

Ухтинский государственный технический университет, ул. Первомайская 13, Ухта, Республика Коми
mk1108@mail.ru
Статья поступила 24.12.2016, принята 19.01.2017

Лесозаготовительные и лесовосстановительные работы проводятся на одной и той же площади почти одновременно, поэтому специалисты лесного хозяйства и лесной промышленности, организуя лесосечные работы, должны принять все необходимые меры по восстановлению леса в кратчайшие сроки. Они обязаны знать объект своего труда — лес, природу его возникновения, лесорастительные условия, в которых он развивается, формируя состав, структуру и продуктивность. От этих и многих других особенностей зависит выбор оптимальных технологий лесозаготовок и лесовосстановления, применяемых машин и механизмов, размер затрат труда и средств на лесосечные и лесохозяйственные работы. Лесовосстановительные работы — довольно энергоемкий процесс, где особенно актуально применение энергоэффективных технологий и машин. Энергозатраты на проведение различных операций являются тем самым показателем, используя который, можно дать объективную оценку процессам и машинам. В статье рассматривается методика расчета удельных энергозатрат нескольких видов машин и механизмов для лесовосстановительных работ. Разработанные формулы и проведенные расчеты важны для предприятий лесного комплекса, поскольку внедрение методов по обоснованию технологий лесовосстановления с минимальной энергоемкостью позволяет снизить себестоимость продукции. В дальнейших исследованиях планируется разработка оценки других видов машин и механизмов для лесовосстановления, а также комплексная оценка технологий лесосечных и лесовосстановительных работ по исследуемому критерию.

Ключевые слова: математическая модель; удельные энергоемкости; лесовосстановительные работы.

Mathematical modeling of specific energy consumption of machinery and mechanisms for reforestation

M.V. Kolominova

Ukhta State Technical University, 13, Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi, Russia
mk1108@mail.ru
Received 24.12.2016, accepted 19.01.2017

Timber harvesting and reforestation are conducted in the same territory almost simultaneously. Therefore, organizing logging operations, forestry and forest industry specialists ought to take all necessary measures to restore the forest within the shortest possible time. They must know the object of their labour — the forest, the nature of its origin, forest conditions in which it develops while shaping the composition, structure and productivity. The choice of optimal technologies of logging and reforestation, machinery and mechanisms usage, the costs of labor and expenses on logging and forestry work depend on these and many other features. Reforestation is an energy consuming process, which requires the use of power efficient technologies and equipment. The energy consumption of different operations is an indicator, which helps to make an objective assessment of processes and machinery. The article represents a calculation methodology for specific energy consumption of several types of machinery and mechanisms for reforestation. The developed formulas and calculations are important for enterprises of a forest complex. The implementation of the methods on justification of reforestation with minimum energy expenditure reduces the cost of production. In further studies it is planned to develop not only other types of machinery and mechanisms for reforestation, but also a complex technology assessment of logging and reforestation processes according to the criterion under investigation.

Key words: mathematical model; specific energy consumption; reforestation.

Введение

Лесовосстановление (лесовозобновление) — это процесс создания нового поколения леса естественным или искусственным путем.

Лесовосстановительные мероприятия проводятся в соответствии с региональными нормативами проведения лесовосстановительных работ. Установление их объемов и способов проведения, определение воспроизводимых древесных пород осуществляют лесничество в соответствии с проектами освоения лесов с учетом изменений, произошедших в лесном фонде.

Лесовосстановление при сплошных рубках осуществляют естественным, искусственным или комбинированным методом.

Естественное возобновление достигается сохранением жизнеспособного тонкомера, подроста и оставле-

нием обсеменителей главных пород (с обработкой или без обработки почвы).

Искусственное лесовосстановление или лесные культуры применяют в тех случаях, когда возобновление хозяйственно ценными породами не может быть обеспечено естественным путем в течение 10 лет после рубки древостоя.

Комбинированный способ лесовосстановления состоит в сочетании естественного и искусственного способов и применяется на участках с неравномерным распределением жизнеспособного подроста и тонкомера хвойных пород.

Основными методами искусственного лесовосстановления на вырубках являются посадка и посев.

Лесовосстановительные работы — довольно энергоемкий процесс, поэтому необходимо уметь рассчитывать затраты энергии данного процесса [1].

