Resources and Technology 17 (3): 97-110, 2020
ISSN 2307-0048
http://rt.petrsu.ru

DOI: 10.15393/j2.art.2020.5382
УДК 630*65.011.54
Статья

К обоснованию параметров корпуса дискатора для нераскорчёванных вырубок

Зимарин Сергей Викторович
кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), sezimarin@yandex.ru

Четверикова Ирина Владимировна
кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), chivles@rambler.ru

Получена: 20 сентября 2020 / Принята: 29 сентября 2020 / Опубликована: 30 сентября 2020

Аннотация: В статье исследуется влияние технологических параметров конструкции корпуса дискатора для основной обработки почвы на нераскорчёванных вырубках на его тяговое сопротивление. Ресурсосберегающие технологии лесовосстановления, позволяющие исключить корчёвку пней, наносят наименьший вред экологии вырубки и существенно снижают материальные средства на проведение всего комплекса работ, связанного с лесовыращиванием. Дисковые орудия в условиях нераскорчёванных вырубок значительно надёжнее лемешных плугов и намного превосходят их в плане обеспечения удовлетворительной проходимости. Одним из основных достоинств дискаторов является индивидуальное крепление корпусов к раме орудия, что практически исключает забивание корпуса растительными остатками и почвой. Исследована новая конструкция корпуса дискатора, обеспечивающая на нераскорчёванных вырубках требуемое качество обработки почвы в плане полного оборота почвенного пласта и его сохранности в виде сплошной ленты, уложенной рядом с бороздой. Дано описание конструкции и принципа работы такого дискового корпуса. Предложенный дисковый корпус повысит технический уровень современных лесных почвообрабатывающих орудий, в частности дискаторов, что улучшит их конкурентные преимущества среди прочих лесных машин, используемых для вспашки. Проведены экспериментальные исследования в полевых условиях, получена регрессионная модель тягового усилия корпуса дискатора, позволяющая определять его оптимальные параметры, обеспечивающие

качественный технологический процесс обработки почвы с наименьшими энергозатратами. Математическая модель может быть использована при проектировании лесных орудий.

Ключевые слова: лесное хозяйство; вырубка леса; дисковые орудия; дисковый корпус; оптимизация

DOI: 10.15393/j2.art.2020.5382
Article

Parameters of a disc harrow housing used on unrooted felling sites

Zimarin Sergey
PhD in engineering, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), sezimarin@yandex.ru

Chetvericova Irina
PhD in engineering, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), chivles@rambler.ru

Received: 20 September 2020 / Accepted: 29 September 2020 / Published: 30 September 2020

Abstract: The article examines the influence of the technological parameters of a disk harrow housing design on its traction resistance when it is used for basic tillage on felling sites where stumps are not removed. Resource-saving technologies of reforestation, which make it possible to exclude uprooting of stumps are ecologically friendly and significantly increase the effectiveness of reforestation operations. Disc tools are much more reliable than ploughshares in the conditions of undeveloped felling sites and outrank them in cross-country capacity. One of the main advantages of disc harrows is their individual attachment to the gun frame, thus practically eliminating clogging of the housing with plant residues and soil. The studied new design of the disc harrow housing provides the required quality of soil treatment by complete rotating of the soil layer and its preserving as a continuous band laid next to the furrow. A description of the design and operating principle of such a disk harrow housing is given. The proposed disk harrow housing will increase the technical level of modern forest tillage tools, in particular disc harrows thus ensuring their competitive advantages among other forest machines used for plowing. Experimental studies were performed in the field, and a regression model of the traction force of the disc harrow body was obtained to determine its optimal parameters that ensure a high-quality technological process of tillage with the lowest energy consumption. The mathematical model can be used in the design of forest tools.

Keywords: forestry; deforestation; disk tools; disk housing; optimization of disk drive parameters

1. Введение

Рациональная технология лесовосстановительных работ предполагает частичную обработку почвы в виде нарезки плужных борозд или полос, это даёт возможность исключить выполнение операций по корчеванию пней, что, в свою очередь, значительно уменьшает энергетические и материальные потери. Наряду с этим снижается отрицательное экологическое воздействие на почву, возникающее при раскорчёвке пней, т. к. в этом случае вместе с пнями не удаляется верхний гумусированный слой почвы и не обнажаются нижележащие бесструктурные горизонты. При этом расчищенная полоса в поперечном сечении приобретает ложбинный профиль, что способствует застою воды и локальному заболачиванию. Посаженные по таким полосам лесные культуры [1], [2], [3] слабо развиваются и зачастую гибнут [4], [5], [6].

