

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6263

УДК 630*65.011.54

Статья

Исследование параметров новой конструкции мультиблока для ресурсосберегающего восстановления дубрав

Зимарин Сергей Викторович

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

Хрипченко Михаил Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), at-conf@yandex.ru

Четверикова Ирина Владимировна

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

Получена: 23 марта 2022 / Принята: 17 июня 2022 / Опубликовано: 22 июня 2022

Аннотация: В статье исследуется влияние технологических параметров конструкции мультиблока для ресурсосберегающего восстановления дубрав на нераскорчёванных вырубках на качественные показатели. Ресурсосберегающие технологии лесовосстановления, позволяющие избегать корчёвки пней, наносят наименьший вред экологии вырубки и экономят материальные средства. Дисковые орудия в условиях нераскорчёванных вырубок значительно превосходят другие в плане обеспечения требуемой проходимости. Достоинством волновых дисков является низкое сопротивление и, следовательно, небольшое тяговое усилие, что создаёт широкие возможности для снижения энергетических затрат. Исследована конструкция волнового диска, обеспечивающая на нераскорчёванных вырубках требуемое качество образования посевной канавки и обработки почвы в ней. Качество выполнения посевной бороздки определялось равномерностью её глубины. Глубину обработки почвы проверяли в нескольких местах по длине гона по всей ширине захвата агрегата. Представлено описание конструкции и принципа работы энергосберегающего мультиблока. Волновой диск повышает технический уровень современных лесных почвообрабатывающих орудий, что улучшит их конкурентные

преимущества среди прочих лесных машин, используемых для обработки почвы. В результате проведённых экспериментальных исследований получена регрессионная модель влияния скорости агрегата и глубины хода волнового диска на образование посевной бороздки, позволяющая определять его оптимальные параметры, обеспечивающие качественный технологический процесс обработки почвы с наименьшими энергозатратами. Установлено, что снижение затрат при внедрении новой технологии осуществляется за счёт уменьшения числа технологических операций, количества применяемых для этого машин, орудий и оборудования и расхода посевного материала.

Ключевые слова: лесное хозяйство; вырубка леса; ресурсосберегающие технологии; волновой диск; почвообрабатывающие орудия

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6263

Article

Investigation of the parameters of a new multiblock design for resource-saving restoration of oak forests

Sergey Zimarin

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

Michael Khripchenko

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

Irina Chetverikova

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

Received: 23 March 2022 / Accepted: / Published:

Abstract: The article examines the influence of technological parameters of the multiblock designed for resource-saving restoration of oak forests in non-uprooted felling on quality indicators. Resource-saving reforestation technologies that avoid uprooting of stumps cause the least harm to the environment and save resources. Disc tools used on non-uprooted clearings ensure the best vehicle cross-country ability. The advantage of wave discs is low resistance and, consequently, low tractive effort thus creating ample opportunities for reducing energy costs. The design of the wave disk, which provides the required quality of a sowing furrow formation and its tillage has been studied. The quality of the sowing furrow was determined by its depth evenness. The depth of tillage was checked in several places along the furrow length and tool operating width. The paper describes the design and principle of operation of an energy-saving multiblock. The wave disk improves the performance standards of modern forestry tillage tools and will allow their competitive advantage enhancement against other forestry tillage machines. As a result of the experimental studies, a regression model of the influence of the unit speed and the depth of the wave disk on the formation of a seed furrow was obtained. The model makes it possible to determine optimal parameters that ensure a high-quality technological process of tillage with the lowest energy costs. The authors have established that the new technology leads to costs

reduction if number of technological operations, machines, tools and equipment is decreased as well as seed expenditure.

Keywords: forestry; deforestation; resource-saving technologies; wave disk; tillage tools

1. Введение

Наиболее ценными лесными насаждениями, произрастающими на территории Российской Федерации и Европы, являются дубравы, имеющие важное хозяйственное значение.

Древесина дуба имеет очень высокий спрос, т. к. является одной из самых лучших для производства столярных изделий, паркета, современной мебели, деревянной посуды и пр.: сочетание таких свойств, как влагоустойчивость, высокая прочность, эстетичность и экологичность, делают дуб одной из ценнейших пород.

