УДК 630*5 DOI: 10.18324/2077-5415-2018-2-105-110

Исследование удельных затрат энергии отдельных видов машин для строительства лесовозных дорог

М.В. Коломинова

Ухтинский государственный технический университет, ул. Первомайская 13, Ухта, Республика Коми
mk1108@mail.ru
https://orcid.org/ 0000-0001-5300-7220
Статья поступила 27.02.2018, принята 30.03.2018

Основными фазами лесозаготовительного производства являются транспорт леса, лесосечные и нижнескладские работы. Транспорт леса осуществляется по лесовозным дорогам, строительство которых включает производство земляных работ, перемещение грунтов, подготовку дорожных одежд и водопропускных сооружений. Устройство лесовозных дорог для проведения второй фазы лесозаготовок непосредственно связано с использованием дорожно-строительных машин. Работы по строительству лесовозных дорог — это довольно энергоемкий процесс, важным показателем которого выступают энергозатраты. В этой связи возможность применения энергоэкономичных машин и технологий является актуальной проблемой. Целью исследования определена разработка математических моделей для расчета удельных энергозатрат машин, используемых при строительстве лесовозных дорог на подготовительных и земляных работах. Предложенные в статье формулы и расчеты важны для дорожно-строительных организаций, поскольку внедрение данных методов по обоснованию технологий дорожного строительства с минимальной энергоемкостью обеспечивает снижение себестоимости продукции. Разработанные математические модели позволяют просчитывать удельные энергозатраты по какому-либо конкретному показателю или анализировать их по ряду интересующих показателей. Графики удельных энергозатрат, построенные по данным расчетов, наглядно показывают, что именно влияет на обеспечение минимальной энергоемкости той или иной машины. В дальнейших исследованиях планируется рассчитать удельные затраты энергии при работе машин и механизмов по содержанию и эксплуатации лесовозных дорог. Также намечено осуществить экспериментальное подтверждение правильности построенных теоретических моделей удельных энергозатрат и разработать конкретные предложения для предприятий по применению тех или иных энергоэффективных дорожно-строительных машин в комплексе по всей фазе транспорта леса.

Ключевые слова: транспорт леса; дорожно-строительные машины; удельные затраты энергии.

Study of specific energy consumption of certain types of machines for logging roads construction

M.V. Kolominova

Ukhta State Technical University; 13, Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi, Russia
mk1108@mail.ru
https://orcid.org/ 0000-0001-5300-7220
Received 27.02.2018, accepted 30.03.2018

The main phases of timber harvesting are forest transport, logging and lower storage operations. Forest transportation is carried out along logging roads, the construction of which includes the production of excavation, the movement of soils, the preparation of road covers and culverts. The construction of logging roads for the second phase of logging is directly related to the use of road construction machines. Works on the construction of logging roads is a fairly energy-intensive process, an important indicator of which is energy costs. In this regard, the possibility of using energy-efficient machines and technologies is an urgent problem. The aim of the research is to develop mathematical models for calculating the specific energy consumption of machines used in the construction of logging roads in preparatory and excavation work. The formulas and calculations proposed in the article are important for road construction organizations, since the introduction of these methods to justify road construction technologies with a minimum energy intensity ensures a reduction in the cost of production. The developed mathematical models allow calculating the specific energy costs for a particular indicator or analyzing them for a number of indicators of interest. Graphs of specific energy consumption, constructed from the data of calculations, clearly show what exactly affects the provision of minimum energy intensity of a particular machine. In further studies, it is planned to calculate the specific energy costs for the operation of machines and mechanisms for the maintenance and operation of logging roads. It is also planned to carry out experimental confirmation of the correctness of the theoretical models of specific energy inputs constructed and to develop specific proposals for enterprises on the use of certain energy-efficient road-building machines in the complex throughout the entire forest transportation phase.

Key words: forest transportation; road construction machines; specific energy consumption.