Лемешные плуги обеспечивают полный оборот и сохранность почвенного пласта. Это способствует заделке растительных остатков в верхний слой почвы и накоплению гумуса, но низкоэффективны на нераскорчёванных вырубках. Лемешные плуги не способны преодолевать встречающиеся препятствия (пни, корни и т. п.), испытывают значительные ударные нагрузки при встрече с ним. В свою очередь, дисковые плуги лишены этого недостатка, однако при этом сферические диски ни при каких своих конструктивно-технологических параметрах не могут обеспечить полный оборот и сохранность почвенного пласта [7], [8], [9], [10]. Особенностью конструкции дискаторов является индивидуальное крепление корпусов к раме орудия, что исключает забивание орудия почвой и растительными остатками [11], [12].

Анализ литературных источников [13], [14], [15] показал, что остаётся актуальным вопрос о разработке новых орудий для вырубок (в зависимости от вида почвы), позволяющих минимизировать энергопотребление, увеличивать производительность. Многими авторами проводится сравнительный анализ применяемых орудий в поисках решения поставленных задач. Так, в работе [13] приведено сравнение потребляемой энергии и влияния на насыпную плотность и урожайность почвообрабатывающих систем на песчаных почвах. Выявлено, что на песчаных почвах оптимальным вариантом взаимодействия является следующий вариант: сеялка (CHDP) плюс безотвальная обработка почвы. Экономия составляет от 64 до 93 %.

В работе [14] приведено сравнительное исследование математических моделей при прогнозировании тягового усилия дискового плужного орудия в глинисто-суглинистой почве. Результаты моделирования показали, что одновременное или индивидуальное увеличение скорости движения вперёд и глубины вспашки вызывает нелинейное увеличение тягового усилия. Оптимальная модель рассматривается для прогнозирования тягового усилия в качестве важного шага на пути к правильному выбору комбинации трактора и дискового плуга.

В работе [15] рассматривается три типа плугов, определяется тяговое усилие методом поверхности отклика в различных полевых условиях. Самые высокие требования к тяге были

зафиксированы для отвального плуга. Валидация моделей была приемлемой, и тяговое усилие можно было предсказать с надёжностью около 95 %.

Таким образом, целью нашего исследования стало обоснование параметров новой конструкции дискового плуга, позволяющей минимизировать энергозатраты в тяжёлых условиях нераскорчёванных рубок, что является наиболее актуальным в условиях лесных насаждений на территории РФ.

2. Материалы и методы

Разработанная конструкция корпуса дискатора [16], [17] сочетает в себе преимущества свободно установленного (вращающегося) дискового корпуса по преодолению встречающихся препятствий и лемешного корпуса, обеспечивающего качественную обработку почвы (в плане полного оборота почвенного пласта и его сохранности в виде сплошной ленты).

На рисунке 1 представлена конструкция предлагаемого корпуса дискатора, содержащая стойку 1 с осью, на оси свободно на подшипниках установлена посредством спиц 5 вращающаяся режущая кромка 2 в виде сферического кольца. В отверстии сферической режущей кромки жёстко закреплён неподвижный сферический диск 3. К сферическому диску жёстко прикреплён отвал 4 с возможностью регулировки его положения по углу поворота. Корпус дискатора работает следующим образом: вращающаяся режущая кромка 2 подрезает почвенный пласт, неподвижные сферический диск 3 и отвал 4 способствуют обороту и укладке пласта рядом с бороздой.

