

УДК 630*78; 62-97/-98

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-148-158

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСХОДА ТОПЛИВА ФОРВАРДЕРА «АМКОДОР-2682» ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ

К.П. Рукомойников, д-р техн. наук, доц.; ResearcherID: [N-6961-2019](https://orcid.org/0000-0002-9956-5081),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9956-5081>

В.О. Купцова, соискатель; ResearcherID: [AAY-9130-2020](https://orcid.org/0000-0002-4330-0594),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4330-0594>

Т.В. Сергеева, соискатель; ResearcherID: [AAY-9142-2020](https://orcid.org/0000-0002-6367-8340),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6367-8340>

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3,
г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424000;

e-mail: RukomojnikovKP@volgatech.net, vika13244@rambler.ru, sergeeva2010t@mail.ru

Одной из задач при планировании и практическом использовании форвардеров в России и за рубежом является обоснование затрат на топливо и смазочные материалы. Решение данной проблемы приобретает все более важное значение в связи с ростом цен на топливно-энергетические ресурсы. Доля затрат на топливные ресурсы составляет в разных природно-производственных условиях от 46 до 70 %. Это связано с наличием лесосек с различными характеристиками породного состава. В настоящее время существуют нормы расхода горюче-смазочных материалов на механизированные работы, выполняемые в лесном хозяйстве, однако в них отсутствуют нормативные инструкции по расчету топлива для современных лесосечных машин, занятых на трелевке. Существуют базовые нормы расхода топлива, масла, смазок для разных марок отечественных и зарубежных легковых автомобилей, грузовиков, автобусов, но и в них нет информации о лесозаготовительной технике. Цель предлагаемого исследования – показать расход топлива форвардера «Амкодор-2682» при заготовке сортиментов в природно-климатических условиях Республики Марий Эл. Поставленная цель достигнута путем проведения экспериментов с использованием объемного метода пополнения топливного бака машины в конце рабочего цикла. Экспериментальные исследования сопровождались фиксацией диаметров вырубаемых деревьев и их объемов. Топливный бак форвардера заполнялся до горловины и осуществлялась обработка участка пасеки с трелевкой одной пачки лесоматериалов. После выполнения каждой операции лесосечных работ при сборе сортиментов (холостой ход, сбор пачки сортиментов, грузовой ход, разгрузка пачки сортиментов) производилась остановка машины, заполнение топливного бака с точной фиксацией объема заправляемого топлива. Обработка данных позволила получить регрессионную модель, характеризующую средний расход топлива форвардера «Амкодор-2682» при различных диаметрах вырубаемого древостоя. Использование полученных результатов в лесном хозяйстве облегчит планирование и расчет эксплуатационных затрат трелевочной техники.

Для цитирования: Рукомойников К.П., Купцова В.О., Сергеева Т.В. Математическая модель расхода топлива форвардера «Амкодор-2682» при выполнении лесохозяйственных работ // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 148–158. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-148-158

Ключевые слова: трелевка, сортимент, норма расхода топлива, форвардер, математическая модель, лесозаготовка.

Введение

Расчет себестоимости сортиментов на территории России при их заготовке с использованием комплекта машин «харвестер – форвардер» показывает, что доля затрат на топливные ресурсы составляет в разных природно-производственных условиях от 46 до 70 %. Это связано с наличием лесосек с различными характеристиками породного состава, необходимостью освоения значительных площадей ветровальных, заболоченных, низкобонитетных и буреломных лесных участков [1].

Результаты научных исследований и экспериментов указывают на существование значительных расхождений в показателях расхода топлива на трелевке сортиментов в различных странах, что вызывает целесообразность обоснования подобных нормативов для лесных участков на территории России. В частности, по оценкам авторов [16], расход топлива форвардера при движении холостым ходом колеблется в пределах от 0,23 до 0,38 л на 100 м, а расход топлива при его движении в грузовом направлении на 10 % выше по сравнению с порожним форвардером. Согласно результатам этих исследований, средний расход топлива форвардером составляет 13,3 л/ч при сплошных рубках и 10,5 л/ч при выборочных рубках, 61...62 % топлива расходуется во время погрузки и вождения нагруженного форвардера.