Введение

Транспорту леса отводится очень важное место в цепочке лесозаготовительного производства. Осуществление лесотранспортного процесса требует наличия лесовозных дорог, обеспечивающих производительную и безопасную работу транспортных средств. Разработка

новых лесных массивов должна быть обеспечена достаточным количеством магистралей, веток и усов. При этом значительные объемы дорожного строительства требуют применения средств механизации и автоматизации строительных работ. В связи с этим изучение показателей эффективности дорожно-строительных машин (ДСМ) является очень важным вопросом [1].

Классификация производится по разным признакам, одним из которых является назначение машины. По назначению ДСМ делятся следующим образом:

1. Машины для проведения подготовительных работ: корчеватели, рыхлители, кусторезы, мульчеры.

2. Машины для земляных работ: бульдозеры, скреперы, экскаваторы, автогрейдеры.

3. Машины для уплотнения дорожных оснований, земляного полотна и дорожных покрытий: катки, трамбующие и вибрационные машины.

4. Машины для строительства водопропускных сооружений: копры, молоты, вибропогружатели, вибромолоты.

5. Машины для строительства дорожных одежд:

– со сплошным покрытием (камнедробилки, грохоты, битумовозы, автогудронаторы, цементовозы, грунтосмесительные машины);

– с колейным покрытием (плитоукладчики, щитоукладчики, дорожные транспортеры-укладчики).

6. Машины для строительства и содержания зимних дорог: снегоуплотняющие, водополивочные машины, снегоочистители, пескоразбрасыватели, шипованные катки [2].

Материалом для данной работы служат труды зарубежных и российских исследователей по технологиям и машинам для лесного хозяйства и лесозаготовок [3–17].

Методика исследования и результаты расчетов. Рассмотрим расчет удельных энергозатрат для таких ДСМ, как корчеватели, кусторезы, бульдозеры и экскаваторы.

Удельные затраты энергии (удельная энергоемкость) — это количество энергии, затрачиваемое на единицу заготовленной продукции ($м^3$) или на единицу обрабатываемой площади (*га*) [18].

Корчевальная машина КМ-1А предназначена для полосной расчистки участков от пней. Машина агрегатируется с тракторами ЛХТ-55.

Удельная энергоемкость корчевки пней, *кВт·час/га*, корчевальными машинами типа КМ-1А определяется как:

$$g_{корч.} = g_{в.} + g_{р.} + g_{х.} + g_{р.о.}, \quad (1)$$

где $g_{в.}$ — удельные затраты энергии при выдергивании пня из почвы; $g_{р.}$ — удельные затраты энергии на движение машины в процессе работы; $g_{х.}$ — удельные затраты энергии при движении машины на холостом ходу; $g_{р.о.}$ — удельные затраты энергии на движение рабочих органов машины [19]:

$$g_{в.} = C \cdot K_{в.} \cdot n_{пн.} \cdot \lambda \cdot d_{пн.} \cdot \frac{\nu}{\eta}, \quad (2)$$

$$g_{р.} + g_{х.} = C \cdot \frac{10^4}{\Delta} \cdot G_{корч.} \cdot \psi_{корч.} \cdot \frac{K_0 \cdot \nu}{\eta} \cdot (1 + m_1), \quad (3)$$

$$g_{р.о.} = C \cdot n_{пн.} \cdot A_{д.} \cdot \frac{\nu}{\eta}, \quad (4)$$

где C = 1/3600 — переводной коэффициент; $K_{в.}$ — усилие на выдергивание одного пня из почвы, *кН*; $n_{пн.}$ — число пней, выдергиваемых с 1 га, *шт./га*; $d_{пн.}$ — диаметр выдергиваемого пня в среднем, *м*; λ — породный коэффициент; ν — коэффициент увеличения энергозатрат от непроизводительных движений устройств и самой машины; η — КПД устройств, передающих энергию к рабочим органам машины, и самих рабочих органов; m_1 — отношение пути, проходимого машиной на холостом ходу, к таковому при выполнении технологической работы; K_0 — коэффициент увеличения пути при движении машины по отношению к расчетному; $A_{д.}$ — затраты энергии на доставку рабочих органов к пню и обратно в транспортное положение, *кДж*; $\psi_{корч.}$ — коэффициент сопротивления движению корчевателя с учетом сдвигания пней; $G_{корч.}$ — сила тяжести корчевателя, *кН*; Δ — ширина обрабатываемой ленты, *м*.