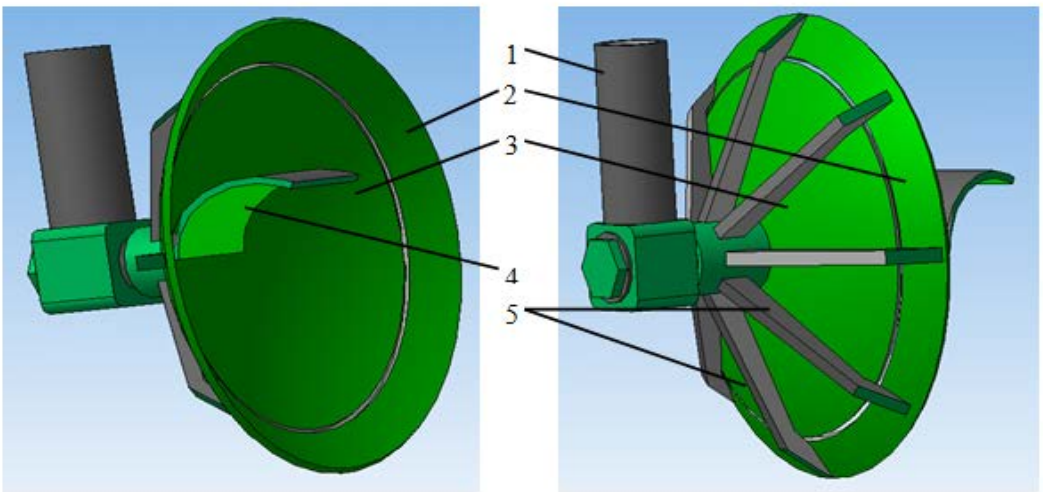

Рисунок 1. Конструкция корпуса дискатора: 1 — стойка; 2 — сферическая режущая кромка; 3 — сферический диск; 4 — отвал; 5 — спицы

Тяговое усилие дискового корпуса определялось при помощи тензометрической навески, представленной на фото 1. Тензометрическая навеска состоит из двух рамок, установленных

одна под другой и сочленённых качающимися поводками. Смещение рамок друг относительно друга возможно лишь в продольном направлении. Тензометрическое звено ограничивает данную степень свободы. Труба квадратного сечения верхней рамки обеспечивает крепление с корпусом дискатора. Проушины нижней рамки и цилиндрические цапфы скрепляются с тягами трактора. Предварительное натяжение тензометрического звена производится регулировочной гайкой. При движении орудия в почве нижняя рамка перемещается относительно верхней и растягивает тензометрическое звено. Растягивающее усилие тензометрического звена преобразуется в электрический сигнал, который, проходя через усилитель сигнала, регистрируется самописцем.

Фото 1. Тензометрическая навеска

Исследования, показанные на фото 2, проводились в Левобережном лесничестве учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ с супесчаной почвой твёрдостью 17—22 кг/см^2 и влажностью 6—8 %, глубина обработки 150 мм. Геометрические параметры корпуса дискатора: наружный диаметр сферической режущей кромки 770 мм, диаметр отверстия сферической режущей кромки 540 мм, радиус кривизны сферического диска 1200 мм.

Исследования предполагали построение модели тягового сопротивления, для решения поставленной задачи был реализован полный факторный эксперимент [18], [19].

3. Результаты

За варьируемые факторы были приняты: угол поворота отвала (Θ), угол атаки (α) и угол наклона (β) корпуса дискатора, обозначение факторов и их уровни представлены в таблице 1. Функция отклика — количество полностью обёрнутых пластов (y).

Фото 2. Исследование корпуса дискатора

Таблица 1. Определение уровней и интервалов варьирования факторов

Фактор			Уровни факторов, град.			Интервал варьирования
Наименование	Обозначение					
	натура	норма	верхний	основной	нижний	
Угол атаки	α	x_1	45	40	35	5
Угол наклона	β	x_2	20	15	10	5
Угол поворота отвала	Θ	x_3	20	10	0	10

Для проверки нормальности распределения выходной величины была проведена серия из 30 опытов при $\alpha = 35^0$, $\beta = 10^0$, $\Theta = 0^0$. Нормальность распределения проверялась по критерию x^2-Пирсона. Результаты этой серии опытов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты серии опытов

№ опыта	y_N, даН	№ опыта	y_N, даН	№ опыта	y_N, даН
1	265	11	273	21	266
2	267	12	270	22	271
3	275	13	267	23	274
4	277	14	275	24	272
5	271	15	274	25	267
6	273	16	271	26	269
7	271	17	267	27	271
8	270	18	271	28	269
9	272	19	270	29	274
10	271	20	270	30	270

Статистическая обработка результатов этой серии была проведена с использованием пакета прикладных программ STATGRAPHICS, критерий x^2-Пирсона составил 1,95, сравнивая это значение с табличным x^2 = 3,84 (1,95 < 3,84), делаем вывод о принятии гипотезы нормального распределения случайной величины.