Изучение расхода топлива системы машин «харвестер – форвардер» осуществлялось в разных странах [12]. В Австрии изучена работа 18 форвардеров (6 моделей) за период с 2004 по 2008 г. [13]. Установлено, что средний расход топлива составил 11,1 л/ч. В то же время в исследованиях шведских авторов [11] утверждается, что в Швеции средний расчетный расход топлива форвардерами 0,94 л/м³ заготовленной древесины. В этой стране отмечены постепенное развитие техники и снижение среднего расхода топлива с 2,5 до 1,7 л/м³ в период с 1985 по 2005 г. [14, 15]. По результатам, полученным при работе форвардера в Южной Африке [10], расход топлива составляет 0,38 л/м³, или 13,45 л/ч. Согласно исследованиям [19], крутая местность, особенно при грузовом ходе форвардера, значительно увеличивает расход топлива.

Следует отметить, что приказом Рослесхоза [6] в 1999 г. введены нормы расхода горюче-смазочных материалов на механизированные работы, выполняемые в лесном хозяйстве, однако в них отсутствуют нормативные инструкции по расчету топлива для современных лесосечных машин, используемых на трелевке. В действующем распоряжении Минтранса России от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р введены в действие базовые нормы расхода топлива, масла, смазок для разных марок отечественных и зарубежных легковых автомобилей, грузовиков, автобусов [7], но и в них нет информации о лесозаготовительной технике.

Ряд лесопромышленных предприятий решают проблему учета расхода топлива установкой на трелевочной технике специальных датчиков [5, 17], однако применение этого варианта позволяет лишь справиться с задачей отчетности за использованное топливо при его списании, но не решает вопрос о планируемом расходе топлива при расчете проектируемых затрат будущих периодов на освоение отводимых в рубку лесосек.

По опыту лесозаготовителей Финляндии приближенные затраты на топливо обосновываются при подведении итогов удельного фактического

расхода топлива за год, предшествующий расчетному, или по нормативам, указанным в документации на технику [9, 20]. Однако данная методика не применима согласно законодательству Российской Федерации и не может быть использована при проектировании новых предприятий.

Подводя итог вышесказанному, можно отметить значительный разброс данных предыдущих исследований расхода топлива форвардера в различных лесных районах. Соглашаясь с тем, что расход топлива в значительной мере зависит от условий использования трелевочной техники, учитывая отсутствие норм расхода топлива на большинство современных трелевочных машин отечественного и зарубежного производства и необходимость планирования затрат будущих периодов, можно сделать вывод об актуальности рассматриваемой проблемы.

Объекты и методы исследования

Цель предлагаемого исследования – показать расход топлива форвардера «Амкодор-2682» при заготовке сортиментов в природно-климатических условиях Республики Марий Эл. Разработка математической модели, показывающей изменения расхода топлива при трелевке сортиментов на различных лесосеках республики, позволит проводить обоснованное списание топлива при составлении сметы расходов на освоение лесных участков и осуществлять эффективное планирование расходов будущих периодов.

Для реализации эксперимента и оценки потребления топлива форвардером был выбран объемный метод пополнения бака в конце рабочего цикла машины [8]. При экспериментальных исследованиях выполнялись выборочные рубки с заготовкой сортиментов длиной 6 м. Стаж операторов составлял более 3 лет. На рис. 1 представлено проведение производственных испытаний в учебно-опытном лесхозе Поволжского государственного технологического университета Республики Марий Эл.

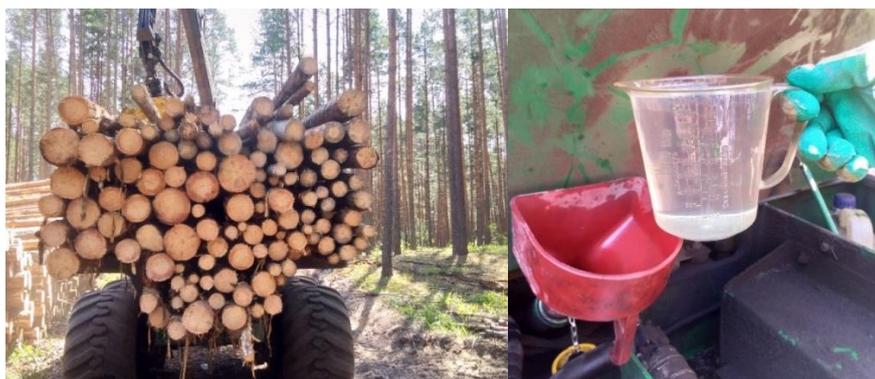


Рис. 1. Производственные испытания обоснования расхода топлива форвардера «Амкодор-2682»