Кусторезы необходимы для освобождения строительных площадок от мелкого леса и кустарника. Эти машины используют при прокладке трассы дороги, а также при устройстве просек в лесных массивах, освоении новых земель и мелиоративных работах. В зимнее время кусторезы применяются для очистки автомобильных дорог от снега.

Удельная энергоемкость кусторезов, например, для кустореза-осветлителя гусеничного КОГ-2,3, *кВт·час/га*, определяется по формуле:

$$g_{куст.} = g_{ср.} + g_{р.} + g_{х.} + g_{р.о.}, \quad (5)$$

где $g_{ср.}$ — удельные затраты энергии на срезание.
В общем виде формулу (5) можно записать как:

$$g_{куст.} = C \cdot K_{ср.} \cdot n_{куст.} \cdot \lambda \cdot d_{куст.} \cdot \frac{\nu}{\eta} + C \cdot \frac{10^4}{\Delta} \cdot \cdot G_{куст.} \cdot \psi_{куст.} \cdot \frac{K_0 \cdot \nu}{\eta} \cdot (1 + m_1) + C \cdot n_{куст.} \cdot A_{д.} \cdot \frac{\nu}{\eta}, \quad (6)$$

где $K_{ср.}$ — усилие, затрачиваемое на срезание одного куста, *кН*; $n_{куст.}$ — число кустов, срезаемых с 1 га, *шт./га*; $d_{куст.}$ — диаметр срезаемого куста в среднем, *м*; $G_{куст.}$ — сила тяжести кустореза, *кН*; $\psi_{куст.}$ — коэффициент сопротивления движению кустореза.

При строительстве и ремонте дорог одними из основных работ являются перемещение грунта при устройстве выемок и насыпей, подвозка песка, гравия и других материалов для строительства полотна дорог, планировка и уплотнение грунта и строительных материалов. Для выполнения этих работ применяют бульдозеры.

Бульдозер представляет собой трактор, оснащенный отвалом с ножом, установленным спереди трактора на толкающей раме. Различают неповоротные и поворотные (универсальные) бульдозеры. В лесном хозяйстве применяют бульдозеры Б-10М на базе трактора Т-180, ДЗ-110 на базе трактора Т-130М; Д-606 на базе трактора ДТ-75М и др.

При работе бульдозера необходимо соблюдать следующее условие:

$$P_{T.} > P_R, \quad (5)$$

где $P_{T.}$ — толкающее усилие трактора, *кН*; P_R — сумма всех сопротивлений движению, *кН*:

$$P_R = P_f \pm P_\omega \pm P_i + P_a + P_{к.}, \quad (6)$$

где P_f — сила сопротивления качению, *кН*; P_ω — лобовое сопротивление движению, *кН*; P_a — динамическая сила, *кН*; P_i — составляющая от силы тяжести бульдозера $G_{б.}$, *кН*; $P_{к.}$ — сила сопротивления копанию грунта, *кН*.

Сила P_ω имеет небольшое значение, и ее обычно не учитывают. Сила P_a при установившемся движении равна нулю. Сила P_i на горизонтальном участке также равна нулю. Тогда силы сопротивления будут:

$$P_R = P_f + P_{к.}. \quad (7)$$

Сила сопротивления качению бульдозера, *кН*, определяется по формуле:

$$P_f = G_{б.} \cdot f_{к.}, \quad (8)$$

где $G_{б.}$ — сила тяжести бульдозера, *кН*; $f_{к.}$ — коэффициент трения качения.