Матрица планирования основного эксперимента по определению качества оборота пласта и результаты опытов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Матрица планирования эксперимента

№ опыта	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1,%	y_2,%	y_3,%	y_4,%	y_5,%	$\bar{y}_j$,%	S_j^2
1	–	–	–	+	+	+	–	129	131	134	132	132	131,6	3,3
2	+	–	–	–	–	+	+	272	270	268	273	273	271,2	4,7
3	–	+	–	–	+	–	+	113	116	118	118	116	116,2	4,2
4	+	+	–	+	–	–	–	237	237	238	234	236	236,4	2,3
5	–	–	+	+	–	–	+	132	133	138	135	135	134,6	5,3
6	+	–	+	–	+	–	–	278	276	276	279	280	277,8	3,2
7	–	+	+	–	–	+	–	117	119	118	120	119	118,6	1,3
8	+	+	+	+	+	+	+	241	244	245	243	241	242,8	3,2

Здесь $\bar{y}_j$, S_j^2 — соответственно среднее значение отклика и дисперсия.

По критерию Кохрена проводим проверку однородности дисперсий опытов. Наибольшая дисперсия пятого опыта $S_5^2 = 5,3$. Отсюда $G_{расч} = 0,193$. По таблице распределения критерия Кохрена для нашего случая находим $G_{табл}$ = 0,46. Неравенство $G_{расч} < G_{табл}$ позволяет сделать вывод об однородности дисперсий опытов. Регрессионную модель тягового усилия будем искать в виде многочлена: $y = b_o + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$.

Расчётные коэффициенты регрессионной модели представлены в таблице 4.

Таблица 4. Коэффициенты регрессии математической модели

b_o	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
191,2	65,9	–12,65	2,3	–4,8	0,95	–0,1	0,05

Предварительно определяем дисперсии коэффициентов регрессии: $S^2\{b_i\} = 0,086$.

Для каждого коэффициента регрессии среднеквадратичное отклонение составляет: $S\{b_i\} = 0,293$. Оценку значимости коэффициентов регрессии проводим, рассчитывая неравенство: $/b_i/ \leq t_{табл}S\{b_i\}$.

Из таблиц t-распределения Стьюдента выбираем значение $t_{табл}$ при уровне значимости q = 0,01 и числе степеней свободы f_y = 32. Тогда: $t_{табл}$ = 2,73, следовательно, $t_{табл}S\{b_i\}$ = 0,8.

Вышеуказанное соотношение не выполняется для коэффициентов b_{23} (0,1 < 0,8) и b_{123} (0,05 0< 0,8), поэтому эти коэффициенты будем считать незначимыми, а члены $b_{23}x_2x_3$ и $b_{123}x_1x_2x_3$ исключаем из выражения.

Отбросив незначимые члены, получим регрессионную модель в виде:

$$[У = 191,2 + 65,9x_1 – 12,65x_2 + 2,3x_3 – 4,8x_1x_2 + 0,95x_1x_3]. \quad (1)$$

Адекватность полученной модели проверим по F-критерию Фишера ($F_{табл}$), если $F_{расч} < F_{табл}$, то модель считается адекватной. В нашем случае расчётное значение $F_{расч} = 0,72$, а $F_{табл} = 5,34$, условие $F_{расч} < F_{табл}$ (0,72 < 5,34) выполняется, следовательно, модель адекватна и может быть использована для описания объекта исследования. Используя выражение

$$[x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{io}}{I_i}], \quad (2)$$

где $\tilde{x}_i$, x_i — соответственно натуральное и нормализованное значение фактора;

I_i — интервал варьирования;

