

УДК 630*78:62-97/-98

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-117-127

ОБОСНОВАНИЕ НОРМ РАСХОДА ТОПЛИВА МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ПРИМЕРЕ ХАРВЕСТЕРА

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

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424000; e-mail: RukomojnikovKP@volgatech.net, vika13244@rambler.ru

Целью исследования являлось обоснование показателей расхода дизельного топлива при осуществлении рубок валочно-сучкорезно-раскряжевочной машиной Silvatec 8266TH на лесных участках Республики Марий Эл. Поставленная цель достигнута путем проведения экспериментальных исследований с использованием объемного метода пополнения бака машины в конце рабочего цикла. Экспериментальные исследования сопровождались фиксацией диаметров вырубаемых деревьев и их объемов. После вырубki каждой из указанных групп деревьев осуществлялась остановка машины, заполнение топливного бака до горловины с точной фиксацией объема заправляемого топлива. Обработка экспериментальных данных позволила получить регрессионную модель, характеризующую средний расход топлива при различных диаметрах вырубаемого древостоя. Анализ найденного решения дал возможность установить, что средний расход топлива харвестера Silvatec 8266TH, работающего на лесных участках учебно-опытного лесхоза Поволжского государственного технологического университета, зависит от среднего диаметра вырубаемых деревьев. Множественный коэффициент детерминации R^2 данной нелинейной модели составил 0,73. Полученная математическая зависимость может быть использована на лесопромышленных предприятиях для приближенного быстрого расчета норм расхода в отсутствие действующих нормативов с целью обоснования объемов списываемого топлива, а также для расчета проектной себестоимости заготавливаемой продукции при организации новых лесопромышленных предприятий и освоении новых лесных участков.

Для цитирования: 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. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-117-127

Ключевые слова: валочно-сучкорезно-раскряжевочная машина, лесозаготовка, регрессионная модель, нормы расхода топлива, затраты энергии, сортиментная заготовка.

Введение

В настоящее время в России и за рубежом все большее развитие получает технология машинной заготовки леса с использованием современных многооперационных лесозаготовительных машин (харвестеров) отечественного и импортного производства [2, 9, 11, 15, 17, 19, 25], что говорит об актуальности решения вопросов, связанных с использованием данной техники в России.

В себестоимости заготовленных сортиментов при работе комплекта машин харвестер+форвардер значительную долю затрат (от 46 до 70 %) составляют затраты на топливные ресурсы. Колебания этого показателя обусловлены

наличием лесных участков с различными характеристиками породного состава древостоев, а также существованием ветровальных, заболоченных, низкобонитетных и буреломных лесосек на арендуемых территориях [5]. Удельный расход топлива у харвестеров на рубках главного пользования колеблется в различных природно-производственных условиях лесосек в пределах от 0,493 до 2,87 л/м³ [14].

Распоряжением от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р специалистами Минтранса России введены в действие базовые нормы расхода топлива, масла, смазок для разных марок отечественных и зарубежных легковых автомобилей, грузовиков, автобусов. В документе приведены значения базовых, транспортных и эксплуатационных норм расхода топлива для автомобильного подвижного состава, норм расхода топлива на работу специальных автомобилей, порядок применения норм, формулы и методы расчета нормативного расхода топлива при эксплуатации, справочные нормативные данные по расходу смазочных материалов и специальных жидкостей, значения зимних надбавок и др. [16]. Нормы для лесозаготовительной техники в этом распоряжении отсутствуют. Для расчета индивидуальных норм на лесозаготовительную технику необходима своя методика.

Существуют нормы [13], утвержденные приказом Рослесхоза, но в них отсутствуют нормативы на выполнение лесосечных работ при заготовке леса машинным способом. В Белоруссии разработаны нормы расхода топлива на многооперационную лесозаготовительную технику, используемую на лесных предприятиях Республики Беларусь [14], однако данные экспериментальных исследований указывают на возможность значительных расхождений реальных величин расхода топлива в лесах различных районов [5], что вызывает необходимость разработки аналогичных нормативов для лесных участков на территории РФ.