Fig. 1. Performance tests of fuel consumption justification for the forwarder Amkodor-2682

Топливный бак форвардера заполнялся до горловины и осуществлялась обработка участка пасеки с трелевкой одной пачки лесоматериалов. Фиксировались диаметр деревьев в месте спиливания по результатам замеров пней и

диаметр заготовленных сортиментов. После выполнения каждой операции лесосечных работ при сборе сортиментов (холостой ход, сбор пачки, грузовой ход, разгрузка пачки) осуществлялись остановка машины, заполнение топливного бака с точной фиксацией объема заправляемого топлива. В ходе производственного эксперимента выполнена трелевка 90 пачек сортиментов. Эксперимент проводился на нескольких лесных участках с преобладанием сосновых и березовых насаждений.

В отсутствие установленного на машине датчика расхода топлива, в ходе эксперимента осуществлялась визуальная фиксация его уровня мерной емкостью с ценой деления 0,1 л. Этот вариант, являясь наиболее дешевым, но трудоемким по сравнению с вариантом установки специализированного датчика расхода топлива, в то же время позволяет достичь необходимой точности результатов. Демонстрация возможности использования подобного принципа сбора экспериментальных данных особенно актуальна для предприятий, не предусматривающих установку на форвардере дополнительного специализированного фиксирующего оборудования. Результаты замеров расхода топлива фиксировались по форме, демонстрирующей последовательность сбора результатов эксперимента (табл. 1).

Таблица 1

**Табличная форма для фиксации результатов наблюдений
за работой форвардера «Амкодор-2682»**

№ пачки	Расстояние трелевки, м	Средний диаметр, см	Объем трелеваемой пачки, м ³	Расход топлива на пачку, л				Расход топлива на 1 м ³ , л/м ³						
				на сбор пачки	на разгрузку пачки	на холостой ход	на грузовой ход	на сбор	на разгрузку	на холостой ход	на грузовой ход	суммарный на сбор и разгрузку пачки в расчете на 1 м ³	суммарный на грузовой и холостой ход в расчете на трелевку 1 м ³ на 1 м	суммарный на 1 м ³
1	120	26	12,4	8,0	3,6	0,7	0,9	0,65	0,29	0,05	0,08	0,94	0,0011	1,06
...														

Приведенный выше анализ результатов научных исследований работы различных форвардеров позволил сделать вывод о целесообразности оказания особого внимания размерным характеристикам древостоя и расстоянию трелевки. Наиболее доступной для фиксации размерной характеристикой обраба-

тываемых деревьев является их диаметр, который и был выбран для последующего использования при моделировании. Этот показатель находится в тесной корреляционной связи с объемными показателями предмета труда. При необходимости использования в модели других корреляционно связанных с диаметром размерных характеристик древостоя она может быть легко преобразована к новому виду.

В отличие от выполненных ранее исследований по анализу расхода топлива форвардеров [16, 18], учитывавших расход топлива в комплексе на холостой ход, сбор и грузовой ход при трелевке пачек сортиментов, с последующим составлением многофакторной модели, методика проведения эксперимента была разделена на две части:

1) анализ расхода топлива при сборе сортиментов и выгрузке их в штабель на погрузочном пункте без учета части операций технологического процесса, связанных с холостым и грузовым ходом машины. Этот этап позволяет выделить влияние размерных характеристик предмета труда вне зависимости от расстояния трелевки;

2) анализ расхода топлива при холостом и грузовом ходе машины в процессе выполнения операции по трелевке сортиментов. Этап предназначен для оценки влияния расстояния трелевки пачек без влияния на результативный признак размерных характеристик лесоматериалов.

Использование подобного варианта сбора экспериментальных данных приводит к значительному увеличению объема работы наблюдателей, однако позволяет получить наиболее точные результаты влияния отдельных факторных признаков на результативный признак при детальном анализе каждого из них и составлении двух однофакторных моделей, сочетание которых дает нужный результат.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты эксперимента представлены в виде точечного графика (рис. 2), на который нанесены значения расхода топлива форвардера «Амкодор-2682» в зависимости от среднего диаметра вырубаемых на лесосеке деревьев.