$\tilde{x}_{io}$ — натуральное значение основного уровня, определим:

$$[x_1 = (\alpha–40)/5], \quad (3)$$

$$[x_2 = (\beta–15)/5], \quad (4)$$

$$[x_3 = (\Theta–10)/10]. \quad (5)$$

Подставив (3), (4) и (5) в (1) и выполнив преобразования, получим уравнение регрессии в натуральном виде:

$$[У = –407,95 + 15,87\alpha + 5,15\beta – 0,53\Theta – 0,192\alpha\beta + 0,019\alpha\Theta], \quad (6)$$

На рисунках 2, 3, 4 представлены полученные графики зависимости тягового усилия от угла атаки при разных значениях угла наклона относительно вертикали и относительно угла поворота отвала.

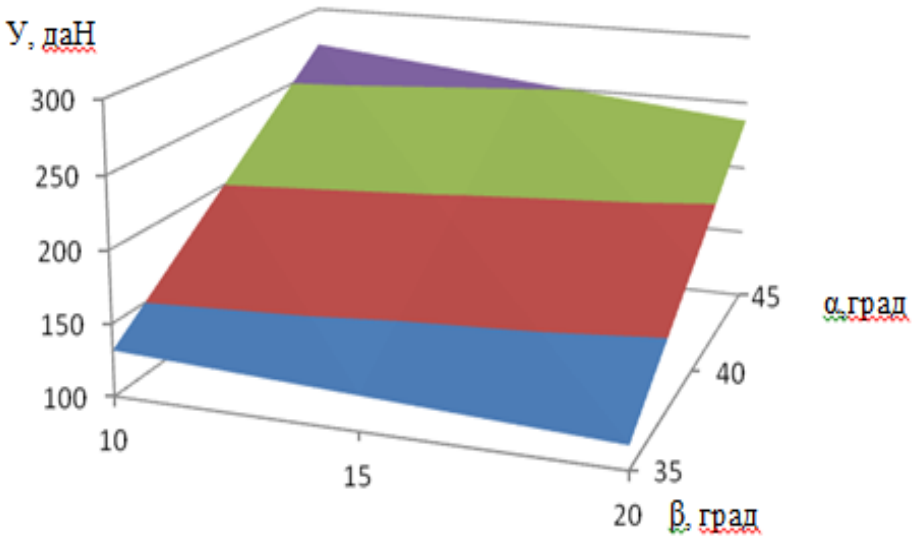

Рисунок 2. График зависимости тягового усилия от угла атаки и угла наклона при $\Theta = 0^0$