Сила сопротивления копанию грунта, *кН*, определяется по выражению:

$$P_{к.} = P_{р.} + P_{п.в.} + P_{п.о.} + P_{тр.} + P_{д.}, \quad (9)$$

где $P_{р.}$ — сила сопротивления резанию грунта, *кН*; $P_{п.в.}$ — сила сопротивления перемещению призмы волочения перед отвалом, *кН*; $P_{п.о.}$ — сила сопротивления перемещению призмы волочения вверх по отвалу, *кН*; $P_{тр.}$ — сила трения рабочего органа о почву, *кН*; $P_{д.}$ — динамическая сила, возникающая при подрезании пласта, *кН*.

Характерной особенностью работы машины является тот факт, что ковш бульдозера перемещает грунт в так называемой форме волочения. Объем призмы волочения, $м^3$, определяется по формуле:

$$V_{пр.} = \frac{b \cdot h^2}{2}, \quad (10)$$

где b — ширина захвата отвала бульдозера, *м*; h — высота призмы волочения, *м*.

В общем виде сила сопротивления копанию грунта, *кН*, определяется по выражению:

$$P_{к.} = K_{р.} \cdot a \cdot b + G_{пр.} \cdot f_{гр.} + G_{пр.} \cdot \cdot (Cos\gamma_0)^2 \cdot f_{тр.} + G_{р.о.б.} \cdot f_{тр.} + P_{дин.}, \quad (11)$$

где $K_{р.}$ — удельное сопротивление почвы резанию, $кН/м^2$; a — глубина резания почвы, *м*; $G_{пр.}$ — сила тяжести призмы волочения, *кН*; $f_{гр.}$ — коэффициент трения грунта о грунт; $G_{пр.}$ — сила тяжести призмы волочения, *кН*; γ_0 — угол резания, *град*; $f_{тр.}$ — коэффициент трения металла о почву; $G_{р.о.б.}$ — сила тяжести рабочих органов бульдозера, *кН*.

$$G_{пр.} = \delta \cdot g \cdot V_{пр.}, \quad (12)$$

где δ — плотность грунта, $т/м^3$; g — ускорение свободного падения, $м/с^2$.

В общем виде удельные энергозатраты при работе бульдозера, $кВт{\cdot}час/м^3$, определяются как:

$$g_{б.} = \frac{C \cdot l_{р.х.} \cdot \nu}{\eta \cdot V_{пр.}} \left(K_{р.} \cdot a \cdot b + G_{пр.} \cdot f_{гр.} + G_{пр.} \cdot \cdot (Cos\gamma_0)^2 \cdot f_{тр.} + G_{р.о.б.} \cdot f_{тр.}\right) + \frac{C \cdot l_{х.х.} \cdot \nu}{V_{пр.} \cdot \eta} \cdot G_{б.} \cdot f_{тр.}, \quad (13)$$

где $l_{р.х.}$ — длина рабочего хода бульдозера (длина пути перемещения грунта), *м*; $l_{х.х.}$ — длина холостого (обратного) хода бульдозера, *м*; $q_{от.}$ — объем грунта, перемещаемого отвалом, $м^3$ [20].

Экскаватор — это самоходная землеройная машина на гусеничном, колесном или шагающем ходу, имеющая верхнюю часть, способную поворачиваться на 360°.

Экскаватор ЭО-2621А применяется для земляных работ в грунтах до III категории. Агрегатируется с колесным трактором МТЗ-82.

Экскаватор-погрузчик ТО-49 применяется при транспортировке сыпучих материалов и штучных грузов, эксплуатируется при относительно небольших объемах земляных и погрузочных работ.

Экскаватор ЭП-2620-01 предназначен для механизации земляных работ в грунтах I–IV категорий и выполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Удельные энергозатраты при работе экскаватора, $кВт{\cdot}час/м^3$, определяются по формуле:

$$g_{экс.} = \frac{C \cdot l_{р.х.} \cdot \nu}{\eta \cdot q} \left(K_{р.} \cdot a \cdot b + G_{пр.} \cdot f_{гр.} + G_{пр.} \cdot (Cos\gamma_0)^2 \cdot f_{тр.} + G_{р.о.экс.} \cdot f_{тр.}\right) + \frac{C \cdot l_{х.х.} \cdot \nu}{\eta \cdot q_{ковша}} \cdot G_{экс.} \cdot f_{тр.}, \quad (14)$$

где $q_{ковша}$ — емкость ковша экскаватора, $м^3$; $G_{гр.}$ — сила тяжести перемещаемого экскаватором грунта, *кН*; $G_{р.о.экс.}$ — сила тяжести рабочих органов экскаватора, *кН*.

