операциями форвардеров (P2) и суммирование выявленных результатов с объемными характеристиками расхода топлива при наблюдении за погрузочно-разгрузочными работами при стационарном положении форвардеров (P1) позволил прийти к следующим математическим зависимостям в расчете на один кубометр заготовленной продукции у различных трелевочных машин для трелевки бревен:

для Амкодор-2682:

$$P = P1 + P2 = \left(\frac{k1}{d^2} + k2 \right) + k3 \cdot L_T \\ = \frac{171,18}{d^2} + 0,74 + 0,00115 \cdot L_T;$$

для Коматсу 840

$$P = P1 + P2 = \left(\frac{k1}{d^3} + k2 \right) + k3 \cdot L_T \\ = \frac{1852,18}{d^3} + 0,95 + 0,00115 \cdot L_T;$$

для ТБ-1-16М

$$P = P1 + P2 = \left(\frac{k1}{d} + k2 \right) + k3 \cdot L_T$$

$$= \frac{18,2}{d} + 0,11 + 0,00125 \cdot L_T.$$

где P – суммарный показатель расхода топлива на всех технологических операциях по сбору трелевки и выгрузке бревен форвардерами, $\frac{\text{л}}{\text{м}^3}$; $P1$ – расхода топлива при сборе и выгрузке пачки бревен, $\frac{\text{л}}{\text{м}^3}$; $P2$ – расход топлива при трелевке и холостом ходе форвардеров, $\frac{\text{л}}{\text{м}^3}$; d – средний диаметр, см; L_T – среднее расстояние трелевки бревен форвардерами, м.

Обсуждение результатов. Результаты получены при сравнительном анализе работы нескольких форвардеров в одинаковых условиях местности. Авторы предполагают, что полученные закономерности могут быть интересны для научных исследователей, лесопромышленных и лесохозяйственных предприятий, использующих в производственном процессе подобную современную лесозаготовительную технику. Комплексный анализ форвардеров, произведенных в различных странах, позволяет считать, что итоги работы могут быть полезны на лесопромышленных предприятиях разных стран.

Исследования, предусматривающие подробный анализ расхода топлива современных лесосечных машин, проводятся во многих странах [15]. В частности, исследование работы 18 форвардеров (6 моделей), реализованные в Австрии [16] в 2004 - 2008 годах, показывают средние значения расхода дизельного топлива в размере 11,1 л/ч. Шведские исследователи [17] утверждают, что средний расход топлива при трелевке бревен составляет 0,94 л/м³. В Швеции с 1985 по 2005 годы в связи с развитием лесных машин зафиксировано постепенное уменьшение средних затрат дизельного топлива с 2,5 л/м³ до 1,7 л/м³ [18, 19]. В Южной Африке [20] топливно-энергетические затраты составили 13,45 л/ч.

Анализ исследований других ученых позволяет провести сравнение полученных результатов и прийти к выводу о том, что найденные новые закономерности не противоречат более ранним выводам. Значения показателей расхода топлива, обоснованные авторами

публикации, и аналогичные численные показатели, определенные другими учеными для других подобных машин, находятся в одинаковом диапазоне варьирования. К примеру, результаты, указанные в [21], наглядно демонстрируют читателю, что в условиях движения порожнего форвардера расход топлива находится в пределах от 0,23 до 0,38 литров на 100 метров, а затраты топлива груженого форвардера в расчете на пачку бревен в 1,1 раза выше этого значения. Сопоставление двух разных источников информации и перевод значений к одноименным единицам измерения позволяет сделать вывод о непротиворечивости найденных значений.

Некоторые отличия в результирующих показателях различных исследований можно объяснить различием в моделях исследуемых форвардеров, условиями местности, различием погодных условий на лесных участках разных стран и рядом других факторов [22]. Повышение уровня адекватности результатов возможно путем ввода в математические зависимости расчета топливных показателей машины дополнительных повышающих или понижающих коэффициентов в зависимости от сложности условий работы на той или иной территории.

В то же время, в отличие от проведенных ранее исследований, предложенные в данной работе математические зависимости не только предоставляют исследователям возможность определить средний расход топлива, но и позволяют проследить влияние на этот показатель ряда других факторов, что выгодно отличает предложенные зависимости от большинства полученных ранее результатов.

Заключение. Полученные в процессе экспериментальных работ математические зависимости позволили выявить расходы топлива форвардеров в ходе выполнения лесохозяйственных работ в различных древостоях Республики Марий Эл. Авторы предполагают, что использование полученных закономерностей на других лесопромышленных и лесохозяйственных предприятиях РФ также обеспечит возможность эффективного планирования будущих производственных затрат и создаст условия математически обоснованного контроля топливно-энергетических ресурсов предприятий.