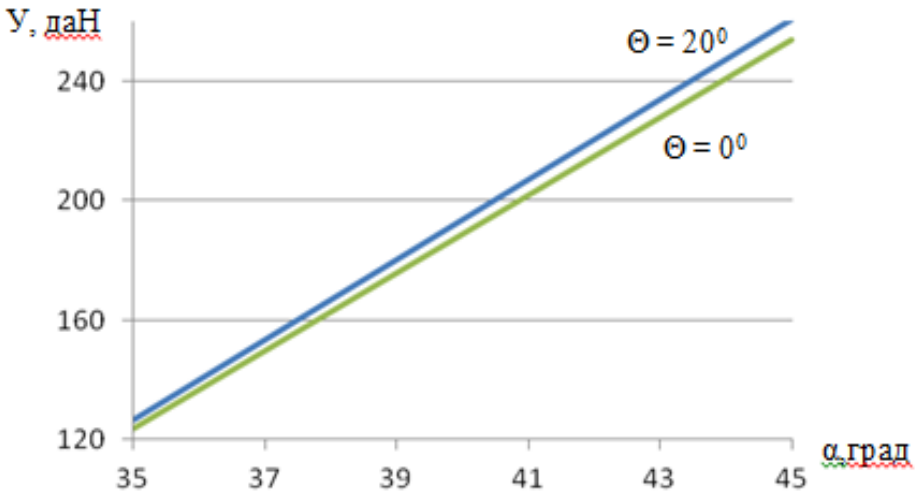

Рисунок 3. График зависимости тягового усилия от угла атаки при $\beta = 15^0$

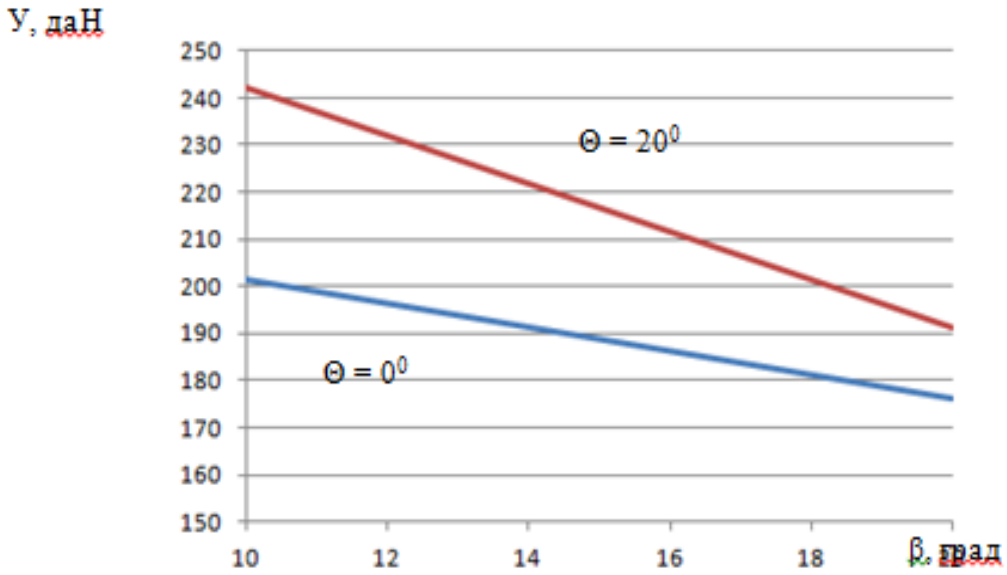

Рисунок 4. График зависимости тягового усилия от угла наклона при $\alpha = 40^0$

Проведя графический анализ полученной модели (6), можно отметить, что наиболее значимое влияние на тяговое усилие оказывает изменение угла атаки, менее сильное — изменение угла наклона относительно вертикали, наименьшие — изменение угла поворота отвала. С увеличением угла атаки и угла поворота отвала тяговое усилие повышается, а с увеличением угла наклона относительно вертикали – уменьшается, при этом с ростом угла поворота отвала изменение угла атаки и угла наклона существеннее отражается на изменении тягового усилия.

4. Заключение

Проведённые исследования позволили построить регрессионную модель тягового усилия корпуса дискатора, которая позволит определять его оптимальные технологические параметры, обеспечивающие требуемое качество обработки почвы с наименьшими энергозатратами при достаточной проходимости орудия в условиях нераскорчёванных вырубок. Предлагаемый дисковый корпус повысит конкурентные преимущества дискаторов среди прочих лесных почвообрабатывающих орудий. Данные исследования могут использоваться при проектировании лесных почвообрабатывающих машин.

Список литературы

1. *Willoughby I., Jinks R. L., Kerr G., Gosling P. G.* Factors affecting the success of direct seeding for lowland afforestaion in the UK Forestry. 2004. No. 77 (5). 467 p. DOI: 10.1093/forestry/77.5.467.
2. *Löf M., Dey D., Navarro C. M., Jacobs D. F.* Mechanical site preparation for forest restoration New Forests. 2012. No. 43 (5-6). 825 p. DOI: 10.1007/s11056-012-9332-x.