Результаты расчетов удельных затрат энергии при работе корчевателей типа КМ-1А сведем в табл. 1, кусторезов типа КОГ-2,3 — в табл. 2, бульдозеров — в табл. 3, экскаваторов — в табл. 4.

По полученным данным строим графики удельных затрат энергии при работе корчевателей, кусторезов, бульдозеров, экскаваторов.

Таблица 1

Удельные затраты энергии при работе корчевателей типа КМ-1А, кВт·час/га

Порода	Диаметр выдергиваемого пня, *м*				
	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
Сосна	3,72	2,99	2,60	2,36	2,19
Береза и пихта	3,66	2,94	2,55	2,31	2,15
Осина	3,60	2,89	2,50	2,27	2,11

Таблица 2

Удельные затраты энергии при работе кусторезов типа КОГ-2,3, кВт·час/га

Порода	Число срезаемых кустов с 1 га, *шт./га*			
	20	30	40	50
Сосна	2,17	2,45	2,69	2,98
Береза и пихта	1,95	2,19	2,43	2,61
Осина	1,76	1,92	2,13	2,35

Таблица 3

Удельные затраты энергии при работе бульдозеров, кВт·час/м^3

Марка машины	Длина пути перемещения грунта, *м*			
	10	12	14	16
Бульдозер Б-10М	2,85	2,96	3,11	3,23
Бульдозер ДЗ-110А	2,21	2,41	2,59	2,75
Бульдозер Д-606	1,77	1,91	2,16	2,38

Таблица 4

Удельные затраты энергии при работе экскаваторов, кВт·час/м^3

Марка машины	Длина пути перемещения грунта, *м*			
	10	12	14	16
Экскаватор ЭО-2621А	3,13	3,28	3,54	3,71
Экскаватор ТО-49	2,01	2,18	2,36	2,59
Экскаватор ЭП-2620-01	1,41	1,58	1,72	1,90

