

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ПОЧВЫ ПО РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСКОВОГО КУЛЬТИВАТОРА****Валиев А.Р.**

**Реферат.** Представлены результаты теоретических исследований дискового культиватора, рабочие органы которого состоят из двух плоских дисков, наклоненных друг к другу в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Расстояние между верхними передними кромками дисков больше, чем между нижними задними. При движении дисков в почве пласт защемляется между ними, отрывается от дна борозды, поднимается незначительно вверх и укладывается обратно в борозду в разрыхленном состоянии. Основными конструктивными и регулировочными параметрами рабочего органа являются угол наклона дисков  $\gamma$ , расстояние между дисками  $d$  и радиус дисков  $R$ . Целью данной работы является теоретическое исследование процесса движения пласта почвы в междисковом пространстве и обоснование конструктивных и регулировочных параметров разработанного дискового культиватора. На основании методов теоретической механики исследованы условия отделения частиц почвы от основного монолита и их движение по рабочей поверхности дисков. Получены уравнения, описывающие траектории движения частиц почвы с учетом конкретных почвенных условий, характеризующихся основными механическими параметрами почвы, а также в зависимости от параметров рабочего органа и глубины обработки почвы. По результатам решения этих уравнений установлено, что в процессе работы на глубине до 16 см, при расстоянии между дисками  $d = 0,15 \dots 0,20$  м, углах наклона дисков  $\gamma = 6 \dots 90$  и радиусе дисков  $R = 0,25$  м, пласт почвы будет гарантированно отрываться от монолита, приподниматься до высоты выше горизонтальной оси дисковых рабочих органов и сходиться с междискового пространства. При этом с одной стороны, достигается предельное значение относительной деформации почвы в обрабатываемом слое, обеспечивается ее разрушение и крошение, а с другой – исключается перекидывание частиц почвы вперед и забивание рабочих органов дискового культиватора.

**Ключевые слова:** обработка почвы, дисковый культиватор, ротационное орудие, деформация почвы, траектория движения почвы, энергоёмкость.

**Введение.** Ротационные орудия с дисковыми рабочими органами широко применяются для поверхностной обработки почвы при возделывании сельскохозяйственных культур по различным технологиям. Они обладают рядом преимуществ, которые делают их предпочтительными в сравнении с другими орудиями, предназначенными для выполнения той же операции. Это простота конструкции, меньшая энергоёмкость, более высокая технологическая надёжность, относительно низкий износ рабочих органов и др. [1, 2, 3, 6, 8].

Однако, как показывает анализ исследований в этой области, все еще не полностью используются потенциальные возможности дисковых рабочих органов. В России и во многих других передовых странах Европы, США, Канаде активно проводятся исследования по разработке и совершенствованию почвообрабатывающих орудий на основе дисковых рабочих органов [4, 5, 7, 9]. Так, в процессе работы сферических дисковых рабочих органов, которые получили наибольшее распространение для поверхностной обработки почвы, отделение обрабатываемого слоя почвы от монолита и его крошение в большей степени происходят за счет деформаций сжатия и изгиба. В то же время, сопротивление деформации сжатия требует наибольшего усилия, а деформации

разрыва – наименьшего. Например, если принять сопротивление разрыву почвы за 1, то сопротивление деформациям сжатия, сдвига и изгиба будут соответственно равны 13, 2 и 10. То есть, в зависимости от типа и влажности почвы, временное сопротивление сжатию почти в 13...20 раз больше, чем временное сопротивление разрыву, и в 2...3 раза больше сопротивления сдвигу [10]. Из этого следует, что наиболее рациональным при обработке почвы является использование деформаций растяжения и сдвига.

Учитывая вышеизложенное, нами разработан культиватор, рабочие органы которого состоят из двух плоских дисков, наклоненных друг к другу в горизонтальной и вертикальной плоскостях так, что расстояние между верхними передними кромками дисков было больше, чем между нижними задними [11, 12]. При движении дисков в почве пласт защемляется между ними, отрывается от дна борозды, поднимается незначительно вверх и укладывается обратно в борозду в разрыхленном состоянии. В процессе работы дисков происходит разрушение и отрыв обрабатываемого слоя от основного монолита за счет растягивающих деформаций.

**Цель исследования.** Целью данной работы является теоретическое исследование процес-

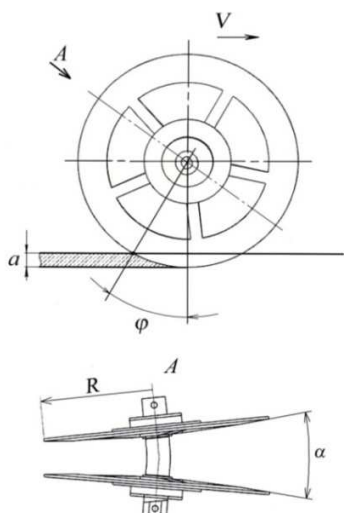


Рисунок 1 – Секция дискового культиватора

са движения пласта почвы в междисковом пространстве и обоснование конструктивных и регулировочных параметров разработанного дискового культиватора.