Минфин России рекомендует по транспортным средствам, на которые нормы не установлены, использовать сведения, прописанные в технической документации (письмо Минфина России от 4 мая 2005 г. № 03-03-01-04/1/223), либо руководители предприятий могут вводить в действие своим приказом нормы, разработанные в установленном порядке научными специализированными организациями, осуществляющими разработку таких норм по специальной программе-методике ОАО «НИИАТ». В итоге возникает необходимость обращения в специализированную организацию, которая рассчитывает базовые, транспортные и эксплуатационные нормы в зависимости от условий эксплуатации. Однако профильные организации отказываются проводить подобные расчеты по лесозаготовительной технике, работа которой характеризуется значительным разнообразием условий, мотивируя это тем, что методика ОАО «НИИАТ» предназначена для расчета базовых норм расхода топлива транспортных средств, передвигающихся по дорогам общего пользования, и не предназначена для расчета норм лесозаготовительной и другой техники, которая работает вне дорог общего пользования.

Опыт работы финских лесозаготовительных компаний показывает, что затраты на топливо и ГСМ можно установить путем определения фактических удельных расходов на 1 машино-час в среднем по году за предшествующий период или по нормам расходов отдельных моделей машин при их наличии [20, 26]. Подобные нормативы расхода топлива на большинство современной лесо-

заготовительной техники, как отечественной, так и зарубежной, в настоящее время отсутствуют, что повышает актуальность рассматриваемой проблемы.

Расход топлива при лесозаготовках имеет экономическое (затраты) [3] и экологическое (вредные выхлопные газы) [22] значение. С учетом объема заготовленной древесины он может варьироваться в зависимости от грунта и условий эксплуатации, навыков водителя, срока эксплуатации техники, нагрузки двигателя в рабочих условиях, частоты вращения двигателя, типа и технических характеристик машины [24].

Все вышесказанное вынуждает лесозаготовительные предприятия, имеющие в своем распоряжении подобную технику, воспользоваться установленной законом РФ возможностью разработки своих (альтернативных рекомендациям Минтранса) норм списания ГСМ и применять их при списании затрат на топливо и составлении сметы затрат в случае их планирования при освоении лесосек последующих периодов.

Объекты и методы исследования

Рациональная организация лесозаготовительных работ состоит в упорядочивании влияния ряда факторов, способствующих снижению расхода топлива и, следовательно, других затрат на эксплуатацию. Расход топлива зависит от взаимодействия природно-производственных факторов. Среди производственных факторов отдельно можно отметить влияние на расход топлива технических особенностей машины, характеристик ее движителя и качества ее обслуживания [4, 18, 10]. Водитель влияет на расход топлива путем использования индивидуального стиля вождения, регулярного повышения квалификации и ухода за техникой [1]. Среди природных факторов выделяют уклон местности, размеры и характеристики древостоя (объем, высота, диаметр) и разнообразие размерных характеристик заготовленной древесины.

Если для машины нет утвержденного Минтрансом норматива либо предприятие решило использовать другое значение, оно вправе рассчитать собственный норматив расхода топлива. Как правило, в такой ситуации организации действуют одним из двух способов.

Первый способ – использование сведений о расходе топлива из технической документации на машину. Однако в большинстве случаев подобная информация либо отсутствует, либо работать с такими показателями невыгодно, так как в документации к машине указывают минимальное потребление топлива при ее использовании в идеальных условиях, которые далеки от реальных.

Второй способ – создание специальной комиссии для осуществления замеров. Простейшим способом измерения расхода топлива машинами и транспортными средствами является объемный метод пополнения бака в конце рабочего цикла, рабочей операции или в конце рабочего дня. Заполнение резервуара осуществляется с помощью измерительного прибора или измерительного пистолета для точных измерений [12, 23].