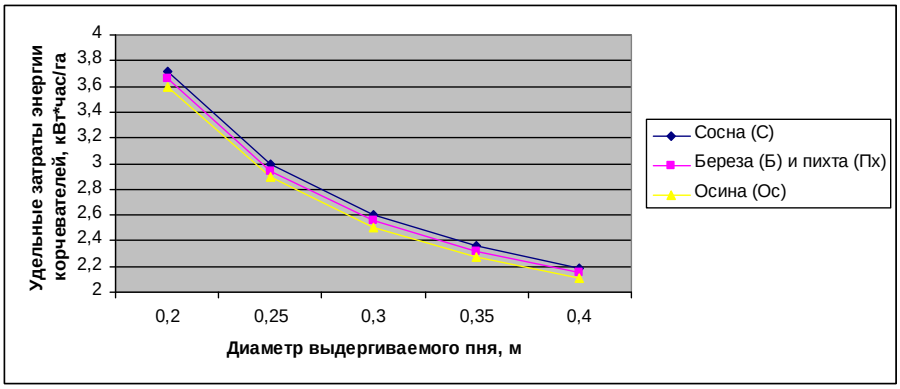

Рис. 1. Графики удельных затрат энергии при работе корчевателей типа КМ-1А

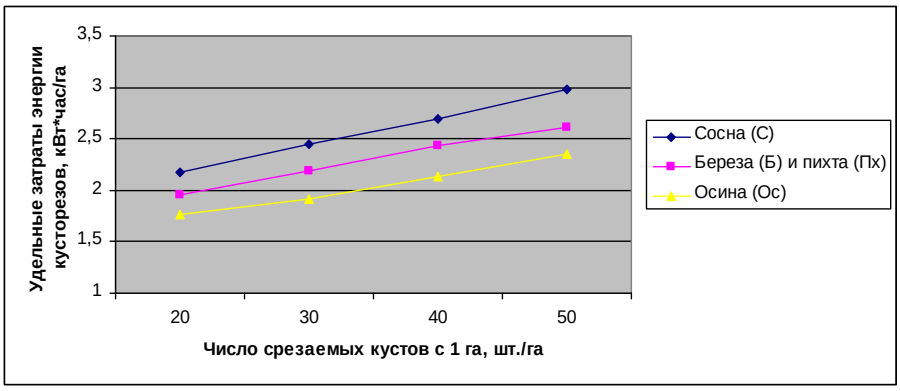

Рис. 2. Графики удельных затрат энергии при работе кусторезов

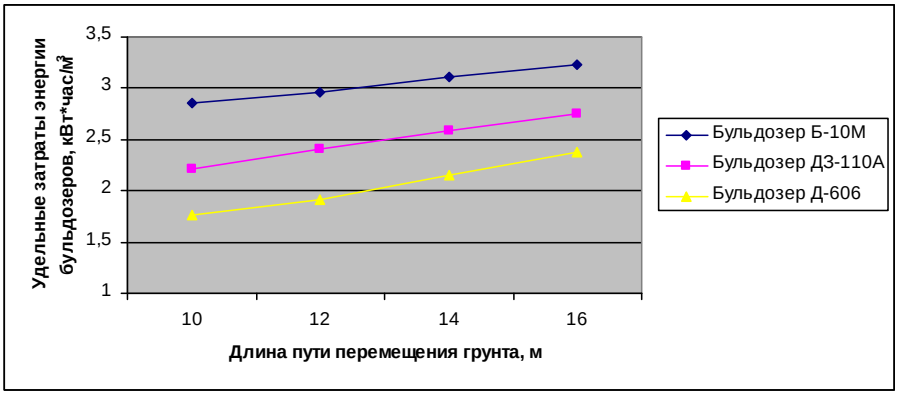

Рис. 3. Графики удельных затрат энергии при работе бульдозеров

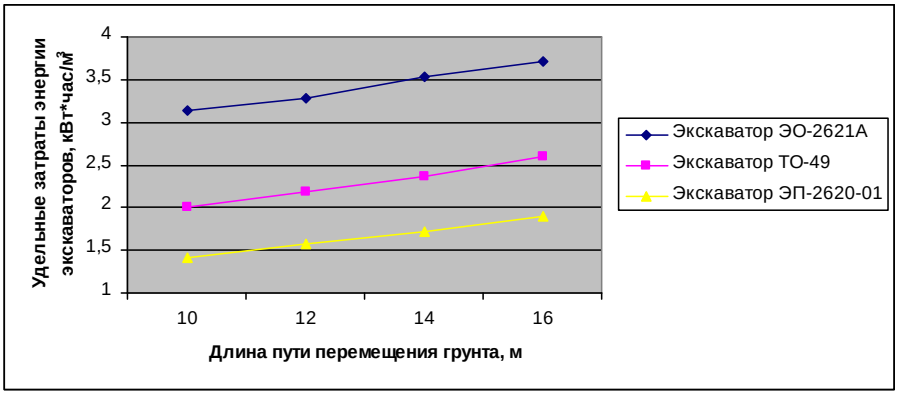

Рис. 4. Графики удельных затрат энергии при работе экскаваторов

Заключение

С помощью данных математических моделей можно рассчитывать удельные затраты энергии машин для подготовительных и земляных работ на строительстве лесовозных дорог. Применение в производстве наименее энергоемких машин и механизмов позволит повысить экономический эффект.

В дальнейшем планируется рассчитать удельные затраты энергии при работе машин и механизмов по содержанию и эксплуатации лесовозных дорог, а также провести экспериментальное подтверждение правильности построенных теоретических моделей удельных энергозатрат, разработать конкретные предложения для предприятий по применению тех или иных энергоэффективных дорожно-строительных машин в комплексе по всей фазе транспорта леса.