**Условия, материалы, методы и объекты исследования.** Рабочие органы дискового культиватора представляют собой отдельные секции (рис. 1), состоящие из двух дисков, установленных на изогнутой оси с возможностью свободного вращения. Плоскости вращения дисков образуют между собой угол  $\alpha$ . Линии изгиба осей каждой секции лежат в одной плоскости, отклоненной от вертикали в сторону поступательного движения орудия  $V_e$  на угол  $\varphi$ , при котором обеспечивается минимальное расстояние между дисками на уровне поверхности почвы в зоне их выхода. Значение угла  $\varphi$ , удовлетворяющего этому условию, определили по формуле:

$$\varphi = \arccos \left( 1 - \frac{a}{R} \right), \quad (1)$$

где  $a$  – глубина погружения дисков в почву, м;

$R$  – радиус дисков, м.

На рисунке 2 представлен общий вид экспериментального орудия для проведения лабораторно-полевых исследований.

Теоретические исследования процесса деформации пласта почвы, характера его разрушения в междисковом пространстве представлены в работе [13].

**Результаты исследования.** Для оптимизации конструктивных и регулировочных параметров рабочего органа (угол наклона дисков  $\gamma$ , расстояние между дисками  $d$  и радиус дисков  $R$ ) с учетом конкретных почвенных условий, характеризуемых основными механическими параметрами почвы, а также в зависи-



Рисунок 2 – Экспериментальное орудие для лабораторно-полевых исследований

мости от глубины обработки необходимо исследовать условия отделения частиц почвы от монолита и их движение по рабочей поверхности дисков.

Зададимся координатой  $z(t)$  почвы в осях, связанных с рамой машины, при которой достигнута относительная деформация разрушения  $\varepsilon_{np}$  для определенного сочетания параметров установки дисков ( $\varphi$ ,  $\gamma$ ) и глубины обработки почвы  $a$  (рис. 3). При этом связь между углами  $\varphi$  и  $\gamma$  определяется выражением:  $tg\varphi_2 = tg\varphi \cos\gamma$ , так как  $\varphi$  – это проекция угла  $\varphi_2$  на плоскость  $(z, y)$ . Величина  $b$  – смещения дисков от начала отсчета равна:  $b = d/2 = R + \sin\gamma$ , где  $d$  – минимальное расстояние между дисками на окружности радиуса  $R$ .

Этой координате  $z(t)$  соответствует некоторый угол радиус вектора точки диска  $\varphi_{2np}$ , при котором произошло разрушение массива почвы по кромке диска на радиусе  $R$ . Угол  $\gamma$  отклонения диска от вертикальной плоскости мал  $\gamma = 3 \dots 9^\circ$ , поэтому полагаем, что  $\cos\gamma \approx 1$ . В этом случае условия отрыва частиц почвы по линии радиуса, направленного по  $\varphi_{2np}$  в момент, когда параметр  $t = t_{np}$ , представим в виде:

$$\tau_g \left( \frac{R \cos \varphi_{2np} - R + a}{\cos \varphi_{2np}} \right) \geq \tau_m \cdot x(t_{np}) \quad (2)$$

где  $\tau_g$  – касательные напряжения, возникающие при трении почвы о диск

$$\tau_g = C + P_i tg\varphi,$$

$C$  – сцепление почвы,  $C = 0,18$  МПа;

$tg\varphi$  – коэффициент трения почвы,  $\varphi = 31^\circ$ ;

$P_i$  – нормальные напряжения.

Нормальные напряжения  $P_i$  определим по относительной деформации [13] с помощью диаграммы  $\sigma(\varepsilon)$  для середины линии взаимо-

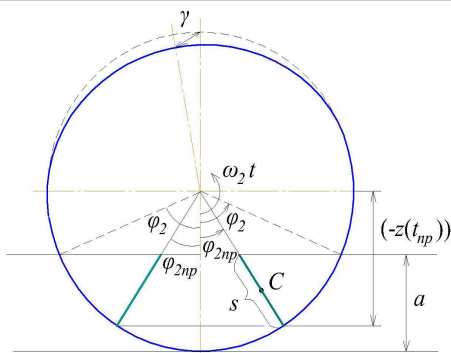


Рисунок 3 – Схема для изучения возможности отделения частиц почвы от массива

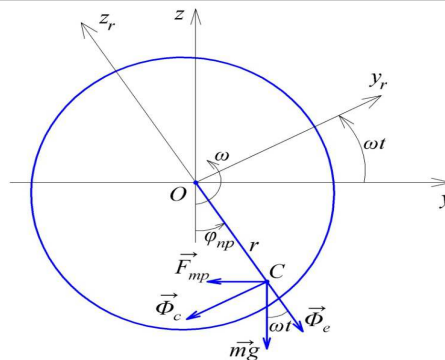


Рисунок 4 – Схема сил для описания движение почвы по дискам после отделения от монолита