Многие зарубежные ученые посвятили свои работы вопросам исследования эффективности технологических процессов лесовосстановительных работ [2–8].

Материалом для исследований служат также труды признанных отечественных ученых в области лесозаготовок и лесного хозяйства [9–16].

Результаты исследования. Рассмотрим расчет удельных энергозатрат для ряда машин и механизмов, используемых при лесовосстановительных работах, таких как корчевальные машины, плуги, лесопосадочные машины и культиваторы.

Удельная энергоёмкость (удельные энергозатраты) — это показатель, определяющий количество энергии, отнесенное к единице заготовленной продукции (m^3) или к единице площади ($га$), на которой производилась работа. В данном исследовании будут определяться удельные энергозатраты в $кВт\cdot час/га$.

Почвообрабатывающие машины являются основной частью мобильного машинно-тракторного агрегата и непосредственно выполняют полезную работу с определенными затратами энергии трактора. Энергозатраты почвообрабатывающей машины (механизма) принято выражать тяговым сопротивлением.

Тяговое сопротивление лесохозяйственных машин — это суммарная сила сопротивления, которая возникает при перемещении машин в процессе работы по участку (полю) под воздействием тягового усилия трактора [16].

Корчеватель КМ-1А служит для полосной расчистки лесосек от пней, поваленных деревьев, порубочных остатков при подготовке площадей под лесные культуры. Агрегируется с лесохозяйственными тракторами типа ЛХТ-55.

Энергозатраты процесса корчевки пней, $кВт\cdot час/га$, корчевателями типа КМ-1А можно определить по формуле:

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

где обозначены удельные энергоёмкости на выполнение следующих операций: $g_{в.}$ — выдергивания пня из почвы; $g_{р.}$ — движения машины во время работы; $g_{х.}$ — холостые движения машины; $g_{р.о.}$ — движения рабочих органов машины [17].

$$g_{в.} = C \cdot g \cdot n_{пней} \cdot q \cdot \sqrt{d^3} \cdot V \cdot \frac{v}{\eta}, \quad (2)$$

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

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

где $C = 1/3600$ — коэффициент перевода; g — ускорение свободного падения, $м/с^2$; V — скорость выдергивания пня, $м/с$; $n_{пней}$ — количество пней, извлекаемых выдергиванием, на 1 га, $шт./га$; q — опытный коэффициент, зависящий от древесной породы: для сосны — 70, для березы и пихты — 60, для осины — 50; d —

диаметр выдергиваемого пня, $м$; v — коэффициент увеличения энергозатрат от непроизводительных движений рабочих устройств и самой машины; η — коэффициент полезного действия устройств, передающих энергию к рабочим органам машины, и самих рабочих органов машины; K_0 — коэффициент, учитывающий увеличение пути движения машины по отношению к расчетному; m_1 — отношение пути, проходимого машиной на холостом ходу, к таковому при выполнении технологической работы; $A_{д.}$ — затраты энергии на доставку рабочих органов к пню и установку в транспортное положение, $кДж$; $G_{к.м.}$ — сила тяжести корчевальной машины, $кН$; $\psi_{к.м.}$ — коэффициент сопротивления движению корчевальной машины с учетом сдвигания пней; Δ — ширина разрабатываемой ленты, $м$.

Лесной комбинированный плуг ПКЛ-70А служит для полосной обработки почвы бороздами с различной степенью задернения на нераскорчеванных вырубках с числом пней до 600 шт./га, не покрытых лесом площадях, а также для прокладки противопожарных минерализованных полос. Плуг агрегируется с тракторами типа ЛХТ-55, ТДТ-55А с задней навеской, ДТ-75М, МТЗ-82 (на легких почвах).

Лесной плуг ПЛ-1 служит для нарезки двухотвальных борозд шириной 1 м под посадку лесных культур на нераскорчеванных вырубках с числом пней до 600 шт./га, а также для прокладки противопожарных минерализованных полос. Агрегируется с тракторами типа ЛХТ-55, ЛХТ-55М, ЛХТ-100, ТДТ-55, ТДТ-100, оборудованными задними навесными системами.

