

DOI: 10.15393/j2.art.2021.5542

УДК 630\*65.011.54

Статья

## Исследование процесса оборота почвенного пласта новым корпусом дискатора на нераскорчёванных вырубках

**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: 4 декабря 2020 / Принята: 12 февраля 2021 / Опубликовано: 22 февраля 2021*

---

**Аннотация:** В статье проведены аналитические исследования процесса оборота почвенного пласта комбинированным корпусом плуга, представлен принцип работы нового корпуса дискатора. Рассмотрены технологии лесовосстановления, позволяющие избегать корчевки пней, наносящие наименьший вред экологии вырубки и экономящие материальные средства. Установлено, что дисковые орудия на нераскорчёванных вырубках существенно превосходят лемешные плуги в плане обеспечения требуемой проходимости. Выявлены отличительные преимущества дискаторов, заключающиеся в индивидуальном креплении дисковых корпусов к раме орудия, позволяющем исключить забивание корпуса почвой и растительными остатками. Предложена конструкция корпуса дискатора, обеспечивающая на вырубках требуемое качество оборота почвенного пласта. Проведены экспериментальные исследования, получено выражение, позволяющее определять оптимальные параметры корпуса дискатора. Представлены результаты исследования зависимости угла неустойчивого равновесия пласта от конструктивно-технологических параметров орудия. Применение предложенной конструкции минимизирует затраты, повышая производительность орудий. Предлагаемое техническое решение может быть эффективно использовано в рамках ресурсосберегающих технологий лесовосстановительных работ.

**Ключевые слова:** лесное хозяйство; вырубка леса; дисковые орудия; дисковый корпус; основная обработка почвы

---

DOI: 10.15393/j2.art.2021.5542

Article

## The study of the process of soil layer body turnover with a disc cutter on ungrubbed clearings

**Zimarin Sergey**

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

**Chetverikova Irina**

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

*Received: 4 December 2020 / Accepted: 12 February 2021 / Published: 22 February 2021*

---

**Abstract:** The article aims at substantiation of technological parameters of the disc cutter for the main processing of the soil on forest land. The article presents analytical studies of the process of soil layer turnover by the combined plow body, and the principle of operation of a new disc cutter body. The article considers the reforestation technologies that allow avoiding the uprooting of stumps, causing the least harm to the environment and saving material resources. It is established that the off-road capacity of disc tools on ungrubbed clearings significantly exceed that of plough shares. The distinctive advantage of disc cutters is that they could be individually attached to the unit frame, thus avoiding clogging of the body with soil and plant residues. The design of the disc cutter body is proposed, which ensures the required quality of the soil layer turnover in the cuttings. Experimental studies were carried out, and a formula was obtained that allows determining the optimal parameters of the disc cutter body. The results of the study of the dependence of the unstable equilibrium angle of the soil layer on the structural and technological parameters of the tool are presented. The use of the proposed design minimizes costs by increasing the productivity of tools and by resource and energy saving. The proposed disc cutter body may be used in new designs of multifunctional tools developed for rational resource-saving technologies of reforestation.

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

---

## 1. Введение

На лесных площадях целесообразно выполнять частичную обработку почвы в виде нарезки плужных борозд или полос. Такая технология позволяет избежать проведения энерго- и материальнозатратных операций по корчеванию пней. Параллельно с этим уменьшается отрицательное экологическое воздействие, возникающее при раскорчевке пней, т. к. при этом вместе с пнями удаляется верхний гумусированный слой почвы и обнажаются нижележащие бесструктурные горизонты. Расчищенная полоса приобретает в поперечном сечении ложбинный профиль, способствующий застою воды и локальному заболачиванию. Культуры, посаженные на таких полосах, слабо развиваются и часто гибнут [1, [2], [3], [4], [5].

Полосная вспашка проводится многокорпусными дисковыми и лемешными плугами. Лемешные плуги полностью оборачивают почвенный пласта, что обеспечивает заделку растительных остатков в верхний слой почвы, способствуя, таким образом, накоплению гумуса. Но лемешные плуги малоэффективны на нераскорчеванных вырубках, т. к. имеют низкую проходимость, плохо преодолевают встречающиеся препятствия (пни, корни и т. п.), испытывают большие ударные нагрузки при встрече с ним.