действия

при

$$R_s = \left( R - \frac{R \cos \varphi_{2np} - R + a}{2 \cos \varphi_{2np}} \right). \quad (3)$$

То есть, найдем напряжения сжатия в точке C, когда  $\varphi_2 = \varphi_{2np}$ .

Напряжения на нижней границе области разрушения  $\tau_n$  будут равны сцеплению почвы C, так как полагаем, что сжимающие нормальные напряжения в вертикальном направлении отсутствуют.

Значение  $x(tp)$  – определим по графику [13]. Так, для ранее описанной установки дисков  $x(tp) = 0,056$  м, ширины полоски  $S = 0,079$  м координата  $x$  при угле  $\varphi_{2np}$  будет равна 0,118. При этом неравенство для отрыва почвы выполнится автоматически, так как  $S > x(tp)$ . Следовательно, диски можно установить на большем расстоянии друг от друга.

Возможность защемления сорняков определим по напряжению сжатия почвы между дисками и площади сечения сорняка по полоске длиной  $S$ . Так, при диаметре сорняка  $D$  усилие защемления будет равно

$$N = D \cdot SP, \quad (4)$$

где  $P$  – определим по диаграмме напряжений разрушения почвы.

Далее рассмотрим движение почвы по дискам после отделения ее от монолита. Выберем в системе координат  $(x, y, z)$  начальное положение частицы почвы, соответствующее углу  $\varphi_{np}$ , отложенному по отрицательному направлению оси  $z$  против хода часовой стрелки. Частица находится в точке C на расстоянии  $r$  от центра диска (рисунок 4).

В последующем движении, после отрыва монолита почвы, частица движется под действием силы тяжести, сил трения, сил нормального давления со стороны дисков и сил инерции.

Рассмотрим движение в плоскости  $(zy)$  под действием сил, лежащих в этой плоскости в проекции на вращающиеся оси координат с угловой скоростью  $\omega = \omega_2 \cos \gamma$ , где  $\omega_2$  – угло-

вая скорость вращения дисков вокруг своих осей симметрии:

$$\begin{cases} m\ddot{y}_r = -mg \sin \omega t + \Phi_{ey} + \Phi_{cy} + F_{mry} \\ m\ddot{z}_r = -mg \cos \omega t + \Phi_{ez} + \Phi_{cz} + F_{trz} \end{cases} \quad (5)$$

где

$$\begin{cases} \Phi_{ey} = m\omega^2 y_r \\ \Phi_{ez} = m\omega^2 z_r \end{cases}, \quad (6)$$

проекции центробежной силы инерции.

Кориолисова сила инерции по определению равна:

$$\vec{\Phi}_c = -2m\vec{\omega} \times \vec{V}_r$$

Тогда

$$\vec{\Phi}_c = -2m \begin{vmatrix} \vec{i}_r & \vec{j}_r & \vec{k}_r \\ \omega & 0 & 0 \\ 0 & \dot{y}_r & \dot{z}_r \end{vmatrix} = -2m (\vec{i}_r 0 + \vec{j}_r (\omega \dot{z}_r) + \vec{k}_r (\omega \dot{y}_r))$$

$$\begin{cases} \Phi_{cxr} = 0 \\ \Phi_{cyr} = 2m\omega \dot{z}_r \\ \Phi_{c zr} = -2m\omega \dot{y}_r \end{cases} \quad (7)$$

Сила трения  $F_{тр}$  противоположна относительной скорости движения:

$$\vec{F}_{mp} = -|F_{mp}| \frac{\vec{V}_r}{V_r}$$

Тогда

$$\begin{cases} F_{mry} = -|F_{mp}| \frac{\dot{y}_r}{\sqrt{\dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2}} \\ F_{mpz} = -|F_{mp}| \frac{\dot{z}_r}{\sqrt{\dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2}} \\ F_{mrx} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Модуль силы трения равен:

$$F_{mp} = \tau_g \cdot Sh,$$

где  $Sh$  – площадь контакта частицы с диском (при приведении к линии  $h$  – малая величина, стремящаяся к нулю, поэтому вместо площади используем длину полоски почвы,  $S$  – длина полоски контакта (рис. 3));