Лесоводы ценят дуб за высокую биологическую устойчивость, засухоустойчивость и солевыносливость, поэтому насаждения дуба наилучшим образом выполняют почвозащитные, водоохранные и мелиоративные функции. В XVIII столетии дуб был заслуженно признан незаменимой древесной породой при степном и защитном лесоразведении.

Кроме того, дубравы являются мощнейшими поглотителями углекислого газа на занимаемых ими и прилегающих площадях.

Процесс естественного возобновления дуба даёт недостаточный прирост лесных насаждений, поэтому восстановление и выращивание дубрав необходимо активизировать искусственным путём.

В настоящее время восстановление и выращивание дубрав осуществляется, в основном, посадкой, которая имеет низкую эффективность из-за большого количества технологических операций. Данным исследованиям посвящены работы [1], [2], [3]. Высокую степень энергосбережения может обеспечить лесовосстановление методом посева [4], [5].

Следуя жёстким энергетическим требованиям, мы разработали новую технологию лесовосстановления и мультифункциональное устройство [6]. Технология учитывает особенности роста и развития дуба, существующие научные наработки и лесокультурный опыт, а также отвечает современным требованиям экономичности, экологичности, технологичности и безопасности. Уменьшение затрат при внедрении новой технологии осуществляется за счёт уменьшения числа технологических операций и применяемых для этого машин, орудий, оборудования и снижения расхода посевного материала (жёлудей).

2. Материалы и методы

Предлагаемый способ [7] включает последовательное выполнение ряда технологических операций одним агрегатом: образование борозды, оборота задерненного почвенного пласта и его укладки в виде сплошной ленты рядом с бороздой сферическим диском с отвалом (рисунок 1); фрезерование и рыхление посевной канавки волновым диском (рисунок 2), высева жёлудей высевающим аппаратом и заделку бороздки катком (рисунок 3).