Дисковые плуги лишены этого недостатка, однако, как показали проведенные исследования, сферические диски ни при каких конструктивно-технологических параметрах не могут обеспечить полный оборот почвенного пласта [6], [7], [8], [9], [10]. Индивидуальное крепление дисковых корпусов к раме орудия — отличительная черта конструкции дискаторов, позволяющая исключить забивание орудия почвой и растительными остатками [11], [12], [13].

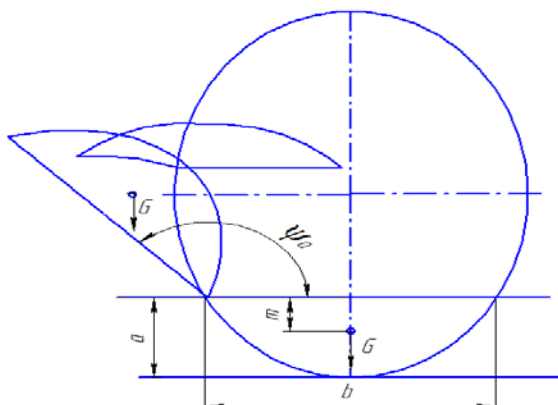
В представленной работе проведено исследование процесса оборота почвенного пласта корпусом дискатора, т. к. оборот почвенного пласта является значимым критерием, определяющим качество бороздной подготовки задернелых почв. При этом подрезанный плужным корпусом почвенный пласт необходимо полностью обернуть, сохранив его форму или частично деформируя, и уложить рядом с бороздой на необработанную поверхность почвы. Только тогда процесс обработки будет качественным и экономически целесообразным.

## 2. Материалы и методы

Рассмотрим схему оборота почвенного пласта под действием на него сферического дискового корпуса плуга, схема которого приведена на рисунке 1.

При первоначальном подъёме пласт, повернувшись на угол  $\psi$ , стремится занять своё начальное положение под действием опрокидывающего момента.

Повернувшись на угол  $\psi_0$ , пласт занимает положение неустойчивого равновесия. Пласт полностью оборачивается и укладывается на поверхность почвы, когда угол поворота  $\psi > \psi_0$ . Эту задачу по обеспечению поворота почвенного пласта на требуемый угол решает полувинтовой отвал [1].



**Рисунок 1.** Схема оборота почвенного пласта:  $G$  — вес пласта, кг;  $m$  — расстояние центра тяжести поперечного сечения пласта от поверхности почвы, см;  $a$  — глубина обработки, см;  $b$  — ширина борозды, см

**Figure 1.** Flow chart of the soil layer:  $G$  — the weight of the layer, kg;  $m$  — the distance of the center of gravity of the cross-section of the layer from the soil surface, cm;  $a$  — the depth of treatment, cm;  $b$  — the width of the furrow, cm

Величина угла, при котором пласт занимает положение неустойчивого равновесия, зависит от формы поперечного сечения пласта и находится из выражения (1):

$$\psi_0 = 90^\circ + \operatorname{arctg} \frac{2m}{b}. \quad (1)$$

Определим величину  $m$ , отыскав координаты центра тяжести поперечного сечения пласта.

При вертикальном расположении диска поперечное сечение пласта имеет форму сегмента эллипса. Уравнение эллипса в этом случае будет иметь вид:

$$\frac{z^2}{\frac{D^2}{4}} + \frac{y^2}{\frac{D^2}{4} \sin^2 \alpha} = 1, \quad (2)$$

где  $D$  — диаметр диска, см.