$\tau_g$  – касательные напряжения.

$$\tau_g = C + P \operatorname{tg} \varphi_{тр}$$

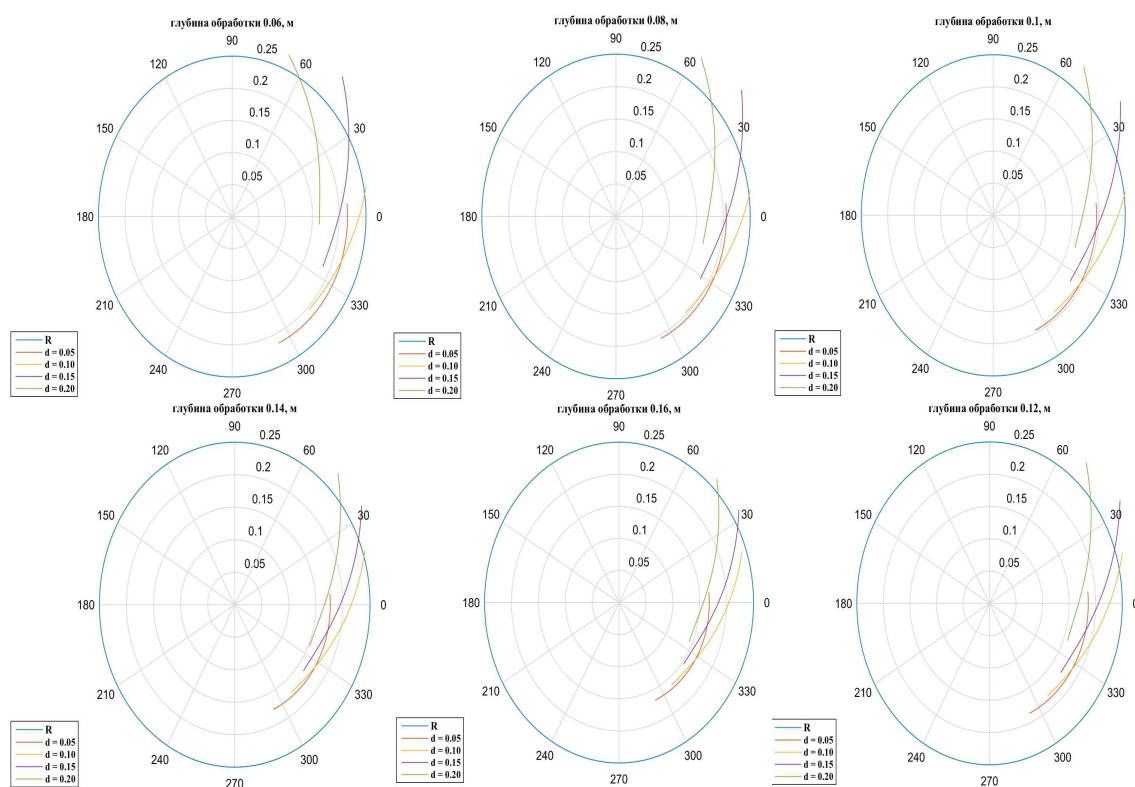


Рисунок 5а – Траектории движения частицы почвы по диску в зависимости от расстояния между дисками  $d$  и глубины обработки (при фиксированных значениях радиуса диска  $R = 0,25$  м и угла наклона дисков  $\gamma = 6^\circ$ )