На рис. 1 представлено изображение харвестера Silvatec 8266TH, использованного в производственных испытаниях с целью обоснования нормативов расхода топлива при выполнении лесосечных работ по валке, обрезке сучьев и раскряжевке лесоматериалов в учебно-опытном лесхозе Поволжского государственного технологического университета (ПГТУ) Республики Марий Эл.



Рис. 1. Харвестер Silvatec 8266TH, использованный при обосновании нормы расхода топлива на валке, обрезке сучьев и раскряжевке

Fig. 1. Silvatec 8266TH harvester used to substantiate the fuel consumption rates for felling, cutting branches and slashing

В ходе экспериментальных исследований осуществлялись выборочные рубки в смешанном древостое с преобладанием сосновых деревьев. Заготавливались сортименты длиной 6 м. Стаж операторов харвестера составлял более 3 лет. Лесосеки характеризовались средними грунтовыми условиями с движением по лесосеке и волоку с максимальным погружением колес в грунт не более 100 мм.

При экспериментальных исследованиях топливный бак харвестера заполнялся до горловины и осуществлялась обработка участка пасеки с вырубкой ограниченного числа деревьев группами до 50 деревьев. На каждом этапе эксперимента вырубались деревья, имевшие примерно одинаковый диаметр. Лишь при невозможности выборочной вырубке деревьев нужного диаметра производилась полная вырубка всех доступных с одной рабочей позиции назначенных в рубку деревьев.

Для фиксации уровня залитого в бак дизельного топлива использовался способ визуальной фиксации, как наиболее трудоемкий, но в тоже время один из самых точных для выполнения подобных замеров. Фиксация топлива осуществлялась мерной емкостью объемом 1 л с ценой делений 0,1 л (рис. 2). Экспериментальные исследования сопровождались определением диаметров вырубаемых деревьев и их расчетных объемов. После вырубке каждой из указанных групп деревьев осуществлялась остановка машины, заполнение топливного бака до горловины с точной фиксацией объема заправляемого топлива. В ходе эксперимента выполнено более 100 замеров на различных лесосеках. Использованный на практике метод ведения работ позволил наглядно продемонстрировать возможность определения показателей расхода топлива без приобретения и уста-



Рис. 2. Процесс заправки топливного бака харвестера при выполнении эксперимента

Fig. 2. Filling operation of a harvester fuel tank during the experiment

новки специализированного измерительного оборудования. Информация по разработке лесосек, связанная с определением фактического расхода топлива харвестера, на каждом участке пасеки включала в себя анализ числа вырубленных деревьев, их объемных и размерных характеристик и фиксацию расхода топлива с обоснованием его расчетного значения на 1 м³ древесины.

При обработке экспериментальных данных использовалась программа Statistica.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ существующих разработок аналогичных нормативов [14] позволяет сделать вывод, что основное внимание при создании норм расхода топлива машин, задействованных на валке деревьев, отдается размерным характеристикам древостоев с возможностью последующего ввода повышающих коэффициентов, характеризующих дополнительные сложности работы на различных лесных участках, например: работы при установившейся температуре воздуха ниже нормы, работы в режиме учебных действий со стажером, работы на лесных участках со сложным рельефом.

Исходя из этого, при обработке экспериментальных данных ставилась задача оценить влияние на расход топлива размерных характеристик вырубаемого древостоя, как легко поддающегося анализу фактора, имеющего высокую корреляционную связь с результативным признаком. Среди размерных характеристик был выбран диаметр древостоя – самый доступный для наиболее простых и точных замеров по сравнению с другими находящимися в корреляционной зависимости с ним размерными характеристиками деревьев.

Обработка экспериментальных данных, основанная на [6–8], позволила получить регрессионную модель, характеризующую средний расход топлива при различных диаметрах вырубаемого древостоя:

$$P = \frac{58,4}{\sqrt{d^3}} + 0,85,$$

где P – расход топлива, л/м³; d – средний диаметр древостоя, см.

При необходимости использования в модели других размерных характеристик обрабатываемых деревьев, например их объемных показателей, исследователь легко может воспользоваться существующими математическими зависимостями [21] для преобразования формулы.