Определим площадь поперечного сечения пласта  $F_{nl}$ :

$$F_{nl} = \sin \alpha \left[ \left( a - \frac{D}{2} \right) \sqrt{a(D-a)} + \frac{D^2}{4} \left( \arcsin \frac{a - \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} + \frac{\pi}{2} \right) \right], \quad (3)$$

Определим координаты центра тяжести поперечного сечения пласта. Поперечное сечение расположено симметрично относительно оси  $z$ , поэтому  $y_z = 0$ . Отсюда

$$z_y = -\frac{2 \sin \alpha}{3F_{nl}} \sqrt{[a(D-a)]^3}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  — угол атаки, град. Тогда

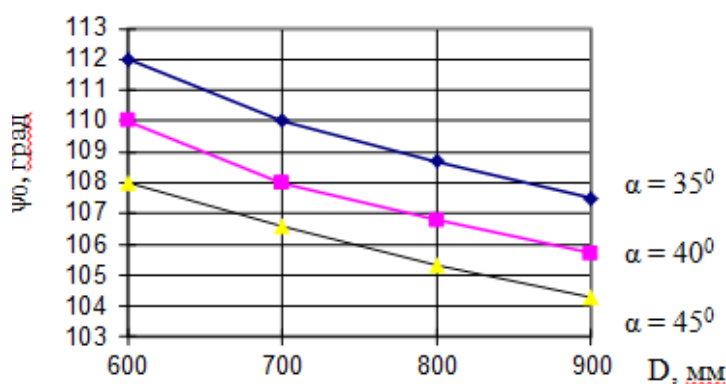
$$m = \frac{2\sqrt{[a(D-a)]^3}}{3 \left[ \left( a - \frac{D}{2} \right) \sqrt{a(D-a)} + \frac{D^2}{4} \left( \arcsin \frac{a - \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} + \frac{\pi}{2} \right) \right]} - \left( \frac{D}{2} - a \right). \quad (5)$$

На рисунке 2 изображена конструкция корпуса дискатора [12].

Исследования оборота почвенного пласта были проведены согласно полному факторному плану [13] в УОЛ ВГЛТУ: твёрдость почвы 17—22 кг/см<sup>2</sup>, влажность 6—8 %, глубина обработки 15 см; конструктивные характеристики сферического диска корпуса дискатора: наружный диаметр 770 мм, диаметр отверстия 540 мм, радиус кривизны 1200 мм.