Литература

1. Солдатенков В.И. Материалы и машины для строительства лесовозных дорог. В 2 ч. Ухта: УГТУ. 2005. Ч. 2. 140 с.

2. Буряк Е.С. Машины для строительства и содержания лесовозных дорог. Архангельск: САФУ, 2013. 202 с.

3. Harris C.M., Piersol A.G. Shock and Vibration Handbook. New York: McGraw Hill Book Co, 2002. 1457 p.

4. Karnovsky I., Lebed E. Theory of vibration protection. Springer International Publishing Switzerland, 2016. 708 p.

5. Edlund J. Harvesting in the Boreal Forest on Soft Ground. Licentiate Thesis Swedish University of Agricultural Sciences Umeå 2012. 46 p.

6. Hyodo M., Aramaki N., Itoh M. and Hyde A.F.L. Cyclic shear strength and deformation of crushable carbonate sand. Soil Dynamic and Earthquake Engineering. 1996. № 15(5). P. 331-336.

7. Hyodo M., Hyde A.F.L., Aramaki N. Liquefaction of crushable soils. Geotechnique. № 48(3). 1998. P. 1-17.

8. Yunoki Y., Ishihara K., Seki M. The effect of the initial effective confining pressure on cyclic triaxial shear behaviour of dense sand. Proc // 17th Japanese Annual Meeting on Geotechnical Engineering. 1982. P. 1649-1653.

9. Harris C.M., Allan G. Shock and Vibration Handbook. USA. Mc Graw-Hill, New-York, 2002. 877 p.

10. De Silva C.W. Vibration. Fundamentals and Practice. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: CRC Press, 2000. 957 p.

11. Бурмистрова О.Н., Солдатенков В.И., Михеевская М.А. Дорожно-строительные машины и материалы. Ухта: УГТУ, 2017. 95 с.

12. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И. Энергонасыщенность лесных машин // Дерево. RU. 2014. № 2. С. 90-93.

13. Григорьев И.В., Хитров Е.Г., Никифорова А.И., Григорьева О.И., Куницкая О.А. Определение энергоемкости продуктов лесопользования в рамках методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестн. Тамб. ун-та. 2014. Т. 19. Вып. 5. С. 1499-1502.

14. Пинаев В.Е., Касимов Д.В. Оценка воздействия на растительный покров: расчет ущерба или пересадка [Электронный ресурс] // Науковедение. 2015. Т. 7, № 4 . URL статьи: http://naukovedenie.ru/PDF/104EVN415.pdf. (дата обращения: 11.04.2018).

15. Савич В.Л. Обоснование основных параметров оборудования для виброкорчевки пней и целых деревьев: дис. … канд. техн. наук. Петрозаводск, 2013. 188 с.

16. Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Бурмистрова О.Н., Яковлев К.А. Комплексная оценка надежности лесозаготовительных машин [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. URLhttp:// elibrary.ru/item.asp?id=21285482. (дата обращения: 14.04.2018).

17. Ширнин Ю.А. Теория переместительных операций на лесозаготовках. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. 204 с.

18. Коломинова М.В. Повышение эффективности производства круглых лесоматериалов путем обоснования технологии с минимальной энергоемкостью (в условиях Республики Коми): дис. … канд. техн. наук. СПб., 2001. 208 с.

19. Коломинова М.В. Показатели эффективности при работе корчевальных машин // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы междунар. науч.-технической конф., посвящ. 50-летию каф. механической технологии древесины КГТУ (9-12 окт. 2012 г.). Кострома, 2012. С. 148-150.

20. Коломинова М.В. Определение удельных энерго- и трудозатрат при работе бульдозера // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы 10-ой междунар. науч.-технической конф., Вологда, 11-13 дек. 2012 г. Вологда, 2013. С. 60-62.