Энергозатраты при работе плугов, $кВт\cdot час/га$, можно определить по формуле:

$$g_{плуга} = g_{передв.} + g_{пол.}, \quad (5)$$

где обозначены удельные затраты энергии на выполнение следующих операций: $g_{передв.}$ — передвижения во время работы и холостые движения; $g_{пол.}$ — полосная подготовка почвы.

Подробнее формулу (5) можно расписать как:

$$g_{плуга} = \frac{C \cdot G_{плуга} \cdot 10^4 \cdot \psi_{плуга} \cdot v}{\eta \cdot b_{плуга}} + \frac{N_{плуга} \cdot \phi \cdot v}{P_{плуга} \cdot \eta}, \quad (6)$$

где $G_{плуга}$ — сила тяжести плуга, $кН$; $b_{плуга}$ — ширина захвата корпуса плуга, $м$; $N_{плуга}$ — мощность при работе плуга, $кВт$; ϕ — коэффициент использования мощности; $P_{плуга}$ — производительность плуга, $га/час$; $\psi_{плуга}$ — коэффициент сопротивления движению плуга.

Мощность при работе лесного плуга, $кВт$, определяется по формуле:

$$N_{плуга} = R_{плуга} \cdot V_{тр.}, \quad (7)$$

где $V_{тр.}$ — скорость движения трактора, $м/с$; $R_{плуга}$ — тяговое усилие при работе плуга, $кН$.

Тяговое сопротивление при работе плуга, $кН$, определяется по формуле:

$$R_{\text{плуга}} = G_{\text{плуга}} \cdot f_m + K_n \cdot a_n \cdot b_{\text{плуга}} + \delta \cdot a_n \cdot b_{\text{плуга}} \cdot V_{\text{тр.}}^2 + q_k \cdot \Delta_{\text{пл.}} \cdot a_n \cdot b_{\text{плуга}}, \quad (8)$$

где f_m — коэффициент трения металлической конструкции о почву; K_n — удельное сопротивление почвы резанию, кН/м^2 ; a_n — глубина обработки почвы, м ; δ — плотность почвы, т/м^3 ; q_k — удельное сопротивление корня разрыву, кН/м^2 ; $\Delta_{\text{пл.}}$ — площадь пласта с корневой системой [14].

Машина лесопосадочная МЛУ-1 предназначена для посадки на вырубках с дренированными почвами сеянцев хвойных и лиственных пород с высотой надземной части 10–40 см и длиной корней до 30 см, а также саженцев хвойных пород с высотой надземной части 20–50 см и длиной корней 30 см. Агрегируется с тракторами типа ЛХТ-100, ЛХТ-55.

Сажалка сеянцев навесная ССН-1 предназначена для посадки одно-двухлетних сеянцев древесных и кустарниковых пород при создании защитных лесных полос. Можно применять в однорядном варианте, а при использовании специальной сцепки — в двух- и трехрядном вариантах. Состоит из рамы с навесным устройством и опорным колесом, сошника, посадочного механизма, прикапывающего катка, загортача, емкости для посадочного материала и маркера. Агрегируется с тракторами Т-74 и ДТ-75М, оборудованными ходоуменьшителями.

Энергозатраты при работе лесопосадочных машин, $\text{кВт} \cdot \text{час/га}$, можно определить по формуле:

$$g_{\text{л.м.}} = g_{\text{передв.}} + g_{\text{посадки}} + g_{\text{р.о.}}, \quad (9)$$

где $g_{\text{посадки}}$ — затраты энергии на посадку [18].

Подробнее формулу (9) можно расписать как:

$$g_{\text{л.м.}} = \frac{C \cdot G_{\text{л.м.}} \cdot 10^4 \cdot v}{\eta \cdot \Delta} + \frac{N_{\text{л.м.}} \cdot \phi \cdot v}{P_{\text{л.м.}} \cdot \eta} + \frac{C \cdot n_n \cdot A_d \cdot v}{\eta}, \quad (10)$$

где $N_{\text{л.м.}}$ — мощность, затрачиваемая на процесс посадки, кВт ; n_n — число посадочных мест на 1 га, шт./га ; $G_{\text{л.м.}}$ — сила тяжести лесопосадочной машины, кН ; $P_{\text{л.м.}}$ — производительность лесопосадочной машины, га/час .