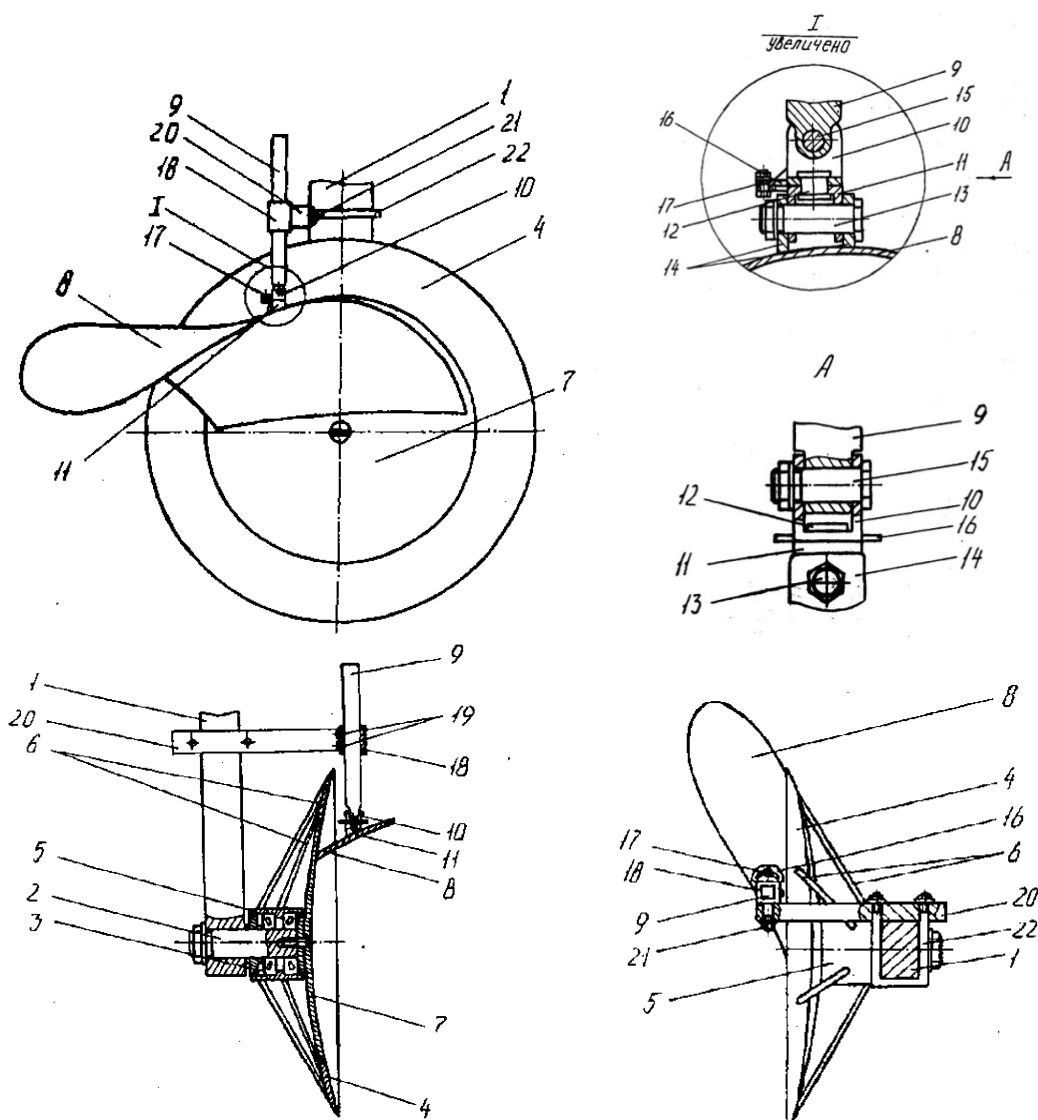
### 3. Результаты

Проанализируем аналитическое выражение (1). Из графиков, описывающих зависимость угла неустойчивого равновесия пласта от диаметра диска (рисунок 3), от глубины обработки почвы (рисунок 4) и угла атаки (рисунок 5), видно: с увеличением диаметра диска происходит уменьшение угла неустойчивого равновесия; с увеличением глубины обработки угол неустойчивого равновесия увеличивается; с уменьшением угла атаки угол неустойчивого равновесия увеличивается.



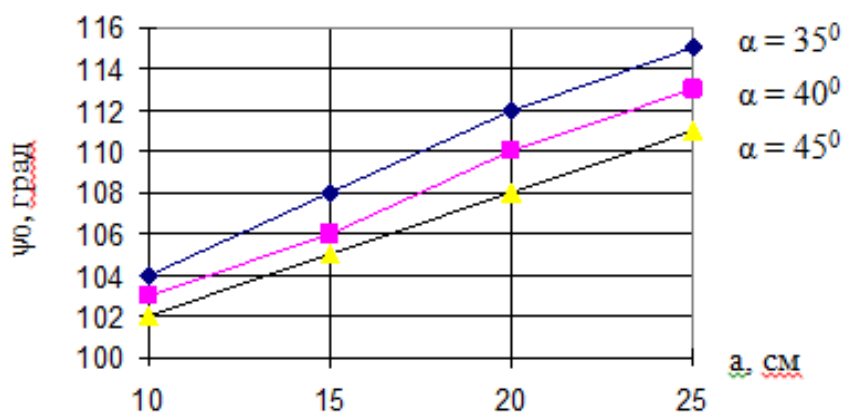
**Рисунок 3.** Графики зависимости угла неустойчивого равновесия пласта ( $\psi_0$ , град.) от диаметра диска ( $D$ , мм)

**Figure 3.** Graphs of the dependence of the unstable equilibrium angle of the formation ( $\psi_0$ , deg) on the diameter of the disk ( $D$ , mm)