Литература

1. Рукмојников К.П., Купцова В.О., Сергеева Т.В. Математическая модель расхода топлива форвардера «Амкодор-2682» при выполнении лесохозяйственных работ // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2020. № 6. С. 148-158.
2. Рукмојников К.П. Совершенствование технологии лесосечно-лесовосстановительных работ с использованием форвардера: дис. ... канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2002. 158 с.
3. Мохирев А.П., Мамматов В.О. Модель технологического процесса работы форвардера // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 9-3 (20-3). С. 328-332.
4. Мохирев А.П., Мамматов В.О., Уразаев А.П. Моделирование технологического процесса работы лесозаготовительных машин // Междунар. научные исследования. 2015. № 3 (24). С. 72-74.
5. Pandur Z., Šušnjar M., Bačić M., Lepoglavec K., Nevečeral H., Đuka A. Fuel Consumption of Forwarders in Lowland Forests of Pedunculate Oak *SEEFOR* 9 (1): 73-80; Article ID: 198. URL: <https://doi.org/10.15177/seeфор.18-07> Online: 18 Jun 2018;18
6. Pandur Z., Horvat D., Šušnjar M., Šarac Z. Može li se komercijalni Fleet Management Sustav koristiti u praćenju rada i istraživanjima forvardera? *Nova mehanizacija šumarstva* 2009. 30 (1). P. 11-17,19.
7. Vaatainen K., Liiri H., Asikainen A., Sikanen L., Jylha P., Rieppo K., Nuutinen Y., Ala-Fossi A. Korjureiden ja Korjuuketjun simulointi ainespuun korjuusa. *Metlan työraportteja* 48. 2007. 78 P. 21.
8. Голякевич С.А. Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесозаготовительных машин // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-технической конф. (26-28 апр.