Анализ полученного решения дал возможность с достоверностью 95 % установить, что средний расход топлива харвестера Silvatec 8266ТН, работающего на лесных участках учебно-опытного лесхоза ПГТУ, находится в пределах:

$$\left[\frac{51,1}{\sqrt{d^3}} + 0,77; \frac{65,7}{\sqrt{d^3}} + 0,92 \right].$$

Значения, попадающие в этот диапазон, могут быть приняты за норматив при определении расхода топлива. Модель получена и может быть использована при средних диаметрах деревьев обрабатываемых лесосек в пределах от 10 до 50 см, что ограничивает ее применение в других производственных услови-

ях. Эффективность использования данной модели по отношению к реальным данным может быть проанализирована при изучении графика (рис. 3).

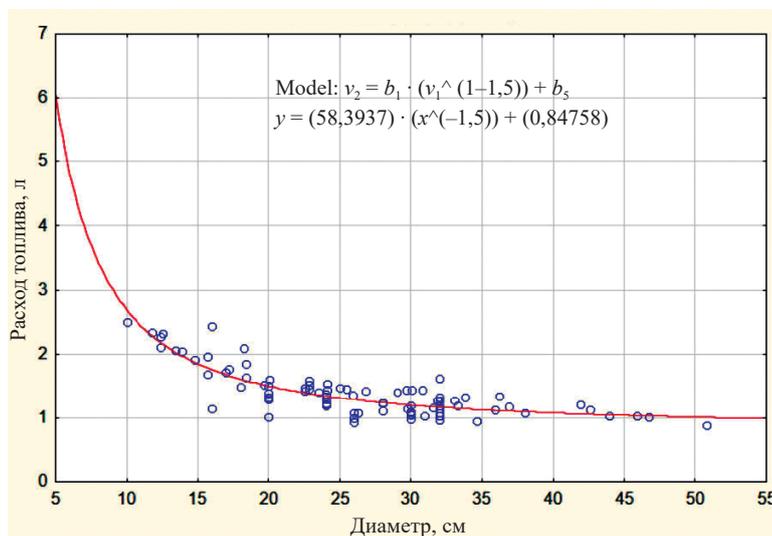


Рис. 3. График анализа точности полученной модели

Fig. 3. Accuracy analysis diagram of the resulting model

Множественный коэффициент детерминации R^2 предложенной нелинейной модели составил 0,73. Значение $R^2 > 0,7$ означает, что изменение результирующего признака в основном связано с изменением включенного в регрессионную модель факторного признака.

По мнению авторов, рост удельного расхода топлива при уменьшении среднего диаметра деревьев на лесных участках связан с увеличением числа движений манипулятора харвестера, захватов и пильного механизма харвестерной головки при заготовке каждого 1 м³ сортиментов. Нелинейный характер полученной математической зависимости полностью согласуется с известными ранее зависимостями для других лесосечных машин [13, 14].

Проверка статистической значимости коэффициентов уравнения регрессии и определение их доверительных интервалов представлены в табл. 1. Можно отметить, что все параметры (коэффициенты) уравнения регрессии $\frac{b_1}{\sqrt{d^3}} + b_5$

оказывают существенное влияние на результирующий признак, а значения коэффициентов регрессии по модулю больше их стандартных ошибок.

Таблица 1

Проверка статистической значимости коэффициентов уравнения регрессии

Коэффициент	Значение	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95 %	Верхние 95 %
b_1	58,4	3,668	15,917	0,00	51,107	65,67
b_5	0,85	0,0387	21,900	0,00	0,770	0,924

В нашем случае все точки (остатки) на нормальном вероятностном графике очень близки к линии, ожидаемой для нормально распределенных остатков (рис. 4). Систематических отклонений фактических данных от теоретической

нормальной прямой не наблюдается. Значит, остатки распределены нормально. На рис. 5 представлен сравнительный анализ предсказанных и наблюдаемых значений, позволяющий сделать вывод об адекватности полученной модели реальным производственным условиям.