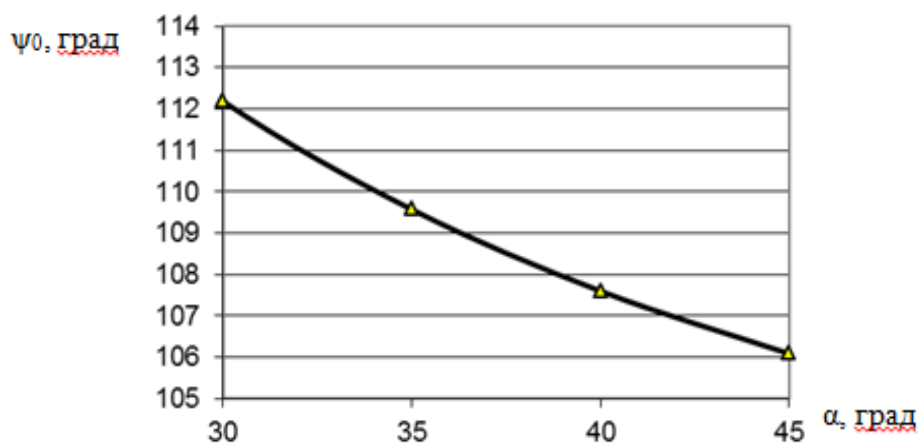
**Рисунок 2.** Конструкция корпуса дискатора: 1 — стойка; 2 — ось; 3 — подшипники; 4 — сферический диск; 5 — корпус; 6 — спицы; 7 — грудь отвала; 8 — крыло отвала; 9 — кронштейн; 10 — верхняя проушина; 11 — нижняя проушина; 12 — палец; 13, 15, 17 — болт; 14 — щека; 16 — площадка с криволинейным пазом; 18 — направляющая; 19 — винт; 20 — консоль; 21 — гайка; 22 — хомут

**Figure 2.** Design of the disc cutter body: 1 — rack; 2 — axle; 3 — bearings; 4 — spherical disk; 5 — body; 6 — spokes; 7 — blade chest; 8 — blade wing; 9 — bracket; 10 — upper eye; 11 — lower eye; 12 — pin; 13, 15, 17 — bolt; 14 — cheek; 16 — platform with a curved groove; 18 — guide; 19 — screw; 20 — console; 21 — nut; 22 — clamp



**Рисунок 4.** Графики зависимости угла неустойчивого равновесия пласта ( $\psi_0$ , град.) от глубины обработки почвы ( $a$ , см).

**Figure 4.** Graphs of the dependence of the unstable equilibrium angle of the layer ( $\psi_0$ , deg) on the depth of tillage ( $a$ , cm)



**Рисунок 5.** График зависимости угла неустойчивого равновесия пласта от угла атаки при  $D = 770$  мм

**Figure 5.** Graph of the dependence of the unstable equilibrium angle of the formation on the angle of attack at  $D = 770$  mm

Предварительно было проведено 30 разведывательных опытов для проверки гипотезы о нормальном распределении функции отклика при  $\alpha = 35^\circ$ ,  $\beta = 10^\circ$ ,  $\Theta = 0^\circ$ .

Результаты разведывательных опытов приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Результаты разведывательных опытов

**Table 1.** The results of testing experiments

№ опыта	у <sub>N</sub> ,%	№ опыта	у <sub>N</sub> ,%	№ опыта	у <sub>N</sub> ,%
1	85	11	80	21	83
2	74	12	85	22	84
3	69	13	84	23	85
4	73	14	67	24	78
5	84	15	84	25	82
6	80	16	80	26	82
7	86	17	86	27	88
8	84	18	78	28	79
9	79	19	84	29	84
10	76	20	82	30	82

На основании предварительных опытов была составлена и реализована матрица полного факторного эксперимента  $2^3$  по определению качества оборота пласта.

Варьируемые факторы — технологические параметры корпуса дискатора (таблица 2): угол поворота отвала ( $\Theta$ , град.), угол атаки ( $\alpha$ , град.) и угол наклона ( $\beta$ , град.).

За функцию отклика принято количество обёрнутых пластов ( $\gamma$ , %).

Результаты эксперимента представлены в таблице 3 ( $\bar{y}_j$ ,  $S_j^2$  — соответственно среднеарифметическое значение функции отклика и выборочная дисперсия по каждой серии дублированных опытов), при этом число дублированных опытов принято равным 5.