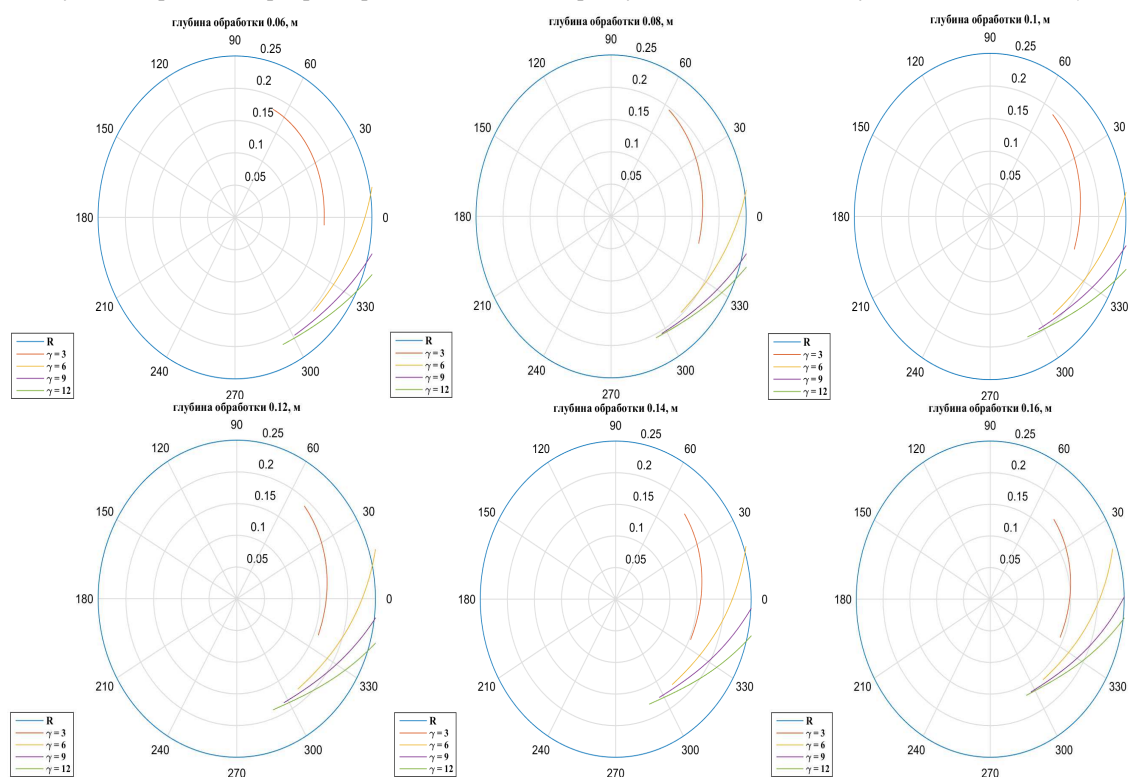


Рисунок 5б – Траектории движения частицы почвы по диску в зависимости от угла наклона дисков  $\gamma$  и глубины обработки (при фиксированных значениях радиуса диска  $R = 0,25$  м и расстояния между дисками  $d = 0,2$  м)



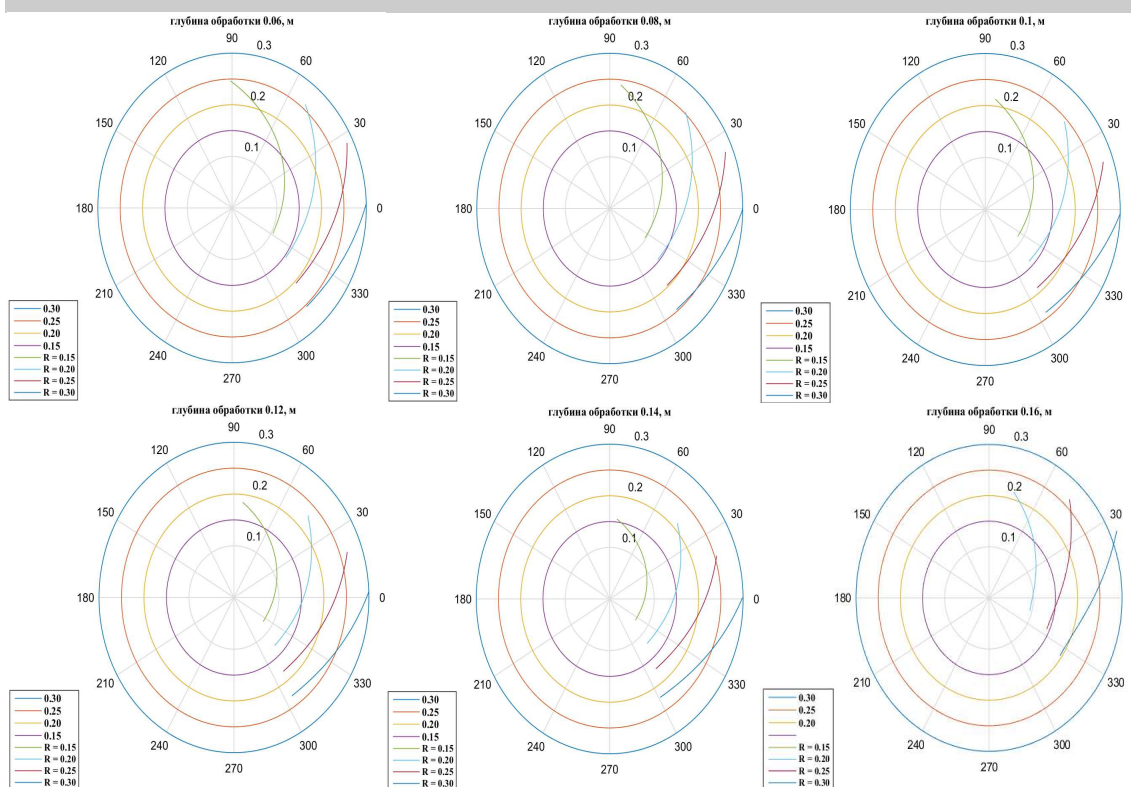


Рисунок 5в – Траектории движения частицы почвы по диску в зависимости от радиуса диска  $R_i$  глубины обработки (при фиксированных значениях расстояния между дисками  $d = 0,2$  м и угла наклона дисков  $\gamma=6^0$ )