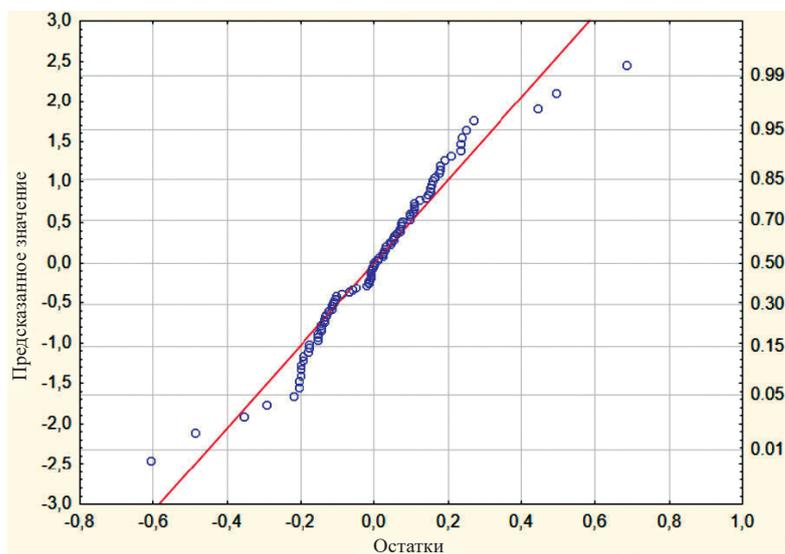


Рис. 4. Нормальный вероятностный график

Fig. 4. Normal probability plot

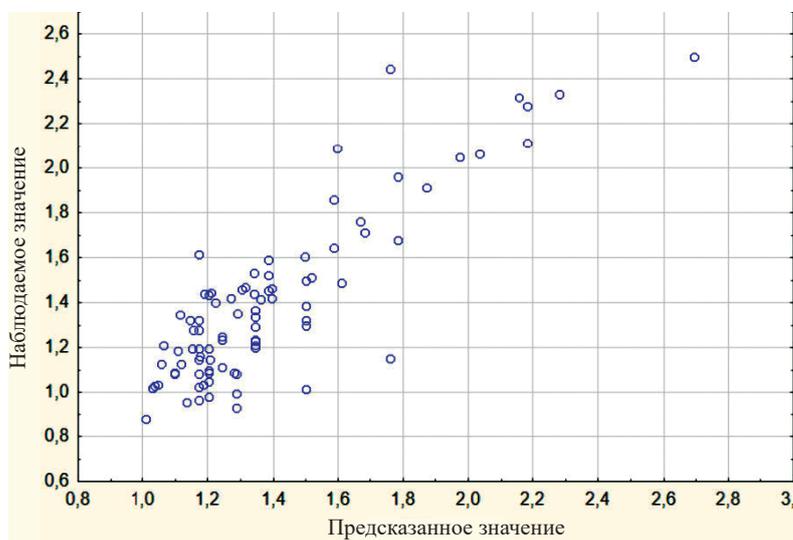


Рис. 5. Сравнение предсказанных и наблюдаемых значений

Fig. 5. Comparison of the predicted and observed values

Расчеты, осуществленные для упрощения применения на практике предложенной математической модели, позволили свести в табл. 2 граничные значения нормируемой величины, рассчитанные по верхней границе нормативного диапазона для основных размерных характеристик древостоя учебно-опытного лесхоза ПГТУ.