- 2017 г.). Минск: Белорус. гос. технологический ун-т. 2017. С. 64-68.
9. О введении в действие метод. рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте»: распоряжение Минтранса России от 14.03.2008 N AM-23-р (ред. от 20.09.2018): действует с 20.09.2018.
 10. Нормы расхода горюче-смазочных материалов на механизированные работы, выполняемые в лесном хоз-ве: утверждены приказом Рослесхоза от 13 сент. 1999 г. № 180. 124 с.
 11. Рукомойников К.П., Купцова В.О. Обоснование норм расхода топлива многооперационных лесозаготовительных машин на примере харвестера // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2020. № 3. С. 117-127.
 12. ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. Введ. 01.01.1981. М.: Изд-во стандартов, 1991. 18 с.
 13. ГОСТ Р 8.563-2009. Гос. система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. Введ. 15.12.2009. М.: Стандартинформ, 2019. 16 с.
 14. ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017. Стат. методы. Стат. представление данных. Ч. 4. Выявление и обработка выбросов: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 авг. 2017 г. № 865-ст. М.: Стандартинформ, 2017. 48 с.
 15. Favreau J., Gingras J.F. An analysis of harvesting costs in eastern Canada. Forest Engineering Research Institute of Canada, Special Report SR. 1998. P. 129, 13.
 16. Holzleitner F., Stampfer K., Ghaffariyan M.R., Visser R. Economic benefits of long term forestry machine data capture: Austrian Federal Forest case study. In: Formec 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment, 11-14 July 2010, Padova, Italy, 2010. 8 p.
 17. Athanassiadis D. Energy consumption and exhaust emissions in mechanised timber harvesting operations in Sweden. Sci Total Environ 255 (1-3). 2000. p. 137-145.
 18. Johansson A. Forestry Costs and Revenues 2000, A year of storms and floods. Forestry Research Institute of Sweden, Results nr. 4, Uppsala, Sweden. 2001; 15.
 19. Löfroth C., Rådström L. Fuel consumption in forestry continues to fall. Results from Skogforsk 3. 2006; 16.
 20. Ackerman P., Williams C., Ackerman S., Nati C. Diesel consumption and carbon balance in South African pine clear-felling CTL Operations: a preliminary case study. Croat J Forest Eng 38 (1). 2017 P. 65-72, 11.
 21. Nordfjell T., Athanassiadis D., Talbot B. Fuel consumption in forwarders. Int J Forest Eng 14 (2). 2003. P. 11-20, 17.
 22. Suvinen A. Economic Comparison of the Use of Tyres, Wheel Chains and Bogie Tracks for Timber Extraction. Croat J Forest Eng 27 (2). 2006. P. 81-102, 20.
 4. Mohirev A.P., Mammadov V.O., Urazaev A.P. Modeling of the technological process of logging machines // International scientific researches. 2015. № 3 (24). P. 72-74.
 5. Pandur Z., Šušnjar M., Bačić M., Lepoglavec K., Nevečerel H., Đuka A. Fuel Consumption of Forwarders in Lowland Forests of Pedunculate Oak SEEFOR 9 (1): 73-80; Article ID: 198. URL: <https://doi.org/10.15177/seeфор.18-07> Online: 18 Jun 2018;18.
 6. Pandur Z., Horvat D., Šušnjar M., Šarac Z. Može li se komercijalni Fleet Management Sustav koristiti u praćenju rada i istraživanjima forvardera? Nova mehanizacija šumarstva 2009. 30 (1). P. 11-17, 19.
 7. Vaatainen K., Liiri H., Asikainen A., Sikanen L., Jylha P., Rieppo K., Nuutinen Y., Ala-Fossi A. Korjureiden ja Korjuuketjun simulointi ainespuun korjuusa. Metlan työraportteja 48. 2007. 78 P. 21.
 8. Golyakevich S.A. Energy aspects of functioning of multi-operational logging machines. Belarussian State Technological University: problemy i resheniya: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoy konf. (26-28 apr. 2017 g.). Minsk: Belorus. gos. tekhnologicheskij un-t. 2017. P. 64-68.
 9. On the implementation of the methodological recommendations "Norms of fuel consumption and lubricants for road transport": rasporyazhenie Mintransa Rossii ot 14.03.2008 N AM-23-r (red. ot 20.09.2018): dejstvuet s 20.09.2018.
 10. Consumption rates of fuels and lubricants for mechanized work performed in forestry: utverzhdenny prikazom Rosleskhoza ot 13 sent. 1999 g. № 180. 124 p.
 11. Rukomojnikov K.P., Kupcova V.O. Substantiation of Fuel Consumption Rates of a Harvester // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2020. № 3. P. 117-127.
 12. GOST 24026-80. Research tests. Experiment planning. Terms and definitions. Vved. 01.01.1981. M.: Izd-vo standartov, 1991. 18 p.
 13. GOST R 8.563-2009. State system for ensuring uniformity of measurements. Methods (methods) of measurement. Vved. 15.12.2009. M.: Standartinform, 2019. 16 p.
 14. GOST R ISO 16269-4-2017. Statistical methods. Statistical data presentation. Part 4. Detection and treatment of emissions: utverzhdenn i vveden v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 10 avg. 2017 g. № 865-st. M.: Standartinform, 2017. 48 p.
 15. Favreau J., Gingras J.F. An analysis of harvesting costs in eastern Canada. Forest Engineering Research Institute of Canada, Special Report SR. 1998. P. 129, 13.
 16. Holzleitner F., Stampfer K., Ghaffariyan M.R., Visser R. Economic benefits of long term forestry machine data capture: Austrian Federal Forest case study. In: Formec 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment, 11-14 July 2010, Padova, Italy, 2010. 8 p.
 17. Athanassiadis D. Energy consumption and exhaust emissions in mechanised timber harvesting operations in Sweden. Sci Total Environ 255 (1-3). 2000. P. 137-145.
 18. Johansson A. Forestry Costs and Revenues 2000. A year of storms and floods. Forestry Research Institute of Sweden, Results nr. 4, Uppsala, Sweden. 2001; 15.
 19. Löfroth C., Rådström L. Fuel consumption in forestry continues to fall. Results from Skogforsk 3. 2006 16.
 20. Ackerman P., Williams C., Ackerman S., Nati C. Diesel consumption and carbon balance in South African pine clear-felling CTL Operations: a preliminary case study. Croat J Forest Eng 38 (1). 2017 P. 65-72, 11.
 21. Nordfjell T., Athanassiadis D., Talbot B. Fuel consumption in forwarders. Int J Forest Eng 14 (2). 2003. P. 11-20, 17
 22. Suvinen A. Economic Comparison of the Use of Tyres, Wheel Chains and Bogie Tracks for Timber Extraction. Croat J Forest Eng 27 (2). 2006. P. 81-102, 20. 2.

References

1. Rukomojnikov K.P., Kupcova V.O., Sergeeva T.V. A mathematical model of fuel consumption for the forwarder amkodor-2682 when performing forestry operations // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2020. № 6. P. 148-158.
2. Rukomojnikov K.P. Improvement of the technology of forest cutting and forest recovery works with the use of forwarder: dis. ... kand. tekhn. nauk. Joshkar-Ola, 2002. 158 p.
3. Mohirev A.P., Mammadov V.O. Model of the technological process of work of the forwarder // Aktual'nye napravleniya nauch. issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. V. 3. № 9-3 (20-3). P. 328-332.