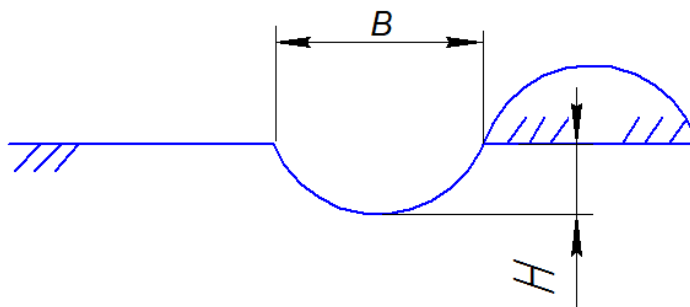


Рисунок 1. Укладка сферическим диском с отвалом

Figure 1. Laying with a spherical disk with a blade

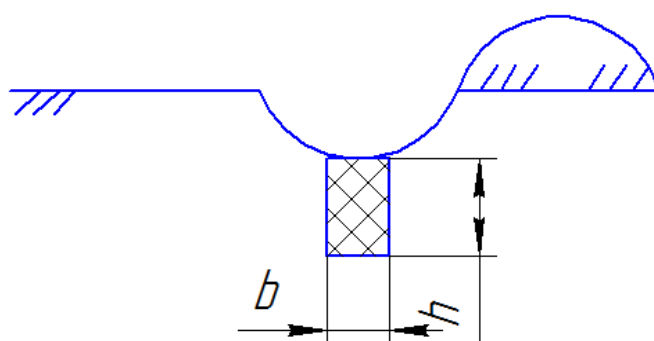


Рисунок 2. Фрезерование и рыхление посевной канавки волновым диском

Figure 2. Rotary cultivation and tillage of the seed furrow with a wave disk

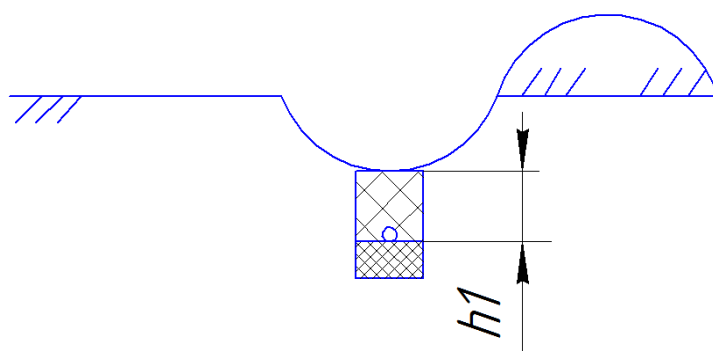


Рисунок 3. Высев и заделка бороздки катком

Figure 3. Seeding and damming of furrows with a roller

Обработка включает подрезание и снятие дернины сферическим диском на глубину $h = 60 \div 80$ мм с образованием бороздки, фрезерование посевной канавки волновым диском глубиной $h = 80 \div 100$ мм и высев семян на расстоянии $h_1 = 20 \div 30$ мм от дна канавки.

Предлагаемое орудие для реализации вышеописанной технологии изображено на рисунке 4. Устройство может агрегатироваться с трактором малой мощности и использоваться в ручном варианте.

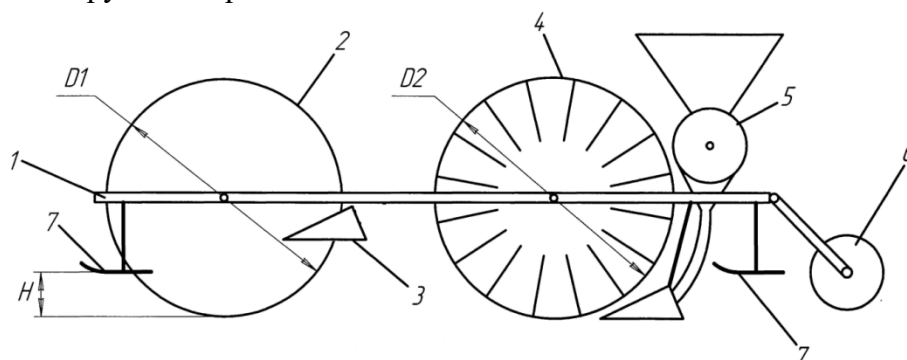


Рисунок 4. Орудие для подрезания и снятия дернины с образованием бороздки, фрезерования посевной канавки: 1 — рама, 2 — сферический диск, 3 — отвал, 4 — волновой диск, 5 — высеваящий аппарат, 6 — прикатывающий каток, 7 — полозья-опоры

Figure 4. The tool for sod cutting and removing with the formation of a furrow, rotary cultivation of the sowing furrow: 1 - frame, 2 - spherical disk, 3 - blade, 4 - wave disk, 5 - seeding machine, 6 - rolling roller, 7 - runners-supports

По условию надёжного оборота почвенного пласта для сферических дисков, работающих без перекрытия, диаметр диска определяют по выражению [8]: $D = \frac{B^2 \cos \beta}{4H \sin^2 \alpha} + \frac{H}{\cos \beta}$, где B, H, α, β — соответственно ширина и глубина бороздки, углы атаки и наклона относительно вертикали сферического диска.

Принимая во внимание описанную выше технологию посева (при $B = 3b$, где b — ширина посевной канавки), диаметр сферического диска определим по выражению $D_1 = (6,7 \div 7,2)H$, а диаметр волнового диска D_2 найдём из соотношения $D_2 = (1,30 \div 1,37)D_1$.

Качество обработки почвы в посевной бороздке является важнейшим показателем, влияющим на процесс лесовосстановления в целом (качество высева жёлудей, их всхожесть, рост и развитие растений). На качество обработки почвы существенное влияние оказывают её технологические свойства: связность, пластичность, липкость и влажность. Обработка почвы в оптимальном интервале влажности позволяет получить лучшее качество крошения, рыхления и перемешивания, обеспечивая высокую степень приживаемости семян, требует меньших тягово-энергетических усилий и затрат [3].

Волновой диск (фото 1), предназначенный для рыхления посевной бороздки, представляет собой металлический диск с гофрированной периферийной поверхностью. Диск, изготовленный из углеродистой стали, установлен на ступице для обеспечения вращения. Диаметр диска составляет 520 мм, а ширина «волн» по периферии равна 30 мм.

Рабочая кромка волнового диска заострена для снижения усилия вхождения в почву.