Таблица 2

**Нормы расхода топлива при заготовке леса харвестером Silvatec 8266 ТН
в учебно-опытном лесхозе ПГТУ**

Диаметр, см	Расход топлива, л/м ³	Диаметр, см	Расход топлива, л/м ³
12	2,52	26	1,42
14	2,19	28	1,37
16	1,96	30	1,33
18	1,79	32	1,29
20	1,67	34	1,26
22	1,57	36	1,23
24	1,49	38	1,20

Заключение

Рекомендации по нормированию расхода топлива современных лесных многооперационных машин при выполнении различных технологических операций в лесном хозяйстве дают возможность значительно облегчить планирование и расчет эксплуатационных затрат машинно-тракторных агрегатов. Полученная математическая зависимость позволила осуществить расчет нормы расхода топлива харвестера Silvatec 8266ТН при различных параметрах древостоя в смешанных древостоях на территории учебно-опытного лесхоза ПГТУ. Данная зависимость может быть использована и на других лесопромышленных предприятиях для приближенного быстрого расчета норм расхода в отсутствие действующих нормативов с целью сравнения объемов списываемого топлива с предложенным нормативом, а также для расчета проектной себестоимости заготавливаемой продукции при организации новых лесопромышленных предприятий и освоении новых лесных участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Андронов А.В., Пегов В.Ю. Исследование зависимости между расходом топлива и квалификацией оператора валочно-сучкорезно-раскряжевой машины // Актуальные вопросы в лесном хозяйстве: материалы II молодеж. междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 14–15 ноября 2018 г. СПб.: Полиграф экспресс, 2018. С. 163–166. [Andronov A.V., Pegov V.Y. Study of the Relationship between Fuel Consumption and Operator's Skill of Harvester. *The Current Issues in Forestry: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Saint Petersburg, November 14–15, 2018*. Saint Petersburg, Poligraf ekspress Publ., 2018, pp. 163–166].
2. Будник П.В., Демчук А.В. Функционально-технологический анализ харвестерной головки // Наука и бизнес: пути развития. 2012. № 9 (15). С. 36–38. [Budnik P.V., Demchuk A.V. Functional and Technological Analysis of Harvester Head. *Nauka i biznes: puti razvitiya* [Science and Business: Ways of Development], 2012, no. 9(15), pp. 36–38].
3. Герасимов Ю.Ю., Сибиряков К.Н., Мошков С.Л., Вяльккю Э., Карвинен С. Расчет эксплуатационных затрат лесосечных машин. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии (METLA), 2009. 45 с. [Gerasimov Yu.Yu., Sibiryakov K.N., Moshkov S.L., Vyalkkyu E., Karvinen S. *Calculation of Operatinal Costs of Logging Machines*. Joensuu, METLA Publ., 2009. 45 p.].
4. Голякевич С.А. Анализ эксплуатационных режимов работы многооперационных лесозаготовительных машин // Тр. БГТУ. № 2. Лесн. и деревообраб. пром-сть. 2013.

№ 2(158). С. 72–78. [Golyakevich S.A. Analysis of Operation Modes of Multifunction Logging Machines. *Trudy BGTU. № 2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Proceedings of BSTU. No. 2. Forest and Woodworking Industry], 2013, no. 2, pp. 72–78].

5. Голякевич С.А. Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесозаготовительных машин // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017 г. 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 Science and Engineering Conference, Minsk, April 26–28, 2017*. Minsk, BSTU Publ., 2017, pp. 64–68].

6. ГОСТ 24026–80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. Дата введ. 1981–01–01. Переизд. М.: Изд-во стандартов, 1991. 18 с. [GOST 24026–80. *Research Tests. Experiment Planning. Terms and Definitions*. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1991. 18 p.].

7. ГОСТ Р 8.563–2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. Дата введ. 2010–04–15. Послед. изм. 12.09.2018. М.: Стандартинформ, 2019. 15 с. [GOST R 8.563–2009. *State System for Ensuring Uniformity of Measurements. Procedures of Measurements*. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 15 p.].

8. ГОСТ Р ИСО 16269-4–2017. Статистические методы. Статистическое представление данных. Ч. 4. Выявление и обработка выбросов. Дата введ. 2018–12–01. М.: Стандартинформ, 2017. 48 с. [GOST R ISO 16269-4–2017. *Statistical Methods. Statistical Data Presentation. Part 4. Detection and Treatment of Outliers*. Moscow, Standartinform Publ., 2017. 48 p.].