**Таблица 2.** Уровни и интервалы варьирования факторов

**Table 2.** Levels and intervals of variation of factors variation

Наименование	Фактор		Уровни факторов			Интервал варьирования
	Обозначение		верхний	основной	нижний	
	натуральное	нормализованное				
Угол атаки	$\alpha$	$x_1$	45	40	35	5
Угол наклона	$\beta$	$x_2$	20	15	10	5
Угол поворота отвала	$\Theta$	$x_3$	20	10	0	10



**Таблица 3.** Матрица полного факторного плана

**Table 3.** Matrix of the full factor plan

№ 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	-	-	-	+	+	+	-	83	82	79	80	82	81,2	2,7
2	+	-	-	-	-	+	+	99	100	100	99	100	99,4	0,3
3	-	+	-	-	+	-	+	67	68	69	69	71	71,8	2,2
4	+	+	-	+	-	-	-	92	92	90	93	91	91,6	1
5	-	-	+	+	-	-	+	83	83	84	85	85	84	2,5
6	+	-	+	-	+	-	-	100	100	100	100	99	99,8	0,2
7	-	+	+	-	-	+	-	74	76	75	72	74	74,2	2,2
8	+	+	+	+	+	+	+	91	93	92	94	90	92	2,5

При равномерном дублировании для оценки однородности дисперсий опытов используем критерий Кохрена. Максимальная выборочная дисперсия — дисперсия первого опыта ( $S_1^2 = 2,7$ ), следовательно, расчётное значение критерия Кохрена составит:  $G_{расч} = 0,176$ . Найдём табличное значение критерия Кохрена (при уровне значимости  $q = 0,01$  и числе степеней свободы  $f = 4$ ) —  $G_{табл} = 0,46$ . Исходя из соотношения  $G_{расч} < G_{табл}$  ( $0,176 < 0,46$ ), принимаем гипотезу об однородности дисперсий. Затем рассчитываем оценку дисперсии воспроизводимости как среднее арифметическое выборочных дисперсий.

На основании предварительных аналитических исследований принимаем линейную модель уравнения регрессии, следовательно, уравнение регрессии будем искать в виде:  $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$ .

В таблице 4 представлены коэффициенты регрессии выбранной математической модели.

**Таблица 4.** Коэффициенты регрессии

**Table 4.** Regression coefficients

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{123}$
86,4	9,35	-4,75	1,1	0,8	-0,95	0,35	-0,03

Выполним оценку значимости коэффициентов регрессии, предварительно определив дисперсии коэффициентов регрессии:  $S^2\{b_i\} = 0,039$ .

Среднее квадратичное отклонение для каждого коэффициента регрессии составляет:  $S\{b_i\} = 0,198$ . Для оценки значимости коэффициентов регрессии необходимо проверить для каждого из них соотношение:  $|b_i| \leq t_{табл}S\{b_i\}$ .

Величина  $t_{\text{табл}}$  определяется из таблиц t-распределения Стьюдента при уровне значимости  $q = 0,01$  и числе степеней свободы  $f_y$ . Поскольку имеет место равномерное дублирование, расчётная величина  $f_y$  будет равна 32. Тогда  $t_{\text{табл}} = 2,73$ , следовательно:  $t_{\text{табл}} S\{b_i\} = 0,537$ .

Вышеуказанное соотношение не выполняется для коэффициентов  $b_{23}$  ( $0,325 < 0,537$ ) и  $b_{123}$  ( $0,025 < 0,537$ ), поэтому эти коэффициенты будем считать не значимыми, а соответствующие члены  $b_{23}x_2x_3$  и  $b_{123}x_1x_2x_3$  исключаем из уравнения регрессии.