Фото 1. Волновой диск

Photo 1. The wave disk

Качество выполнения посевной бороздки определялось равномерностью её глубины [9]. Глубину обработки почвы проверяли в нескольких местах по длине гона по всей ширине захвата агрегата. Замеры производили линейкой (фото 2), путём погружения её в рыхлый слой до дна, после выравнивания двух соседних бороздок. Влажность почвы 10 %. При различных поступательных скоростях движения агрегата производили пробные проходы на экспериментальном участке. После прохода измеряли глубину бороздки по описанной выше методике в 10 точках участка. По результатам полученных данных вычисляли среднюю глубину посевной бороздки.



Фото 2. Профиломер-координатор

Photo 2. Profilometer-coordinator

Исследования предполагали построение регрессионной модели влияния скорости агрегата и глубины хода волнового диска на образование полевой бороздки [9]. Для решения поставленной задачи был реализован полный факторный эксперимент.

За варьируемые факторы были приняты: скорость агрегата (v) и глубина хода волнового диска (h) дискового корпуса, обозначение факторов и их уровни представлены в таблице 1. Функция отклика (y) — глубина полевой бороздки.

Таблица 1. Определение уровней и интервалов варьирования факторов

Table 1. Determination of levels and intervals of factors variation

Фактор		Уровни факторов, град.			Интервал варьирования	
Наименование	Обозначение		Верхний	Основной		Нижний
	Натуральное	Нормализованное				
Скорость агрегата, м/с	v	x_1	1,0	0,6	0,2	0,4
Глубина хода волнового диска, мм	h	x_2	120	100	80	20

Для проверки нормальности распределения выходной величины была проведена серия из 30 опытов при $v = 0,6$ м/с, $h = 100$ мм. Результаты этой серии представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты серии опытов

Table 2. The results of a series of experiments

№ опыта	Нв, Вт	№ опыта	Нв, Вт	№ опыта	Нв, Вт
1	86	11	89	21	89
2	88	12	87	22	92
3	87	13	83	23	85
4	88	14	90	24	89
5	86	15	88	25	85
6	89	16	86	26	85
7	88	17	89	27	89
8	90	18	94	28	87
9	88	19	87	29	90
10	93	20	88	30	86

3. Результаты

Статистическая обработка результатов этой серии была проведена с использованием программы Excel (таблица 3), расчётные значения $A_{S_{расч}} = 0,471$, $E_{X_{расч}} = 0,684$.

Таблица 3. Результаты расчёта в Excel

Table 3. Results calculation in Excel

Среднее	88
Стандартная ошибка	0,432
Медиана	88
Стандартное отклонение	2,399
Дисперсия выборки	5,757
Экцесс	0,684
Асимметричность	0,471
Минимум	83
Максимум	94
Уровень надёжности (95 %)	0,896

Табличные критические значения по абсолютной величине больше расчётных $A_{S_{крит}} > A_{S_{расч}}$ и $E_{X_{крит}} > E_{X_{расч}}$ ($0,865 > 0,684$; $0,661 > 0,471$), что свидетельствует в пользу гипотезы о нормальном распределении выходной величины.

Для уточнения гипотезы о нормальности распределения функции отклика проведём проверку по критерию χ^2 Пирсона. Для этого разбиваем выборку на шесть интервалов (таблица 4).

Расчётное значение критерия χ^2 Пирсона составило 5,19. Табличное значение критерия χ^2 Пирсона для данной выборки при трёх степенях свободы равно 7,815, исходя из ($7,815 > 5,19$), принимаем гипотезу нормального распределения случайной величины.

Определим необходимое количество дублированных опытов (n) по выражению $n = t^2 s^2 / \Delta^2 = 4,24 \approx 5$, где S^2 , Δ , t — соответственно дисперсия, доверительный интервал и критерий Стьюдента.

Матрица планирования основного эксперимента по определению мощности вращения диска и результаты опытов представлены в таблице 5, где \bar{y}_j , S_j^2 — соответственно среднее значение отклика и дисперсия.