9. Демчук А.В. Модернизация технологического оборудования харвестера для повышения эффективности вывозки сортиментов // Инж. вестн. Дона. 2012. Т. 20, № 2. С. 542–546. [Demchuk A.V. The Technological Equipment Modernization for the Harvester on Purpose Efficiency of Removal Assortments. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2012, vol. 20, iss. 2, pp. 542–546].

10. Дурманов М.Я., Спиридонов С.В., Михайлов О.А. Оценка часового расхода топлива лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата на стадии проектирования // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы 3-й междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 23–24 мая 2018 г. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. С. 164–167. [Durmanov M.Ya., Spiridonov S.V., Mihaylov O.A. Estimation of Fuel Consumption per Hour of a Forestry Machine-Tractor Unit at the Design Stage. *Russia's Forests: Politics, Industry, Science and Education: Proceedings of the 3rd International Science and Engineering Conference, Saint Petersburg, May 23–24, 2018*. Saint Petersburg, SPbSFTU Publ., 2018, pp. 164–167].

11. Жаденов В.С., Заикин А.Н., Лобанов В.Н., Чайка О.Р. Технологическое оборудование лесозаготовительных машин (Теория, конструкция, эксплуатация). Брянск: БГИТА, 2005. 254 с. [Zhadenov V.S., Zaikin A.N., Lobanov V.N., Chayka O.R. *Processing Equipment of Logging Machines (Theory, Construction and Operation)*. Bryansk, BGITA Publ., 2005. 254 p.].

12. Иванов А.С., Морозов О.А. Определение расхода топливо-смазочных материалов и выработки тракторов Джон Дир в условиях Тюменской области // Науч. журн. КубГАУ. 2017. № 133(09). 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, pp. 402–410]. DOI: [10.21515/1990-4665-133-032](https://doi.org/10.21515/1990-4665-133-032)

13. Нормы расхода горюче-смазочных материалов на механизированные работы, выполняемые в лесном хозяйстве: утв. приказом Рослесхоза от 13.09.1999 № 180. 124 с. [Consumption Rates of Fuel and Lubricants for Mechanized Operations Performed in Forestry. Approved by the Order of the Federal Forestry Agency No. 180 on September 13, 1999. 124 p.].