Регрессионная зависимость после отбрасывания незначимых членов примет вид:

$$Y = 86,4 + 9,35x_1 - 4,75x_2 + 1,1x_3 + 0,8x_1x_2 - 0,95x_1x_3, \quad (6)$$

Используя выражение

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{I_i}, \quad (7)$$

где  $\tilde{x}_i$  — натуральное значение фактора;  $x_i$  — нормализованное значение фактора;  $\tilde{x}_{i0}$  — натуральное значение основного уровня;  $I_i$  — интервал варьирования, определим:

$$x_1 = (\alpha - 40)/5, \quad (8)$$

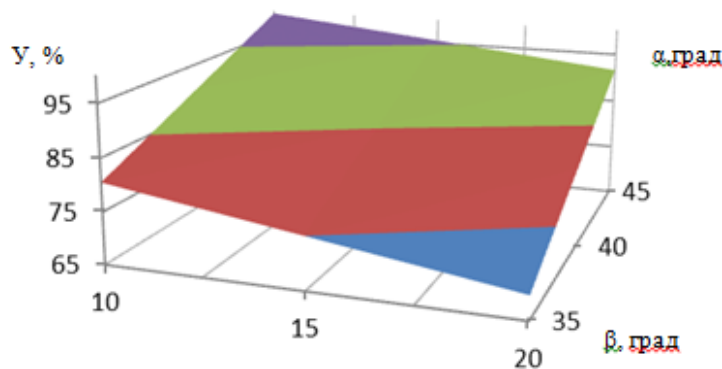
$$x_2 = (\beta - 15)/5, \quad (9)$$

$$x_3 = (\Theta - 10)/10. \quad (10)$$

Подставив выражения (8), (9) и (10) в зависимость (6) и выполнив преобразования, получим уравнение регрессии в натуральном виде:

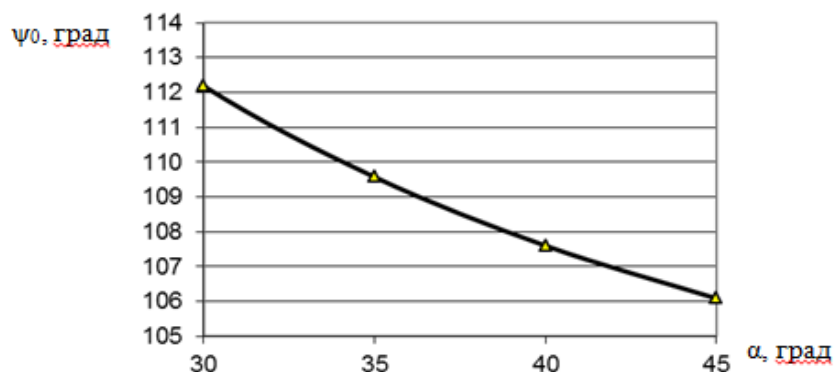
$$[Y = 36,35 + 1,58\alpha - 2,23\beta + 0,87\Theta + 0,032\alpha\beta - 0,019\alpha\Theta]. \quad (11)$$

На рисунках 6, 7 представлены графики зависимостей оборота пласта от различных углов атаки.



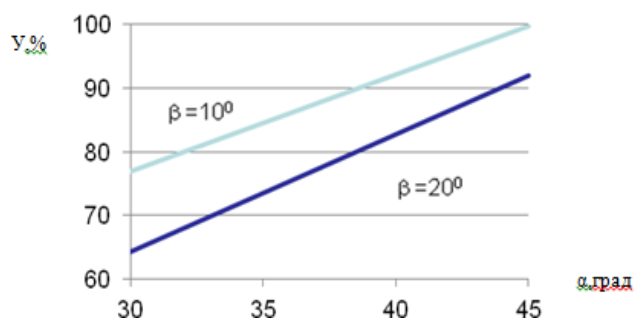
**Рисунок 6.** График зависимости оборота пласта от угла атаки при  $\Theta = 0^0$

**Figure 6.** Graph of the dependence of the formation turnover on the angle of attack at  $\Theta = 0^0$



**Рисунок 7.** График зависимости оборота пласта от угла атаки при  $\Theta = 0^0$

**Figure 7.** Graph of the dependence of the formation turnover on the angle of attack at  $\Theta = 0^0$



**Рисунок 8.** Графики зависимости оборота пласта от угла атаки при  $\Theta = 20^0$

**Figure 8.** Graphs of the dependence of the formation turnover on the angle of attack at  $\Theta = 20^0$

Проведя графический анализ рисунков 6, 7, 8 полученной модели (11), можно отметить, что наиболее сильное влияние на изменение оборота пласта оказывает изменение угла атаки, менее сильным является изменение угла наклона относительно вертикали, самым минимальным — влияние изменения угла поворота отвала. Причём с увеличением угла атаки и угла поворота отвала оборот пласта повышается, а с увеличением угла наклона относительно вертикали — уменьшается. При этом при меньших углах атаки угол поворота отвала оказывает более сильное влияние на оборот пласта.