Таблица 4. Расчёт критерия Пирсона

Table 4. Calculation of the Pearson criterion

Интервал	Левый конец интервала	Правый конец интервала	Середина интервала	Частота (p _i)	p _i (y _i - y _{cp}) ²	Частоты теоретические (p _{i теор})	(p _i - p _{i теор}) ² / p _{i теор}
1	83	84,9	83,95	1	18,547378	1,502269	0,16792897
2	84,9	86,8	85,85	7	40,544311	5,676917	0,30836247
3	86,8	88,7	87,75	10	2,5671111	10,10804	0,00115484
4	88,7	90,6	89,65	9	17,4724	8,480303	0,03184856
5	90,6	92,5	91,55	1	10,846044	3,352319	1,65062038
6	92,5	94,4	93,45	2	53,941422	0,624409	3,0304657

Таблица 5. Матрица планирования эксперимента

Table 5. Experiment planning matrix

№ опыта	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂	y ₁ , см	y ₂ , см	y ₃ , см	y ₄ , см	y ₅ , см	y _i	s _i
1	-1	-1	1	67	65	68	67	69	67,2	2,2
2	1	-1	-1	72	73	72	75	70	72,4	3,3
3	-1	1	-1	104	106	106	101	104	104,2	4,2
4	1	1	1	113	112	114	114	113	113,2	0,7

По критерию Кохрена проводим проверку однородности дисперсий опытов. Наибольшая дисперсия четвёртого опыта $S_4^2 = 4,2$. Отсюда $G_{расч} = 0,4038$.

По таблице распределения критерия Кохрена для нашего случая находим $G_{табл} = 0,72$. Неравенство $G_{расч} < G_{табл}$ позволяет сделать вывод об однородности дисперсий опытов. Регрессионную модель тягового усилия будем искать в виде многочлена $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2$. Расчётные коэффициенты регрессионной модели представлены в таблице 6.

Таблица 6. Коэффициенты регрессии математической модели

Table 6. Regression coefficients of the mathematical model

b ₀	b ₁	b ₂	b ₁₂
89,25	3,55	19,45	0,95

Предварительно определяем дисперсии коэффициентов регрессии: $S^2\{b_i\} = 0,13$.

Для каждого коэффициента регрессии среднее квадратичное отклонение составляет: $S\{b_i\} = 0,36$.

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 $f_y = 4$. Тогда $t_{табл} = 2,92$, следовательно, $t_{табл} S\{b_i\} = 1,05$.

Вышеуказанное соотношение не выполняется для коэффициентов b_{12} ($0,95 < 1,05$), поэтому этот коэффициент будем считать не значимым, а член $b_{12}x_1x_2$ исключаем из выражения.

Отбросив незначимые члены, получим регрессионную модель в следующем виде:

$$Y = 89,25 + 3,55 x_1 + 19,45 x_2. \quad (1)$$

Адекватность полученной модели проверим по F -критерию Фишера ($F_{табл}$), если $F_{расч} < F_{табл}$, то модель считается адекватной. В нашем случае расчётное значение $F_{расч} = 6,94$, а $F_{табл} = 8,53$, условие $F_{расч} < F_{табл}$ ($6,94 < 8,53$) выполняется, следовательно, модель адекватна и может быть использована для описания объекта исследования.

Используя выражение $x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i_0}}{I_i}$, где \tilde{x}_i , x_i — соответственно натуральное и нормализованное значение фактора; I_i — интервал варьирования; \tilde{x}_{i_0} — натуральное значение основного уровня, определим:

$$x_1 = (v - 0,6) / 0,4, \quad (2)$$

$$x_2 = (h - 100) / 20. \quad (3)$$

Подставив выражения (2), (3) в формулу (1) и выполнив преобразования, получим уравнение регрессии в натуральном виде:

$$y (mm) = -13,33 + 8,87v + 0,973h. \quad (4)$$

Проведён графический анализ полученной модели (4), представленный на рисунках 5, 6, 7.