Мощность, затрачиваемая на процесс посадки, кВт , определяется по формуле:

$$N_{\text{л.м.}} = R_{\text{л.м.}} \cdot V_{\text{тр.}}, \quad (11)$$

где $R_{\text{л.м.}}$ — тяговое сопротивление лесопосадочной машины, кН .

Тяговое сопротивление сажалок и лесопосадочных машин, кН , определяется по формуле:

$$R_{\text{л.м.}} = G_{\text{л.м.}} \cdot f_k + G_{\text{л.м.}} \cdot f_c + K_n \cdot k_{\text{нопр.}} \cdot a \cdot b \cdot n_c, \quad (12)$$

где f_k — коэффициент сопротивления движению; f_c — коэффициент трения сошника о почву; $k_{\text{нопр.}}$ — поправочный коэффициент; a — глубина хода сошника, м ; b — шаг посадки, м ; n_c — количество сошников.

Расчетная часовая производительность лесопосадочных машин по обработанной площади в гектарах, га/час , определяется по формуле:

$$P_{\text{л.м.}} = 0,36 \cdot B \cdot V_{\text{л.м.}} \cdot K_v \cdot K_t \cdot K_\alpha, \quad (13)$$

где B — технологическая ширина захвата (расстояние между центрами двух смежных полос), м ; K_v — коэффициент использования ширины захвата; K_t — коэффициент использования скорости; K_α — коэффициент использования времени; K_α — коэффициент, учитывающий влияние рельефа [18].

Культивация проводится с целью уничтожения сорной растительности, рыхления верхнего слоя почвы для повышения аэрации, накопления и сохранения влаги, внесения (одновременно с рыхлением) в почву, в зону корневых систем культурных растений, минеральных удобрений и поддержания почвы в чистом, рыхлом, мелкокомковатом состоянии.

Лесной бороздной культиватор КЛБ-1,7 предназначен для ухода за лесными культурами на вырубках, посаженными в дно плужных борозд или в полосы, подготовленные лесными фрезами. Агрегируется, в зависимости от условий проходимости, с тракторами МТЗ-52, МТЗ-80, Т-74, ДТ-75, ЛХТ-55.

Лесной культиватор КРН-4,2 служит для междурядной обработки почвы и подкормки растений на открытых площадках в лесных полосах, а также в посевных и школьных отделениях лесных питомников.

Энергозатраты при работе культиваторов, $\text{кВт} \cdot \text{час/га}$, определяются по формуле:

$$g_{\text{культ.}} = g_{\text{дв.}} + g_{\text{обр.}}, \quad (14)$$

где обозначены удельные затраты энергии на выполнение следующих операций: $g_{\text{дв.}}$ — передвижения машины во время работы и холостые движения; $g_{\text{обр.}}$ — обработка почвы во время культивации.

Подробнее формулу (14) можно расписать как:

$$g_{\text{культ.}} = \frac{C \cdot G_{\text{культ.}} \cdot 10^4 \cdot \psi_{\text{культ.}} \cdot v}{\eta \cdot b_{\text{культ.}}} + \frac{N_{\text{культ.}} \cdot \phi \cdot v}{P_{\text{культ.}} \cdot \eta}, \quad (15)$$

где $G_{\text{культ.}}$ — сила тяжести культиватора, кН ; $b_{\text{культ.}}$ — ширина обработанной полосы, м ; $N_{\text{культ.}}$ — мощность при работе культиватора, кВт ; $P_{\text{культ.}}$ — производительность культиватора, га/час ; $\psi_{\text{культ.}}$ — коэффициент сопротивления движению культиватора.

Мощность при работе культиватора, кВт , определяется по формуле:

$$N_{\text{культ.}} = R_{\text{культ.}} \cdot V_{\text{тр.}}, \quad (16)$$

где $V_{\text{тр.}}$ — скорость движения трактора, м/с ; $R_{\text{культ.}}$ — тяговое усилие при работе культиватора, кН .

Тяговое сопротивление при работе культиватора, кН , определяется аналогично формуле (9):

$$R_{\text{культ.}} = G_{\text{культ.}} \cdot f_m + K_n \cdot a_n \cdot b_{\text{культ.}} + \delta \cdot a_n \cdot b_{\text{культ.}} \cdot V_{\text{тр.}}^2 + q_k \cdot \Delta_{\text{пл.}} \cdot a_n \cdot b_{\text{культ.}}. \quad (17)$$

Результаты расчетов удельных энергозатрат при работе корчевальных машин сведены в табл. 1, при работе лесных плугов — в табл. 2, при работе лесопосадочных машин — в табл. 3, при работе культиваторов — в табл. 4.