#### 4. Заключение

В результате проведённых исследований выявлено, что чем больше диаметр диска, тем меньше угол неустойчивого равновесия; чем больше глубина обработки почвы, тем больше угол неустойчивого равновесия; чем меньше угол атаки, тем больше угол неустойчивого равновесия. Таким образом, исследования позволили построить математическую модель оборота почвенного пласта, которая даёт возможность обосновать оптимальные

технологические параметры корпуса дискатора, обеспечивающие требуемое качество оборота пласта и достаточную проходимость орудия на нераскорчёванных вырубках.

Регрессионная зависимость оборота пласта может быть использована при разработке почвообрабатывающих машин. Корпус дискатора может входить в конструкции многофункциональных (комбинированных) орудий, разрабатываемых в рамках рациональной ресурсосберегающей технологии лесовосстановительных работ.

### Список литературы

1. Factors affecting the success of direct seeding for lowland afforestation in the UK Forestry / I. Willoughby, R. L. Jinks, G. Kerr and P. G. Gosling. 2004. No. 77 (5). 467 p. DOI: 10.1093/forestry/77.5.467.
2. Mechanical site preparation for forest restoration / M. Löf, D. C. Dey, M. Navarro and D. F. Jacobs // *New Forests*. 2012. No. 43 (5—6). P. 825. DOI: 10.1007/s11056-012-9332-x.
3. Soil organic matter and nitrogen cycling in response to harvesting, mechanical site preparation, and fertilization in a wetland with a mineral substrate / J. W. McLaughlin, M. R. Gale, M. F. Jurgensen and C. C. Trettin // *Forest Ecology and Management* // 2000. No. 129 (1—3) 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. Soil properties in site prepared loblolly pine (*Pinus taeda* L.) stands 25 years after wet weather harvesting in the lower Atlantic coastal plain / C. M. Neaves III, W. M. Aust, M. C. Bolding, S. M. Barrett, C. C. Trettin and E. Vance // *Forest Ecology and Management*. 2017. 344 p. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.08.015.
7. Site preparation techniques for forest restoration / M. Löf, B. T. Ersson, J. Hjältén, T. Nordfjell, J. A. Oliet and I. Willoughby // *Restoration of Boreal and Temperate Forests (Second Edition)*. 2016. P. 85—102. DOI: 10.1201/b18809.
8. Historic transfer of forest reproductive material in the Nordic region: drivers, scale and implications *Forestry* / T. Myking, M. Rusanen, A. Steffenrem, E. D. Kjær and G. Jansson. 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. 32. 163 p. 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. Зимарин С. В., Четверикова И. В. К обоснованию параметров корпуса дискатора для нераскорчёванных вырубков // *Resources and Technology*. 2020 № 3, т. 17. С. 97—110. DOI: 10.15393/j2.art.2020.5382.

## References

1. Willoughby I. et al. *Factors affecting the success of direct seeding for lowland afforestation in the UK Forestry*, 2004, no. 77(5), 467 p. doi: 10.1093/forestry/77.5.467.
2. Löf M. et al. Mechanical site preparation for forest restoration. *New Forests*, 2012, no. 43 (5—6), p. 825. doi: 10.1007/s11056-012-9332-x
3. McLaughlin J. W. et al. 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) 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 C. M. III et al. 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. et al. Site preparation techniques for forest restoration. *Restoration of Boreal and Temperate Forests (Second Edition)*, 2016, pp. 85—102. doi: 10.1201/b18809.
8. Myking T. et al. *Historic transfer of forest reproductive material in the Nordic region: drivers, scale and implications Forestry*, 2016, no. 89 (4), pp. 325. 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. 32, 163 p. 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*, 2012, no. 4(8), pp. 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. 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, vol. 17, pp. 97—110. doi: 10.15393/j2.art.2020.5382. (In Russ.)