3. *McLaughlin J. W., Gale M. R., Jurgensen M. F., Trettin C. C.* Soil organic matter and nitrogen cycling in response to harvesting, mechanical site preparation, and fertilization in a wetland with a mineral substrate // Forest Ecology and Management. 2000. No. 129 (1-3). P. 7. DOI: 10.1016/S0378-1127(99)00164-4.
4. *Nilsson U., Allen H. L.* Short- and long-term effects of site preparation, fertilization and vegetation control on growth and stand development of planted loblolly pine // Forest Ecology and Management. 2003. No. 175 (1-3). 367 p. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00140-8.
5. *Walmsley J. D., Godbold D. L.* Stump Harvesting for Bioenergy — A Review of the Environmental Impacts Forestry. 2010. No. 83 (1). P. 17. DOI: 10.1093.
6. *Neaves III C. M., Aust W. M., Bolding M. C., Barrett S. M., Trettin C. C., Vance E.* Soil properties in site prepared loblolly pine (Pinus taeda L.) stands 25 years after wet weather harvesting in the lower Atlantic coastal plain // Forest Ecology and Management. 2017. 344 p. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.08.015.
7. *Löf M., Ersson B. T., Hjältén J., Nordfjell T., Oliet J. A., Willoughby I.* Site preparation techniques for forest restoration // Restoration of Boreal and Temperate Forests (Second Edition). 2016. P. 85—102. DOI: 10.1201/b18809.
8. *Myking T., Rusanen M., Steffenrem A., Kjær E. D., Jansson G.* Historic transfer of forest reproductive material in the Nordic region: drivers, scale and implications Forestry. 2016. No. 89 (4). 325 p. DOI: 10.1093.
9. *Ahmadi I.* Development and assessment of a draft force calculator for disk plow using the laws of classical mechanics *Soil and Tillage Research.* 2016. No. 163 P. 32. DOI: 10.1016/j.still.2016.04.013.
10. *Нартов П. С.* Дисковые почвообрабатывающие орудия. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1972. 181 с.
11. *Зимарин С. В.* Новый корпус плуга для обработки почвы на вырубках // Лесотехнический журнал / Под ред. В. М. Бугакова. Воронеж: РИО ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2012. Вып. 4 (8). С. 105—108.
12. *Кушнарев А. С.* Дискатор — новое почвообрабатывающее орудие, обеспечивающее переход от традиционной технологии производства сельскохозяйственной продукции к энергосберегающей технологии No-till. Белая Церковь, 2010. 60 с.
13. *López-Vázquez A., Cadena-Zapata M., Campos-Magaña S., Zermeño-Gonzalez A., Mendez-Dorado M.* Comparison of energy used and effects on bulk density and yield by tillage systems in a semiarid condition of Mexico // Agronomy. 2019. Vol. 9, issue 4. 13 April. No. 189.
14. *Shafaei S. M., Loghavi M., Kamgar S. A.* A comparative study between mathematical models and the ANN data mining technique in draft force prediction of disk plow implement in clay loam soil // Agricultural Engineering International CIGR Journal. 2018. Vol. 20, issue 2. September. P. 71—79.
15. *Almaliki S.* Simulation of draft force for three types of plow using response surface method under various field conditions // Iraqi Journal of Agricultural Sciences. 2018. Vol. 49, issue 6. P. 1123—1124.
16. *Зимарин С. В., Сердюкова Н. А.* Новый корпус плуга для обработки почвы на вырубках // Лесотехнический журнал: научный журнал / Под ред. В. М. Бугакова. Воронеж: РИО ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2012. Вып. 3 (7). С. 90—94.
17. *Зимарин С. В.* Дисковый корпус плуга с гиперболоидным отвалом / С. В. Зимарин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2-1 (13-1). С. 47—49. DOI: 10.15393/j2.art.2016.3201.
18. *Пижурин А. А., Розенблит М. С.* Исследование процессов деревообработки. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 232 с.

19. *Wan M., Ma Y-C., Feng J., Zhang W-H.* Study of static and dynamic ploughing mechanisms by establishing generalized model with static milling forces // International Journal of Mechanical Sciences. 2016. P. 114—120. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2016.05.010.