В ходе обработки экспериментальных данных по ГОСТам [2–4] при реализации первой части анализа получили регрессионную модель, характеризующую средний расход топлива при различных диаметрах вырубемого древостоя в результате выполнения операций по сбору и выгрузке сортиментов форвардером без учета операций, связанных с трелевкой лесоматериалов:

$$P_1 = \frac{171,18}{d^2} + 0,74,$$

где P_1 – расход топлива при сборе и разгрузке пачки, л; d – средний диаметр деревьев, см.

Модель может быть использована при средних диаметрах деревьев обрабатываемых лесосек в пределах от 14 до 36 см.

Эффективность использования модели по отношению к реальным данным на сборе и разгрузке пачки сортиментов, без учета затрат на холостой и грузовой ход при трелевке, может быть проанализирована при изучении графика функции (рис. 2).

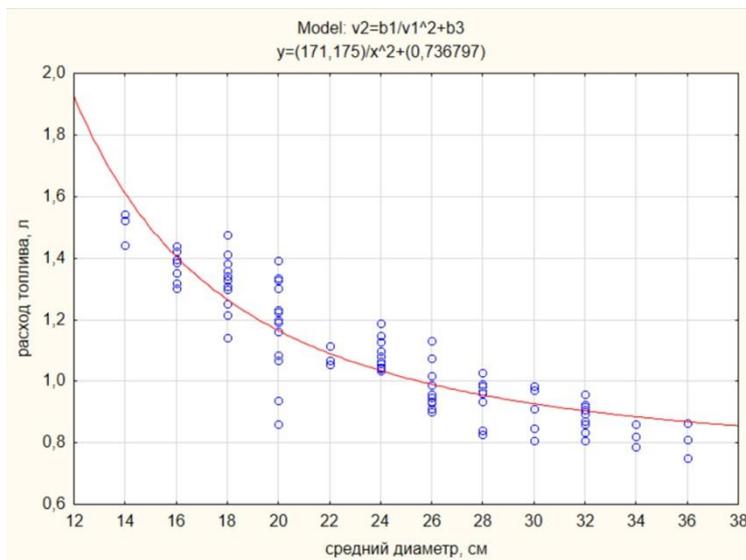


Рис. 2. Результаты производственного эксперимента

Fig. 2. Test results performance

Результаты получены с доверительной вероятностью 0,95. Множественный коэффициент детерминации $R^2 = 0,81$, что свидетельствует о высокой доле влияния размерных характеристик предмета труда на расход топлива машины.

При проверке адекватности математической модели сделан вывод о значимости коэффициента детерминации, так как найденное значение уровня значимости меньше 0,05.

Анализ показателей полученного решения, представленный на рис. 3, с учетом значений статистической значимости коэффициентов модели и размеров их доверительных интервалов, дает возможность предположить с уровнем надежности 95 %, что средний расход топлива форвардера при сборе и выгрузке сортиментов находится в следующих пределах:

$$\left[\frac{153,49}{d^2} + 0,7; \frac{188,86}{d^2} + 0,78 \right].$$

Значения, попадающие в этот диапазон, могут быть приняты за норматив при определении расхода топлива.

	Estimate	Standard error	t-value	p-value	Lo. Conf Limit	Up. Conf Limit
b1	171,1751	8,898407	19,23660	0,00	153,4914	188,8588
b3	0,7368	0,020817	35,39327	0,00	0,6954	0,7782

Рис. 3. Проверка статистической значимости коэффициентов уравнения регрессии

Fig. 3. Checking the statistical significance of the regression coefficients

Видно, что значение коэффициентов уравнения регрессии по модулю больше их стандартных ошибок. Показатель P-value каждого коэффициента модели не превышает уровня значимости 0,05. Следовательно, каждый из них оказывает существенное влияние на результирующий признак.