14. Нормы расхода топлива на многооперационную лесозаготовительную технику в организациях министерства лесного хозяйства и рекомендации по их применению. Минск, 2011. 50 с. [*Fuel Consumption Rates for Multi-Operation Logging Equipment in Organizations of the Ministry of Forestry and Recommendations on Their Use*. Minsk, 2011. 50 p.].
15. Пошарников Ф.В. Анализ состояния технического оснащения лесозаготовительной промышленности // Лесотехн. журн.. 2012. № 2. С. 100–105. [Posharnikov F.V. Equipment State Analysis of the Logging Industry. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2012, no. 2, pp. 100–105].
16. 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». Доступ. из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». [*Decree of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. AM-23-p on March 14, 2008: On the Implementation of the Methodological Guidelines “Consumption Rates of Fuel and Lubricants for Road Transport”*].
17. Рукомойников К.П., Ведерников С.В. Модернизация сучкорезного ножа харвестерной головки // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 1. С. 120–127. [Rukomojnikov K.P., Vedernikov S.V. Modernization of Harvester Head Delimiting Knife. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 1, pp. 120–127]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2019.1.120](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.1.120), URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/ee2/120_127.pdf
18. Симанович В.А., Исаченков В.С., Арико С.Е. Топливная экономичность колесных трелевочных тракторов с различной конструкцией технологического оборудования // Тр. БГТУ. № 2. Лесн. и деревообраб. пром-сть. 2015. № 2 (175). С. 84–88. [Simanovich V.A., Isachenkov V.S., Ariko S.E. Fuel Efficiency of Wheeled Skidder with Different Structure of Technological Equipment. *Trudy BGTU. № 2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Proceedings of BSTU. No. 2. Forest and Woodworking Industry], 2015, no. 2(175), pp. 84–88].
19. Сюнев В.С., Селиверстов А.А. Рабочие органы харвестеров: проектирование и расчет. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. 204 с. [Syunev V.S., Seliverstov A.A. *Working Bodies of Harvesters: Engineering and Design*. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2005. 204 p.].
20. 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 METLA, 2008. 126 с. [Syunev V.S., Sokolov A.P., Konovalov A.P., Katarov V.K., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu., Karvinen S., Vyalkkyu E. *Comparison of Logging Technologies in Timber Companies of the Republic of Karelia*. Joensuu, METLA Publ., 2008. 126 p.].
21. Ширнин Ю.А., Царев Е.М., Рукомойников К.П. Технология и оборудование малообъемных лесозаготовок и лесовосстановление. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. 182 с. [Shirnin Yu.A., Tsarev E.M., Rukomojnikov K.P. *Technology and Equipment for Low-Volume Logging and Reforestation*. Yoshkar-Ola, VSUT Publ., 2019. 182 p.].
22. 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, iss. 1, pp. 65–72.
23. Pandur Z., Horvat D., Šušnjar M., Šarac Z. Može li se komercijalni sustav upravljanja vozilima (FMS) koristiti u praćenju rada i istraživanjima forvardera? *Nova mehanizacija šumarstva* [Journal for theory and application of forestry engineering], 2009, vol. 30, no. 1, pp. 11–17.
24. Pandur Z., Šušnjar M., Bačić M., Lepoglavec K., Nevečerel H., Đuka A. Fuel Consumption of Forwarders in Lowland Forests of Pedunculate Oak. *SEEFOR*, 2018, vol. 9, no. 1, art. 198, pp. 73–80. DOI: [10.15177/see-for.18-07](https://doi.org/10.15177/see-for.18-07)

25. Rukomojnikov K.P., Vedernikov S.V., Gabdrahmanov M.I. A Method for Delimiting Tree-Trunks and a Device for Applying the Method. *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, vol. 16, iss. 2, pp. 263–266. DOI: [10.5937/jaes16-16442](https://doi.org/10.5937/jaes16-16442)

26. Väättäinen K., Liiri H., Asikainen A., Sikanen L., Jylhä P., Rieppo K., Nuutinen Y., Ala-Fossi A. Korjureiden ja Korjuuketjun simulointi ainespuun korjuusa. *Metlan työraportteja* [Working Papers of the Finnish Forest Research Institute], 2007, vol. 48. 78 p.

SUBSTANTIATION OF FUEL CONSUMPTION RATES OF A HARVESTER

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

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

The research purpose was to substantiate the parameters of diesel fuel consumption during felling by the feller-delimber-slasher Silvatec 8266TH in the forest area of the Mari El Republic. The goal was achieved by conducting the experimental tests using the volumetric procedure of filling the machine tank at the end of the operating cycle. The experimental research was accompanied by fixation of the diameters and volumes of the trees cut down. After cutting down each of these groups of trees, the machine was stopped. The fuel tank was filled to the filler pipe. Each time the researchers fixed the fuel volume filled. Processing of the experimental data allowed us to obtain a regression model. This model characterizes the average fuel consumption for various tree diameters. Analysis of the obtained solution made it possible to find out that the average fuel consumption of a Silvatec 8266TH harvester working in the forest areas of the scientific and experimental forestry of the Volga State University of Technology depends on the average diameter of the cut trees. The multiple coefficient of determination (R^2) of the resulting non-linear model was 0.73. The obtained mathematical dependence can be used by timber enterprises for the approximate rapid calculation of the consumption rates in the absence of running standards. Calculations can be carried out to substantiate the volume of the consumed fuel and to calculate the project cost of harvested products in the development of new forestry enterprises and new forest areas.

For citation: 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

Keywords: feller-delimber-slasher, logging, regression model, fuel consumption rates, energy consumption, cut-to-length.

Поступила 16.07.19 / Received on July 16, 2019