Тогда (5) представим в виде:

$$\begin{cases} m\ddot{y}_r = -mg \sin \omega t + m\omega^2 y_r + 2m\omega \dot{z}_r - |F_{mp}| \frac{\dot{y}_r}{\sqrt{\dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2}} \\ m\ddot{z}_r = -mg \cos \omega t + m\omega^2 z_r - 2m\omega \dot{y}_r - |F_{mp}| \frac{\dot{z}_r}{\sqrt{\dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2}} \end{cases} \quad (9)$$

Определим удельную массу  $m$ , приходящуюся на единицу длины радиальной полоски почвы длиной  $S$  (рисунок 3):

$$m = s \cdot \rho \cdot x_c(t_{np}),$$

где  $\rho$  – плотность почвы в исходном состоянии;

$x_c(t_{np})$  – половина расстояния между дисками на уровне середины полоски точки  $C$  (рисунок 3), которая определяется при

$$R_l = R_c = (R - s/2).$$

Половина расстояния между дисками берется в силу симметрии силового взаимодействия, при этом силы и массу учитываем только для одного диска.

Полагаем, что удельная сила трения на единицу длины полосы  $S$  равна:

$$|F_{тр}| = C \cdot s = C \frac{m}{\rho \cdot x_c(t_{np})},$$

тогда, сокращая на удельную массу  $m$  в уравнениях (9), получим:

$$\begin{cases} \ddot{y}_r = -g \sin \omega t + \omega^2 y_r + 2\omega \dot{z}_r - C \frac{1}{\rho \cdot x_c(t_{np})} \cdot \frac{\dot{y}_r}{\sqrt{\dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2}} \\ \ddot{z}_r = -g \cos \omega t + \omega^2 z_r - 2\omega \dot{y}_r - C \frac{1}{\rho \cdot x_c(t_{np})} \cdot \frac{\dot{z}_r}{\sqrt{\dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2}} \end{cases} \quad (10)$$

Решения этих уравнений представлены на рисунках 5а, 5б, и 5в. На них приведены траектории движения частиц почвы по диску для изучаемых факторов, характеризующих конструктивные параметры дискового культиватора в зависимости от глубины обработки.

На рисунке 5а представлены круговые диаграммы схода почвы с дисков радиусом 0,25м при различных расстояниях между ними. Из них видно, что при установке дисков на величину  $d=0,05$ м схода почвы с них не происходит, так как почва остается зажатой между ними. Для расстояний между дисками 0,15... 0,20м с увеличением глубины обработки угол схода почвы уменьшается, так как значения относительной деформации почвы (рис. 5а) снижаются. А для  $d = 0,10$  м с увеличением глубины обработки угол схода почвы незначительно возрастает.

На рисунке 5б приведены круговые диаграммы схода почвы с дисков в зависимости от угла их наклона  $\gamma$  и глубины обработки. Из представленных данных видно, что при установке дисков на угол 30 схода почвы нет. Предположительно, разрезаемый дисками

почвенный монолит не разрушается, так как предельного значения относительной деформации почва не достигает [13]. При увеличении глубины обработки углы схода почвы с дисков для  $\gamma=60\dots120$  возрастают. Очевидно, это происходит за счет увеличения толщины слоя почвы, подвергшейся разрушению.

На рисунке 5в представлены траектории движения частиц почвы по диску в зависимости от его радиуса  $R$  и глубины обработки. С уменьшением радиуса диска угол схода почвы увеличивается. Это связано возрастанием частоты вращения дисков при уменьшении их диаметра. От увеличения глубины обработки почвы углы схода ее с дисков практически не изменяются.

**Выводы.** Таким образом, на основании приведенных расчетов можно предположить, что в процессе работы на глубине до 16 см,

при расстоянии между дисками  $d = 0,15\dots0,20$  м, углах наклона дисков  $\gamma = 6\dots90$  и радиусе дисков  $R = 0,25$  м, пласт почвы будет гарантированно отрываться от монолита, приподниматься до высоты выше горизонтальной оси дисковых рабочих органов и сходить с междискового пространства. При этом с одной стороны, достигается предельное значение относительной деформации почвы в обрабатываемом слое и обеспечивается ее разрушение и крошение, а с другой – исключается перекидывание частиц почвы вперед и забивание рабочих органов дискового культиватора. Для подтверждения теоретических выводов и оптимизации конструктивных и регулировочных параметров рабочего органа с учетом конкретных почвенных условий необходимо провести лабораторные и полевые исследования.