Обработка экспериментальных данных, связанных с анализом расхода топлива при холостом и грузовом ходе форвардера в процессе трелевки сортиментов, основывалась на определении среднего расхода топлива на трелевку сортиментов объемом 1 м^3 на расстояние 1 м. Согласно экспериментальным данным этот показатель составил $0,0011 \text{ л}/(\text{м} \cdot \text{м}^3)$. Итоги расчета показателей описательной статистики, выполненного на основе результатов эксперимента, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет показателей описательной статистики

Статистический показатель	Суммарный расход топлива на грузовой и холостой ход форвардера, $\text{л}/(\text{м} \cdot \text{м}^3)$
Среднее	0,00114
Стандартная ошибка	0,000026
Медиана	0,001102
Стандартное отклонение	0,00025
Дисперсия выборки	0,00000006
Эксцесс	-0,2788
Асимметричность	0,4168
Интервал	0,0012
Уровень надежности (95,0 %)	0,00005
Расчетное минимальное число наблюдений	75

Анализ показателей полученного решения дает возможность предположить с уровнем надежности 95 %, что средний расход топлива лесосечной машины при холостом и грузовом ходе в расчете на трелевку 1 м^3 сортиментов на расстояние 1 м находится в следующих пределах:

$$[0,0011; 0,0012].$$

Значения, попадающие в этот диапазон, могут быть приняты за норматив при определении расхода топлива при холостом и грузовом ходе форвардера.

Среднее арифметическое значение близко к медиане выборки, что говорит в пользу нормальности закона распределения случайной величины.

По форме гистограмма (рис. 4) относительно хорошо описывается теоретической нормальной кривой. По критерию Колмогорова–Смирнова уровень значимости больше 0,2. Следовательно, гипотеза о нормальности экспериментальных данных не отвергается. По критерию Шапиро–Уилка уровень значимости больше 0,05, что также не противоречит гипотезе о нормальности.

Таким образом, расход топлива при трелевке сортиментов может быть описан дополнительно введенным в определенную выше формулу параметром, показывающим влияние расстояния трелевки на конечный расход топлива:

$$P_2 = 0,00115L_m,$$

где P_2 – расход топлива при выполнении операции трелевки сортиментов без учета расхода топлива на сбор и выгрузку сортиментов, л; L_M – среднее расстояние трелевки лесоматериалов, м.



Рис. 4. Гистограмма, полученная по результатам наблюдений за расходом топлива при грузовом и холостом ходе форвардера

Fig. 4. Histogram based on the results of observations of fuel consumption during hauling and idling of the forwader

Тогда общий расход топлива

$$P = P_1 + P_2;$$

$$P = \frac{171,18}{d^2} + 0,74 + 0,00115L_M, \quad (1)$$

где P – общий расход топлива с учетом всех операций по сбору, трелевке и разгрузке лесоматериалов на погрузочном пункте, л.

Для увеличения адекватности математической модели существует возможность ввода в нее различных повышающих коэффициентов, зависящих от сложности работы на различных участках. Это могут быть варианты работы при низкой температуре окружающей среды, работы со стажером, работы на холмистых лесных участках и т. п.