Таблица 1

Удельные энергозатраты, кВт·час/га, при работе корчевальных машин типа КМ-1А

Древесная порода	Средний диаметр выдергиваемых пней, м				
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
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 энергозатраты, кВт·час/га, при работе лесных плугов

Марка машины	Глубина борозды, м			
	0,10	0,11	0,12	0,13
ПКЛ-70-4	3,23	3,58	3,83	4,02
ПЛ-1	4,17	4,45	4,70	4,92

Таблица 3

Удельные энергозатраты, кВт·час/га, при работе лесопосадочных машин

Марка машины	Шаг посадки, м			
	0,5	0,75	1,0	1,5
МЛУ-1	5,78	6,22	6,87	7,77
ССН-1	4,34	5,28	6,16	7,88

Таблица 4

Удельные энергозатраты, кВт·час/га, при работе культиваторов

Марка машины	Глубина обработки почвы, м			
	0,05	0,10	0,15	0,20
КБЛ-1,7	3,70	4,42	5,05	5,69
КРН-4,2	4,59	5,60	6,66	8,22

По результатам расчетов строим графики удельных энергозатрат при работе корчевальных машин, лесных плугов, лесопосадочных машин и культиваторов.

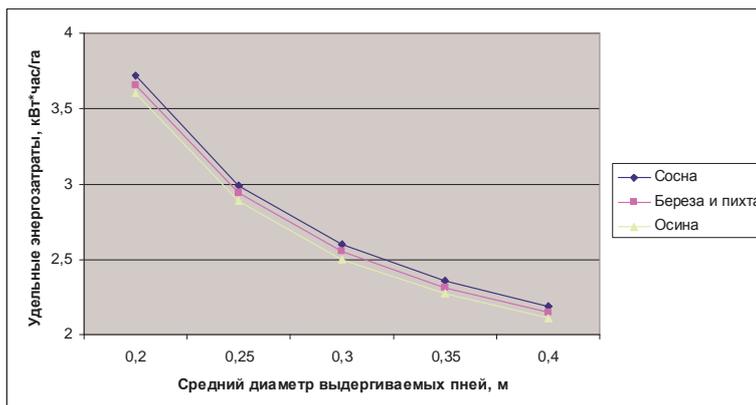


Рис. 1. Графики удельных энергозатрат при работе корчевальных машин типа КМ-1А

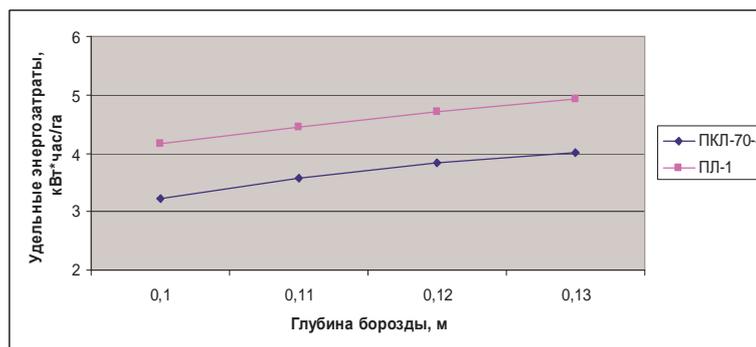


Рис. 2. Графики удельных энергозатрат при работе лесных плугов

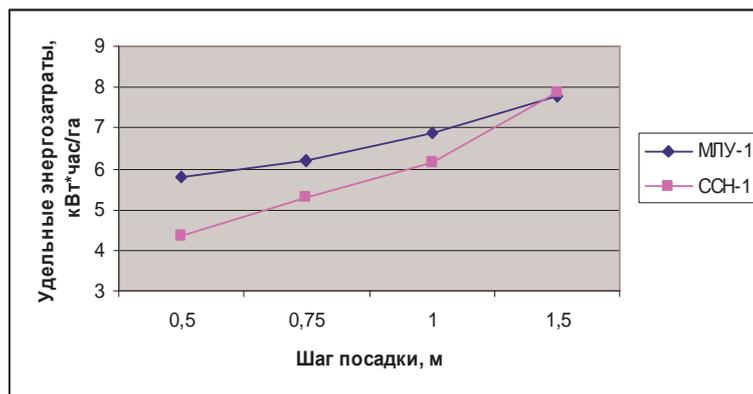


Рис. 3. Графики удельных энергозатрат при работе лесопосадочных машин

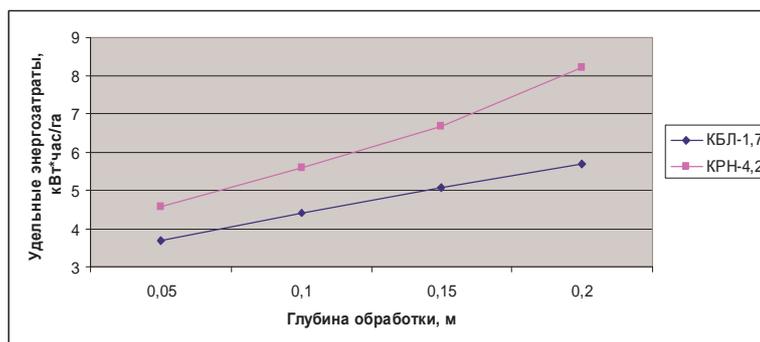


Рис. 4. Графики удельных энергозатрат при работе культиваторов

Заключение

Приведенные в исследовании математические модели позволяют вычислить и сравнить удельные энергоемкости при работе различных машин и механизмов для лесовосстановительных работ [19].

Дальнейшие экспериментальные исследования и испытания машин позволят выявить не только фактические значения энергозатрат по маркам машин, но и общие закономерности, влияние различных факторов на энергоемкость, а также создадут основу для разработки и более широкого применения в практической деятельности расчетно-аналитического метода определения тяговых сопротивлений [20].

В последующих исследованиях планируется осуществить разработку методики расчета удельных энергозатрат для других видов машин и механизмов по лесовосстановлению и провести оценку технологий лесосечных и лесовосстановительных работ в комплексе по критерию удельной энергоемкости.

Литература