#### Литература

1. Валиев А.Р., Зиганшин Б.Г., Мухамадьяров Ф.Ф. Современные почвообрабатывающие машины: регулировка, настройка и эксплуатация. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2015. – 180 с.
2. Матяшин Ю.И., Зиганшин Б.Г., Валиев А.Р. и др. Техническое обеспечение инновационных технологий в растениеводстве. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2009. – 220 с.
3. Калинин А.Б., Врублевский В.Д., Смелик В.А., Теплинский И.З. Основные тенденции развития технического оснащения отраслей растениеводства сельхозпредприятий Северо-запада РФ // Материал международного агропромышленного конгресса «Крупный и малый бизнес в АПК: роль, механизмы взаимодействия, перспективы». – Спб.: Ленэкспо, 2009. – С.123.
4. Vilde A. Up-to-date trends in soil tillage engineering. [31.03.2011]. Available at: <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TMot3/Vilde2.pdf>.
5. Coolman F. Developments in Dutch Farm Mechanization: Past and Future. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Vol. IV. Wageningen, the Netherlands, 2002, pp. 1-10.
6. Калинин А.Б. Современные культиваторы для почвосберегающих технологий // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2006. - № 9. – С.12-15.
7. Джаббаров Н.И., Добринов А.В., Эвиев В.А., Федькин Д.С. Основы повышения энергоэффективности технологических процессов и технических средств обработки почвы. – Элиста: Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, 2016. – 168 с.
8. Джаббаров Н.И., Добринов А.В., Федькин Д.С. Агроэкологические принципы формирования зональной системы обработки почвы // Региональная экология. – 2015. - № 5(40). – С. 23-27.
9. Sarauskis E, Masilionyte L, Romanecas K, Kriauciuniene Z, Jasinskas A. The effect of the disc coulters forms and speed ratios on cutting of crop residues in no-tillage system. Bulg J AgriSci 19. 2013, pp. 620-624.
10. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв. – Киев: Феникс, 2008. – 266 с.
11. Патент № 2552364 РФ, МПК 7 А01В 35/28. Ротационный культиватор / Валиев А.Р., Зиганшин Б.Г., Низамов Р.М. и др. – Заявлено 03.02.2014. Опубл. 10.06.2015. Бюл. №16.
12. Патент № 2520124 РФ, МПК 7 А01В 21/08, 23/00, 35/28. Ротационное орудие для поверхностной обработки почвы / Валиев А.Р., Зиганшин Б.Г., Низамов Р.М. и др. – Заявлено 26.11.2012. Опубл. 20.06.2014. Бюл. № 17.
13. Valiev A., Muhamadyarov F. Study of soil stratum deformation by disc cultivator // Engineering for rural development: Proceedings of 15<sup>th</sup> International Scientific Conference. Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2016. Vol. 15, pp. 1378-1385

#### Сведения об авторе:

Валиев Айрат Расимович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: ayratvaliev@mail.ru  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия.

#### INVESTIGATION OF SOIL MOTION ALONG THE WORKING SURFACE OF A DISK CULTIVATOR

Valiev A.R.

**Abstract.** The results of theoretical studies of a disk cultivator are presented, the working units of which consist of two flat discs, inclined to each other in the horizontal and vertical planes. The distance between the upper leading edges of the discs is greater than between the lower rear edges. When the discs move in the soil, the layer is jammed between them, breaks off from the bottom of the furrow, rises slightly upwards and is laid back into the furrow in the loosened state. The

main constructive and adjusting parameters of the working unit are the inclination angles of discs  $\gamma$ , the distance between the discs  $d$  and the radius of the disks  $R$ . The purpose of this work is a theoretical study of the soil movement process in the inter-disk space and the rationale for the design and adjusting parameters of the developed disc cultivator. Based on the methods of theoretical mechanics, the terms for separating the soil particles from the main monolith and their motion along the working surface of the disks are investigated. Equations, describing the trajectories of soil particles with allowance for specific soil conditions, characterized by the basic mechanical parameters of the soil and also depending on the parameters of the working organ and the depth of soil cultivation are obtained. Based on the results of solving these equations, it is established that in the process of working at a depth of up to 16 cm, with a distance between the disks  $d = 0.15 \dots 0.20$  m, disc angles  $\gamma = 6 \dots 90$  and disk radius  $R = 0.25$  m, the soil will be guaranteed to tear off from the monolith, rise to a height above the horizontal axis of the disk working units and leave the interdisk space. At the same time, on the one hand, the limiting value of the relative deformation of the soil is reached in the layer being processed, its fracture and crumbling are ensured, and on the other hand, the soil particles are thrown forward and the working organs of the disk cultivator are blocked.