Заключение

В результате выполненных экспериментальных исследований получена математическая зависимость (1), которая позволяет обосновать расход топлива форвардера «Амкодор-2682» при различных размерных характеристиках древостоев Республики Марий Эл и не может быть использована при анализе эксплуатационной эффективности других моделей трелевочных машин. Применение полученных результатов в лесном хозяйстве даст возможность облегчить планирование и расчет эксплуатационных затрат трелевочной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Голякевич С.А. Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесозаготовительных машин // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017. Минск: БГТУ, 2017. С. 64–68. [Golyakevich S.A. Energy Aspects of Functioning of Multi-Operational Logging Machines. *Logging Production: Problems and Solutions. Proceedings of the International Scientific and Engineering Conference, Minsk, April 26–28, 2017.* Minsk, BSTU Publ., 2017, pp. 64–68].
2. ГОСТ 24026–80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. Введ. 1981-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1991. [State Standard. *GOST 24026-80. Research Tests. Experiment Planning. Terms and Definitions.* Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1991].
3. ГОСТ Р 8.563–2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. Введ. 2010-04-15. М.: Стандартиформ, 2019. [State Standard RF. *GOST R 8.563-2009. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Procedures of Measurements.* Moscow, Standartinform Publ., 2019].
4. ГОСТ Р ИСО 16269-4–2017. Статистические методы. Статистическое представление данных. Ч. 4. Выявление и обработка выбросов: утв. и введ. в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 10 августа 2017 г. № 865-ст. Введ. 2018-12-01. М.: Стандартиформ, 2017. [State Standard RF ISO. *GOST R ISO 16269-4-2017. Statistical Methods. Statistical Data Presentation. Part 4. Detection and Treatment of Outliers.* Approved and Came into Force by the Order of the Federal Agency on Technical Regulation and Metrology Dated August 10, 2017, No. 865-ст. Moscow, Standartinform Publ., 2017].
5. Иванов А.С., Морозов О.А. Определение расхода топливно-смазочных материалов и выработки тракторов Джон Дир в условиях Тюменской области // Науч. журн. КубГЛУ. 2017. № 133(04). С. 402–410. [Ivanov A.S., Morozov O.A. Rationing of Fuel-Lubricants Consumption and Productivity of Tractors by John Deere in the Tyumen Region. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific Journal of KubSAU], 2017, no. 133(04), pp. 402–410]. DOI: [10.21515/1990-4665-133-032](https://doi.org/10.21515/1990-4665-133-032)
6. Приказ Рослесхоза от 13.09.1999. № 180. «Нормы расхода горюче-смазочных материалов на механизированные работы, выполняемые в лесном хозяйстве». 124 с. [Order of the Federal Forestry Agency Dated September 13, 1999, No. 180 “Consumption Rates of Fuel and Lubricants for Mechanized Work Performed in Forestry”. 124 p.].
7. Распоряжение Минтранса России от 14.03.2008 № АМ-23-р (ред. от 20.09.2018) О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте»: в ред. распоряжений Минтранса России от 14.05.2014 № НА-50-р, от 14.07.2015 № НА-80-р, от 06.04.2018 № НА-51-р, от 20.09.2018 № ИА-159-р. [Decree of the Ministry of Transport of the Russian Federation Dated March 14, 2008, No. АМ-23-р: On the Implementation of the Methodological Guidelines “Consumption Rates of Fuel and Lubricants for Road Transport”].
8. Рукомойников К.П., Купцова В.О. Обоснование норм расхода топлива многооперационных лесозаготовительных машин на примере харвестера // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 3. С. 117–127. [Rukomojnikov K.P., Kuptcova V.O. Substantiation of Fuel Consumption Rates of a Harvester. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 3, pp. 117–127]. DOI: [10.37482/0536-1036-2020-3-117-127](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-3-117-127), URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/694/117_127.pdf
9. Сюнев В.С., Соколов А.П., Коновалов А.П., Катаров В.К., Селиверстов А.А., Герасимов Ю.Ю., Карвинен С., Вяльккю Э. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии МЕТЛА, 2008. 126 с. [Syunev V.S., Sokolov A.P., Konovalov A.P., Katarov V.K., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu., Karvinen S., Vyal'kkyu E. *Comparison of Logging*

Technologies in Timber Companies of the Republic of Karelia. Joensuu, METLA Publ., 2008. 126 p.].

10. Ackerman P.A., Williams C., Ackerman S., Nati C. Diesel Consumption and Carbon Balance in South African Pine Clear-Felling CTL Operations: A Preliminary Case Study. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2017, vol. 38, no. 1, pp. 65–72.

11. Athanassiadis D. Energy Consumption and Exhaust Emissions in Mechanized Timber Harvesting Operations in Sweden. *Science of The Total Environment*, 2000, vol. 255, iss. 1-3, pp. 135–143. DOI: [10.1016/S0048-9697\(00\)00463-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00463-0)

12. Favreau J., Gingras J.F. *An Analysis of Harvesting Costs in Eastern Canada*. Special Report No. SR-129. Pointe-Claire, Forest Engineering Research Institute of Canada, 1998. 8 p.

13. Holzleitner F., Stampfer K., Ghaffariyan M.R., Visser R. Economic Benefits of Long Term Forestry Machine Data Capture: Austrian Federal Forest Case Study. *Proceedings of the 43th International Symposium on Forestry Mechanisation: "Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment"*, Padova, Italy, July 11–14, 2010. Padova, FORMEC, 2010. 8 p.