1. 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.
2. Jacek B., Tomasz K. Investigations on technological process of after-calamity site preparation to logging with the harvester // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. 2010. № 56. P. 79-87.
3. Drushka K., Kontinen H., Timberjack G. Tracks in the Forest. The Evolution of Logging Machinery. Helsinki, 1997. 253 p.
4. Drewes D. Bestandesvorbereitung in der hochmechanisierten Holzernte. Forsttechnik, 2010. 12 p.

5. Fleischer M. Geschichte der Holzernte in Handarbeit. Proekte Verlag Cornelius GmbH, Halle. S. 1. Auflage. 2009. 212 p.
6. Fleischer M. Geschichte der mobile Holzerntemaschinen. Fleischer. Proekte Verlag Cornelius GmbH, Halle. 2007. S. 1. 366 p.
7. Brokmeier H. Struktur und Geschäftsfelder niedersächsischer Forstunternehmen. Strunk. Forst und Technik. 2008. P. 24-27.
8. Pausch R. Die Holzernteplanung ersetzt den Zufall durch den Irrtum? Forstmaschinenprofi, 2008. P. 58-61.
9. Winogorow G.K. Holz einschlags arbeiten. Berlin: Veb Deutscher landwirtschaftsverlag. 1972. 175 p.
10. 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. Тамбов. ун-та. 2014. Т. 19, Вып. С. 1499-1502.
11. Ковязин В.Ф. Основы лесного хозяйства и таксация леса. СПб.: Лань, 2010. 384 с.
12. Григорьев И.В., Григорьева, О.И., Никифорова А.И. Энергонасыщенность лесных машин // Дерево.RU. 2014. № 2. С. 90-93.
13. Александров В.А., Шоль Н.Р. Конструирование и расчет машин и оборудования для лесосечных работ и нижних складов. СПб.: Лань, 2012. 256 с.
14. Александров В.А., Козьмин С.Ф., Шоль Н.Р., Александров А.В. Механизация лесного хозяйства и садово-паркового строительства. СПб.: Лань, 2012. 528 с.
15. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И. Технология и машины лесовосстановительных работ. СПб., 2015. 272 с.
16. Винокуров В.Н., Силаев Г.В., Золотаревский А.А. Машины и механизмы лесного хозяйства и садово-паркового строительства. М.: Изд. центр «Академия», 2004. 400 с.
17. Коломинова М.В. Показатели эффективности при работе корчевальных машин // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материа-

лы междунар. науч.-технической конф., посвящ. 50-летию кафедры механической технологии древесины КГТУ (9-12 окт. 2012 г.). Кострома, 2012. С. 148-150.