**Key words:** soil cultivation, disk cultivator, rotary tool, soil deformation, trajectory of soil movement, energy intensity.

#### References

1. Valiev A.R., Ziganshin B.G., Mukhamadyarov F.F. *Sovremennye pochvoobrabatyvayushchie mashiny: regulirovka, nastroyka i ekspluatatsiya*. [Modern tillage machines: setup, adjustment and operation]. // Kazan: Izd-vo Kazanskogo GAU, 2015. P. 180.
2. Matyashin Yu.I., Ziganshin B.G., Valiev A.R. and others. *Tekhnicheskoe obespechenie innovatsionnykh tekhnologiy v rastenievodstve*. [Technical support of innovative technologies in plant growing]. // Kazan: Izd-vo Kazanskogo GAU, 2009. – P. 220.
3. Kalinin A.B., Vrublevskiy V.D., Smelik V.A., Teplinskiy I.Z. *Osnovnye tendentsii razvitiya tekhnicheskogo osnasheniya otrasley rastenievodstva selkhozpredpriyatiy Severo-zapada RF. // Material mezhdunarodnogo agropromyshlennogo kongressa "Krupnyy i malyy biznes v APK: rol, mekhanizmy vzaimodeystviya, perspektivy"*. (The main tendencies of crop sector technical equipment development of agricultural enterprises in the North-West of the Russian Federation. // Proceedings of international agro-industrial congress "Large and small business in the agroindustrial complex: the role, mechanisms of interaction, prospects). – Spb.: Lenekspos, 2009. – P. 123.
4. Vilde A. Up-to-date trends in soil tillage engineering. [31.03.2011]. Available at: <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TMot3/Vilde2.pdf>.
5. Coolman F. Developments in Dutch Farm Mechanization: Past and Future. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Vol. IV. Wageningen, the Netherlands, 2002, pp. 1-10.
6. Kalinin A.B. Modern cultivators for soil-conserving technology. [Sovremennyye kultivatory dlya pochvosberegayushchikh tekhnologiy]. // *Selskokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. - Agricultural machinery: maintenance and repair*. – 2006. - №9. – P. 12-15.
7. Dzhaborov N.I., Dobrinov A.V., Eviev V.A., Fedkin D.S. *Osnovy povysheniya energoeffektivnosti tekhnologicheskikh protsessov i tekhnicheskikh sredstv obrabotki pochvy*. [Bases of energy efficiency increase of technological processes and technical means of soil cultivation]. // – Elista: Kalmytskiy gosudarstvennyy universitet im. B.B. Gorodovikova, 2016. – P. 168.
8. Dzhaborov N.I., Dobrinov A.V., Fedkin D.S. Agroecological principles of the zonal soil cultivation system formation. [Agroekologicheskie printsipy formirovaniya zonalnoy sistemy obrabotki pochvy]. // *Regionalnaya ekologiya. – Regional ecology*. 2015. - № 5(40). – P. 23-27.
9. Sarauskis E, Masilionyte L, Romaneckas K, Kriauciuniene Z, Jasinskas A. The effect of the disc coulters forms and speed ratios on cutting of crop residues in no-tillage system. *Bulg J AgriSci* 19. 2013, pp. 620-624.
10. Panov I.M., Vetokhin V.I. *Fizicheskie osnovy mekhaniki pochvy*. [Physical basis of soil mechanics]. // Kiev: Feniks, 2008. – P. 266.
11. *Patent №2552364 RF, MPK 7 A01V 35/28. Rotatsionnyy cultivator*. (The patent №2552364 of the Russian Federation, MPK 7 A01V 35/28. Rotary cultivator. / Valiev A.R., Ziganshin B.G., Nizamov R.M. and others. - Declared 03.02.2014. Published 10.06.2015. Bulletin №16).
12. *Patent №2520124 RF, MPK 7 A01V 21/08, 23/00, 35/28. Rotatsionnoe orudie dlya poverkhnostnoy obrabotki pochvy*. (The patent №2520124 of the Russian Federation, MPK 7 A01V 21/08, 23/00, 35/28. Rotary tools for surface tillage. / Valiev A.R., Ziganshin B.G., Nizamov R.M. and others. - Declared 26.11.2012. Published 06.20.2014. Bulletin №17).
13. Valiev A., Muhamadyarov F. Study of soil stratum deformation by disc cultivator // *Engineering for rural development: Proceedings of 15th International Scientific Conference*. Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2016. Vol. 15, pp. 1378-1385.

#### Autors:

Valiev Ayrat Rasimovich - Ph.D. of Technical sciences, associate professor, e-mail: [ayratvaliev@mail.ru](mailto:ayratvaliev@mail.ru)  
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.