References

1. *Willoughby I., Jinks R. L., Kerr G., Gosling P. G.* Factors affecting the success of direct seeding for lowland afforestaion in the UK Forestry. 2004. No. 77 (5). 467 p. DOI: 10.1093/forestry/77.5.467.
2. *Löf M., Dey D., Navarro C. M., Jacobs D. F.* Mechanical site preparation for forest restoration New Forests. 2012. No. 43 (5-6). 825 p. DOI: 10.1007/s11056-012-9332-x.
3. *McLaughlin J. W., Gale M. R., Jurgensen M. F., Trettin C. C.* Soil organic matter and nitrogen cycling in response to harvesting, mechanical site preparation, and fertilization in a wetland with a mineral substrate // Forest Ecology and Management. 2000. No. 129 (1-3). P. 7. DOI: 10.1016/S0378-1127(99)00164-4.
4. *Nilsson U., Allen H. L.* Short- and long-term effects of site preparation, fertilization and vegetation control on growth and stand development of planted loblolly pine // Forest Ecology and Management. 2003. No. 175 (1-3). 367 p. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00140-8.
5. *Walmsley J. D., Godbold D. L.* Stump Harvesting for Bioenergy — A Review of the Environmental Impacts Forestry. 2010. No. 83 (1). P. 17. DOI: 10.1093.
6. *Neaves III C. M., Aust W. M., Bolding M. C., Barrett S. M., Trettin C. C., Vance E.* Soil properties in site prepared loblolly pine (Pinus taeda L.) stands 25 years after wet weather harvesting in the lower Atlantic coastal plain // Forest Ecology and Management. 2017. 344 p. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.08.015.
7. *Löf M., Ersson B. T., Hjältén J., Nordfjell T., Oliet J. A., Willoughby I.* Site preparation techniques for forest restoration // Restoration of Boreal and Temperate Forests (Second Edition). 2016. P. 85—102. DOI: 10.1201/b18809.
8. *Myking T., Rusanen M., Steffenrem A., Kjær E. D., Jansson G.* Historic transfer of forest reproductive material in the Nordic region: drivers, scale and implications Forestry. 2016. No. 89 (4). 325 p. DOI: 10.1093.
9. *Ahmadi I.* Development and assessment of a draft force calculator for disk plow using the laws of classical mechanics Soil and Tillage Research. 2016. No. 163. P. 32. DOI: 10.1016/j.still.2016.04.013.
10. *Nartov P. S.* Disk tillage equipment. Voronezh: VSU, 1972. 181 p. (In Russ.)
11. *Zimarin S. V.* New plow body for tillage in clearings // Forest engineering journal: A scientific journal edited by V. M. Bulgakov. Voronezh, 2012. No. 4 (8). P. 105—108. (In Russ.)
12. *Kushnaryov A. S.* Disk cutter is a new soil-processing tool, providing the transition from the traditional agricultural production technology to the energy-saving technology of No-till. Bila Tserkva, 2010. 60 p. (In Russ.)
13. *López-Vázquez A., Cadena-Zapata M., Campos-Magaña S., Zermeño-Gonzalez A., Mendez-Dorado M.* Comparison of energy used and effects on bulk density and yield by tillage systems in a semiarid condition of Mexico // Agronomy. 2019. Vol. 9, issue 4. 13 April. No. 189.
14. *Shafaei S. M., Loghavi M., Kamgar S. A.* A comparative study between mathematical models and the ANN data mining technique in draft force prediction of disk plow implement in clay loam soil // Agricultural Engineering International CIGR Journal. 2018. Vol. 20, issue 2. September. P. 71—79.
15. *Almaliki S.* Simulation of draft force for three types of plow using response surface method under various field conditions // Iraqi Journal of Agricultural Sciences. 2018. Vol. 49, issue 6. P. 1123—1124.

16. *Zimarin S. V., Serdyukova N. A.* New plow body for processing the soil in cuttings // Forest engineering journal: A scientific journal edited by V. M. Bulgakov. Voronezh, 2012. No. 3 (7). P. 90—94. (In Russ.)
17. *Zimarin S. V.* The disc plough body with a hyperboloidal dump // Relevant directions of scientific research of the 21st century: theory and practice. 2015. T. 3, No. 2-1 (13-1). P. 47—49. DOI: 10.15393/j2.art.2016.3201. (In Russ.)
18. *Pizhurin A. A., Rosenblit M. S.* Research of woodworking processes. Moscow: Lesn. prom-St', 1984. 232 p. (In Russ.)
19. *Wan M., Ma Y-C., Feng J., Zhang W-H.* Study of static and dynamic ploughing mechanisms by establishing generalized model with static milling forces // International Journal of Mechanical Sciences. 2016. P. 114—120. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2016.05.010.

© Зимарин С. В., Четверикова И. В., 2020