18. Коломинава М.В. Показатели эффективности при работе лесопосадочных машин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр. по материалам междунар. заочной науч.-практической конф. «Механика технологических процессов в лесном комплексе» (окт., 2014 г.). Воронеж, 2014. № 6. С. 97-101.

19. Коломинава М.В. Технологические процессы лесозаготовительного производства. Ухта: УГТУ, 2002. 88 с.

20. Винокуров В.Н., Еремин Н.В. Система машин в лесном хозяйстве. М.: Изд. центр «Академия», 2004. 320 с.

References

1. 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): dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2001. 208 p.

2. Jacek B., Tomasz K. Investigations on technological process of after-calamity site preparation to logging with the harvester // Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. 2010. № 56. P. 79-87.

3. Drushka K., Kontinen N., Timberjack G. Tracks in the Forest. The Evolution of Logging Machinery. Helsinki, 1997. 253 p.

4. Drewes D. Bestandesvorbereitung in der hochmechanisierten Holzernte. Forsttechnik, 2010. 12 p.

5. Fleischer M. Geschichte der Holzernte in Handarbeit. Proekte Verlag Cornelius GmbH, Halle. P. 1. Auflage. 2009. 212 p.

6. Fleischer M. Geschichte der mobile Holzerntemaschinen. Fleischer. Proekte Verlag Cornelius GmbH, Halle. 2007. P. 1. 366 p.

7. Brokmeier H. Struktur und Geschäftsfelder niedersächsischer Forstunternehmen. Strunk. Forst und Technik. 2008. P. 24-27.

8. Pausch R. Die Holzernteplanung ersetzt den Zufall durch den Irrtum? Forstmaschinenprofi, 2008. P. 58-61.

9. Winogorow G.K. Holz einschlags arbeiten. Berlin: Veb Deutscher landwirtschaftsverlag. 1972. 175 p.

10. Grigor'ev I.V., Khitrov E.G., Nikiforova A.I., Grigor'eva O.I., Kunitskaya O.A. Determination of energy intensity of forest products within methodology for assessing eco-efficiency of forest management // Tambov University Reports. 2014. T. 19, Vyp. P. 1499-1502.

11. Kovyazin V.F. Basics of forestry and forest taxation. SPb.: Lan', 2010. 384 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. Aleksandrov V.A., Shol' N.R. Design and calculation of machinery and equipment for logging operations and lower warehouses. SPb.: Lan', 2012. 256 p.

14. Aleksandrov V.A., Koz'min S.F., Shol' N.R., Aleksandrov A.V. The Mechanization of a forestry and landscape construction. SPb.: Lan', 2012. 528 p.

15. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nikiforova A.I. Technology and machines of afforestation. SPb., 2015. 272 p.

16. Vinokurov V.N., Silaev G.V., Zolotarevskii A.A. Machines and mechanisms for forestry and landscape construction. M.: Izd. tsentr «Akademija», 2004. 400 p.

17. Kolominova M.V. Efficiency at work scrub clearing machines // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa: materialy mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoi konf., posvyashch. 50-letiyu kafedry mekhanicheskoi tekhnologii drevesiny KGTU (9-12 okt. 2012 g.). Kostroma, 2012. P. 148-150.

18. Kolominova M.V. Performance indicators during the work of tree-planting machines // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: sb. nauch. tr. po materialam mezhdunar. zaочноi nauch.-prakticheskoi konf. «Mekhanika tekhnologicheskikh protsessov v lesnom komplekse» (okt., 2014 g.). Voronezh, 2014. № 6. P. 97-101.

19. Kolominova M.V. Technological processes of timber production sciences. Ukhta: UGTU, 2002. 88 p.

20. Vinokurov V.N., Eremin N.V. The system of machines in the forestry sector. M.: Izd. tsentr «Akademija», 2004. 320 p.