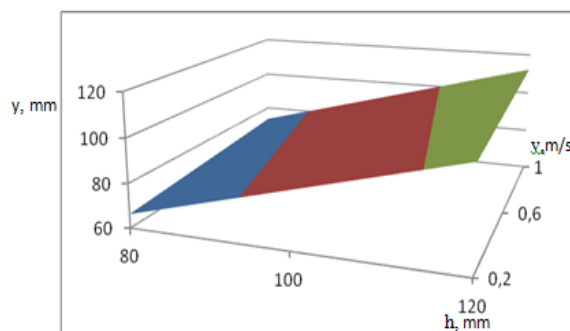


Рисунок 5. График зависимости глубины посевной бороздки от скорости орудия и глубины хода волнового диска

Figure 5. Graph of the seeding furrow depth dependence on the tool speed and wave disk digging depth

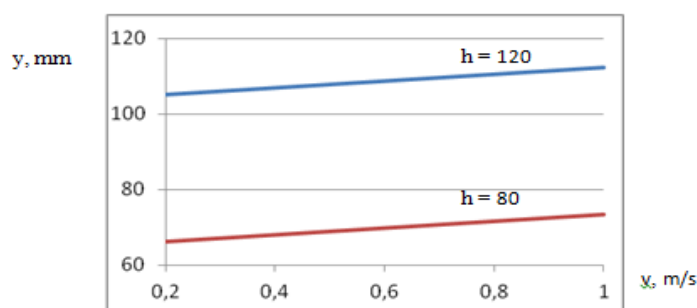


Рисунок 6. Графики зависимости глубины посевной бороздки от скорости орудия

Figure 6. Graphs of the seed furrow depth dependence on the tool speed

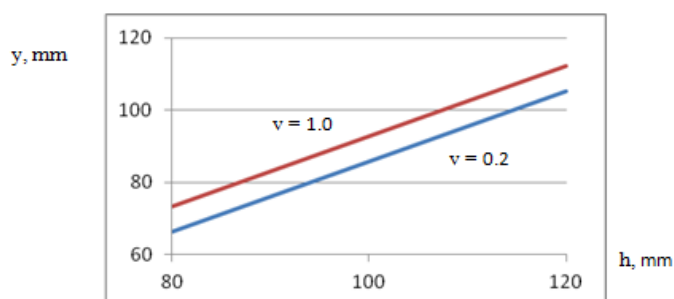


Рисунок 7. График зависимости глубины посевной бороздки от глубины хода волнового диска

Figure 7. Graph of the seed furrow depth dependence on the wave disk digging depth

Проанализировав результаты, можно отметить, что наиболее значимое влияние на глубину посевной бороздки оказывает изменение глубины хода волнового диска, менее сильное — изменение скорости орудия. С увеличением глубины хода волнового диска и скорости орудия глубина посевной бороздки повышается.

4. Заключение

Исследования позволили обосновать новую ресурсосберегающую технологию для восстановления дубрав посевом [7], разработать конструкцию орудия для реализации данной технологии, которая обеспечит требуемое качество высева и приживаемости сеянцев на лесных площадях; построить математическую модель влияния скорости агрегата и глубины хода волнового диска на образование посевной бороздки, позволяющую рекомендовать оптимальную глубину посевной бороздки для лесовосстановления посевом [10], [11], [12]. В результате проведённых исследований установлено, что в целях обеспечения требуемой глубины посевной бороздки необходимо установить глубину хода волнового диска больше минимальной величины глубины посевной бороздки. В процессе проведённой оптимизации выявлено, что оптимальной глубиной хода волнового диска является глубина, равная 10 см. При значениях глубины хода менее 10 см не будет обеспечиваться образование необходимой глубины посевной бороздки. Глубина хода волнового диска более 10 см нецелесообразна, т. к. ведёт к существенным энергопотерям, причём глубина рыхления посевной бороздки колеблется в пределах $\pm 6,2\%$ в зависимости от неровностей поверхности почвы. По результатам влияния скорости движения орудия на глубину посевной бороздки установлено, что происходит незначительное линейное увеличение средней глубины. Полученная регрессионная модель влияния скорости агрегата и глубины хода волнового диска на образование посевной бороздки, которая в дальнейшем может быть использована при разработке почвообрабатывающих машин.

С увеличением скорости движения орудия происходит незначительное линейное увеличение средней глубины посевной бороздки. Таким образом, скорость движения агрегата оказывает малое влияние на глубину посевной бороздки, образуемой волновым диском.