References

1. Soldatenkov V.I. Materials and machines for construction of forest roads. In 2 parts. Part 2. / V.I. Soldatenkov. Ukhta: UGTU. 2005. 140 p.

2. Buryak E.S. Machines for construction and maintenance of logging roads / E.S. Buriak. Arkhangelsk: NARFU, 2013. 202 p.

3. Harris C.M., Piersol A.G. Shock and Vibration Handbook. New York: McGraw Hill Book Co, 2002. 1457 p.

4. Karnovsky I., Lebed E. Theory of vibration protection. Springer International Publishing Switzerland, 2016. 708 p.

5. Jeanette Edlund. Harvesting in the Boreal Forest on Soft Ground. Licentiate Thesis Swedish University of Agricultural Sciences Umeå 2012. 46 p.

6. Hyodo M., Aramaki N., Itoh M. and Hyde A.F.L. Cyclic shear strength and deformation of crushable carbonate sand. Soil Dynamic and Earthquake Engineering. 15(5). 1996. p. 331-336.

7. Hyodo M., Hyde A.F.L. and Aramaki N. Liquefaction of crushable soils. Geotechnique. 48 (3). 1998. p. 1-17.

8. Yunoki Y., Ishihara K. and Seki M. The effect of the initial effective confining pressure on cyclic triaxial shear behaviour of dense sand. Proc. 17th Japanese Annual Meeting on Geotechnical Engineering. 1982. p. 1649-1653.

9. Harris C.M., Allan G. Shock and Vibration Handbook. USA. Mc Graw-Hill, New-York, 2002. 877 p.

10. De Silva C.W. Vibration. Fundamentals and Practice. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: CRC Press, 2000. 957 p.

11. Burmistrova O.N., Soldatenkov V.I., Mikheevskaya M.A. Road-building machines and materials. Ukhta: UGTU. 2017. 95 p.

12. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nikiforova A.I.Energy saturation of forest // Derevo. RU. 2014. № 2. P. 90-93.

13. Grigor'ev I.V., Hitrov E.G., Nikiforova A.I., Grigor'eva O.I., Kunickaya O.A.Determination of energy intensity of forest products within methodology forassessing eco-efficiency of forest management //TambovUniversityReports. 2014. T. 19. Vyp. 5. P. 1499-1502.

14. Pinaev V.E., Kasimov D.V. Assessment of impact on vegetation layer: harm calculation or transplantation // Internet-journal «Naukovedenie». Volume 7, No. 4 (2015). http://nauko-vedenie.ru/PDF/104EVN415.pdf. (data obrashcheniya: 11.04.2018).

15. Savich V.L.Justification of the main parameters of the equipment for vibration transfer of stumps and whole trees: dis. … kand. tekhn. nauk. Petrozavodsk, 2013. 188p.

16. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Burmistrova O.N., YAkovlev K.A. Comprehensive assessment of the reliability of wood harvesting machines n [Ehlektronnyj resurs] //Modern problems of science and education. 2013. № 2. URL http://elibrary.ru/item.asp?id=21285482. (data obrashcheniya: 14.04.2018).

17. Shirnin Yu.A. Theory of commutative operations in logging / Yu.A. Shirnin. Yoshkar-Ola: PGTU, 2014. 204 p.

18. Kolominova M.V. Improving the efficiency of production of round timber by way of feasibility of technologies with the minimum power inputs (in the Komi Republic): the dissertation ... candidate tech. sciences. Saint-Petersburg. 2001. 208 p.

19. Kolominova M.V. Efficiency at work scrub clearing machines // Actual problems and prospects of timber industry complex development: materials of International scientific-technical conference dedicated to the 50th anniversary of the Department of mechanical technology of wood KGTU (9-12 October 2012). Kostroma: KGTU. 2012. P. 148-150.

20. Kolominova M.V. Determination of specific energy and labor costs during operation of the bulldozer // Actual problems of forest sector development: proceedings of the 10th international scientific-technical conference (11-13 December 2012). Vologda: VGTU, 2013. P. 60-62.