14. Johansson A. *Forestry Costs and Revenues 2000. A Year of Storms and Floods*. Results nr. 4. Uppsala, Forestry Research Institute of Sweden, 2001.

15. Löfroth C., Rådström L. *Fuel Consumption in Forestry Continues to Fall*. Results from Skogforsk 3. 2006.

16. Nordfjell T., Athanassiadis D., Talbot B. Fuel Consumption in Forwarders. *International Journal of Forest Engineering*, 2003, vol. 14, iss. 2, pp. 11–20. DOI: [10.1080/14942119.2003.10702474](https://doi.org/10.1080/14942119.2003.10702474)

17. 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, vol. 30(1), pp. 11–17.

18. Pandur Z., Šušnjar M., Bačić M., Lepoglavec K., Nevečerel H., Đuka A. Fuel Consumption of Forwarders in Lowland Forests of Pedunculate Oak. *SEEFOR*, vol. 9, no. 1, pp. 73–80, art. 198. DOI: [10.15177/seefor.18-07](https://doi.org/10.15177/seefor.18-07)

19. Suvinen A. Economic Comparison of the Use of Tyres, Wheel Chains and Bogie Tracks for Timber Extraction. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2006, vol. 27, iss. 2, pp. 81–102.

20. Vaatainen K., Liiri H., Asikainen A., Sikanen L., Jylha P., Rieppo K. et al. Korjuureiden ja Korjuuketjun simulointi ainespuun korjuusa. *Metlan työraportteja*, 2007, vol. 48. 78 p.

A MATHEMATICAL MODEL OF FUEL CONSUMPTION FOR THE FORWARDER AMKODOR-2682 WHEN PERFORMING FORESTRY OPERATIONS

K.P. Rukomojnikov, Doctor of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [N-6961-2019](https://orcid.org/0000-0002-9956-5081),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9956-5081>

V.O. Kuptcova, External PhD Student; ResearcherID: [AAY-9130-2020](https://orcid.org/0000-0002-4330-0594),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4330-0594>

T.V. Sergeeva, External PhD Student; ResearcherID: [AAY-9142-2020](https://orcid.org/0000-0002-6367-8340),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6367-8340>

Volga State University of Technology, pl. Lenin, 3, Yoshkar-Ola, 424000, Mari El Republic, Russian Federation; e-mail: RukomojnikovKP@volgatech.net, vika13244@rambler.ru, sergeeva2010t@mail.ru

Cost justification of fuel and lubricants is high on the agenda of planning and practical use of forwarders in Russia and abroad. The problem solution is becoming increasingly important due to rising prices for fuel and energy resources. The share of costs for fuel resources ranges from 46 to 70 % in different natural and industrial conditions. This is due to the presence of cutting areas with different characteristics of the species composition. Currently, there are consumption rates for fuel and lubricants for mechanized work performed in forestry. However, they lack regulatory guidelines for calculating the fuel of modern logging machines used in skidding. There are basic standards for consumption of fuel, oil, and lubricants for different brands of domestic and foreign cars, trucks, and buses, but they also have no information on forestry equipment. The research purpose was to show the fuel consumption for the forwarder Amkodor-2682 when harvesting assortments in the climatic conditions of the Mari El Republic. The purpose was achieved through experiment using the volumetric method of refilling the machine fuel tank at the end of the operation cycle. The studies were provided with fixing the diameters and volumes of the felled trees. The forwarder fuel tank was filled to the top of the tank filler. Processing of the swath site was carried out with skidding of one pack of logs. The machine was stopped and the fuel tank was filled in after each operation of logging (idling, bundle assembling, hauling, bundle unloading). The amount of fuel in the tank was accurately fixed each time. Processing the data allowed us to obtain a regression model. This model characterizes the average fuel consumption for the forwarder Amkodor-2682 at different diameters of felled trees. Using the obtained results in forestry will make it easier to plan and calculate the operating costs of skidding equipment.

For citation: Rukomojnikov K.P., Kuptcova V.O., Sergeeva T.V. A Mathematical Model of Fuel Consumption for the Forwarder Amkodor-2682 When Performing Forestry Operations. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 148–158. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-148-158

Keywords: skidding, assortment, fuel consumption rate, forwarder, mathematical model, logging.

Поступила 24.07.19 / Received on July 24, 2019