Список литературы

1. Direct Seeding Black Spruce and Jack Pine: A Field Guide for Northern Ontario / M. J. Adams [et al.]. 2005. 528 p.
2. *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. 2010.
3. Study of static and dynamic ploughing mechanisms by establishing generalized model with static milling forces / M. Wan M [et al.] // International Journal of Mechanical Sciences 114. 2016. P. 120—131. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2016.05.010.
4. *Grossnickle S. C., Ivetić V.* Direct Seeding in Reforestation // A Field Performance Review Reforesta 4. 2017. P. 94—142. DOI: 10.21750/REFOR.4.07.46.

5. Wennström U. Direct seeding of *Pinussylvestris* (L.) in the boreal forest using orchard or stand seed: PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. 2001.
6. Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019 / M. S. Khripchenko, A. I. Novikov, A. Goncharov, E. V. Snyatkov // Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 2019. P. 2438—2445.
7. Патент на изобретение 2727834 С1, 24.07.2020 / С. В. Зимарин, М. В. Драпалюк, М. С. Хрипченко, И. В. Четверикова. Заявл. № 2019144354 от 24.12.2019.
8. Нартов П. С. Дисковые почвообрабатывающие орудия. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1972. 181 с.
9. Chaudhary A. Testing of tillage implements: disc plough, mouldboard plough and disc harrow. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.25608.67840.
10. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years' / M. G. Freitas [et al]. // Forest Ecology and Management 438. 2019. P. 224—232. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.02.024.
11. Chaudhary A. 2019 Testing of tillage implements: disc plough mouldboard plough and disc harrow. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.25608.67840.
12. Зимарин С. В., Четверикова И. В. К обоснованию параметров корпуса дискатора для нераскорчёванных вырубков // Resources and Technology. 2020. № 3 (17). С. 97—110. DOI: 10.15393/j2.art.2020.5382.

References

1. Adams M. J. et al. *Direct Seeding Black Spruce and Jack Pine: A Field Guide for Northern Ontario*, 2005. 528 p.
2. 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*. 2010.
3. Wan M. et al. Study of static and dynamic ploughing mechanisms by establishing generalized model with static milling forces. *International Journal of Mechanical Sciences* 114, 2016, pp. 120—131. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2016.05.010.
4. Grossnickle S. C., Ivetić V. Direct Seeding in Reforestation. *A Field Performance Review Reforesta* 4, 2017, pp. 94—142. doi: 10.21750/REFOR.4.07.46.
5. Wennström U. *Direct seeding of Pinussylvestris* (L.) in the boreal forest using orchard or stand seed: PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. 2001.
6. Khripchenko M. S., Novikov A. I., Goncharov A., Snyatkov E. V. Reducing the impact of transport machinery and equipment on the environment during reforestation 2019 An innovative approach Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference IBIMA 2019. *Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020*, 2019, pp. 2438—2445 (In Russ.)
7. Zimarin S. V., Drapalyuk M. V., Khripchenko M. S., Chetverikova, I. V. RU Patent no. 2727834 C1, 24 december 2019. (In Russ.)
8. Nartov P. S. Disk tillage equipment [Diskovye pochvoobrabatyvayushchie orudiya]. Voronezh, VSU Publishing House, 1972. (In Russ.)
9. Chaudhary A. *Testing of tillage implements: disc plough, mouldboard plough and disc harrow*, 2019. doi: 10.13140/RG.2.2.25608.67840.
10. Freitas M. G. et al. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years'. *Forest Ecology and Management* 438, 2019, pp. 224—232. doi: 10.1016/j.foreco.2019.02.024.

11. Chaudhary A. *Testing of tillage implements: disc plough mouldboard plough and disc harrow*. 2019. doi: 10.13140/RG.2.2.25608.67840.
12. Zimarin S. V., Chetverikova I. V. The study of the process of the turnover of soil layer body of the disc cutter on proscaronline clearings. *Resources and Technology*, 2020, no. 3 (17), pp. 97—110. doi: 10.15393/j2.art.2020.5382. (In Russ.)

© Зимарин С. В., Хрипченко М. С., Четверикова И. В., 2022