

## Обоснование расстояния между многогранными дисками пропашного культиватора

**Е. С. Зыкин**✉, доктор технических наук, профессор кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

**В. И. Курдюмов**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

**А. Н. Кривоногов**, соискатель

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

✉ evg-zykin@yandex.ru

**Резюме.** Работа посвящена изучению параметров воздушной среды, физико-механических свойств почвы и теоретическому обоснованию конструктивных параметров и режимов работы разработанного рабочего органа культиватора, непосредственно влияющих на перемещаемый слой почвы из междурядий в защитную зону ряда растений. Структурный анализ и анализ технологичности известных технических средств междурядной обработки пропашных культур позволили выявить не только неэффективность ряда серийно выпускаемых рабочих органов и выявить недостатки множества новых конструкций, но и оценить рациональность конструкторских решений с точки зрения простоты изготовления и обслуживания. Технический анализ известных патентов позволил выявить новые идеи и технологии, модернизация которых сделала возможным разработку рабочего органа культиватора с многогранным диском, применение которого не только обеспечивает требуемое качество заданной технологической операции, но и уменьшает повреждаемость возделываемых культур. Критериальная оценка показателей качества выполнения механизированного ухода за посевами пропашных культур позволила выявить необоснованные и неучтенные параметры в теоретических выкладках, посвященных определению дальности перемещения почвы из междурядий в защитные зоны рядков, что влияет на качество междурядной обработки. В частности, требуется уточнить расположение рабочих органов на грядиле культиватора и расстояние между плоскими сторонами многогранных дисков, принимая во внимание не учтенные ранее параметры. Теоретически оптимизированные конструктивные параметры нового рабочего органа культиватора при их практической реализации позволяют уменьшить повреждения и присыпания почвой культурных растений при осуществлении технологии механизированного ухода за посевами возделываемых культур. При ширине защитной зоны 0,15 м расстояние между многогранными дисками находится в пределах 0,45...0,5 м.

**Ключевые слова:** технология, почва, механизированный уход, возделывание, пропашные культуры

**Для цитирования:** Зыкин Е. С., Курдюмов В. И., Кривоногов А. Н. Обоснование расстояния между многогранными дисками пропашного культиватора // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №2 (70). С. 221-227. doi:10.18286/1816-4501-2025-2-221-227

## Justification of the distance between the polyhedral discs of a row-crop cultivator

**E. S. Zykin**✉, **V. I. Kurdyumov**, **A. N. Krivonogov**

Ulyanovsk State Agrarian University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1

✉ evg-zykin@yandex.ru

**Abstract.** The work is devoted to the study of the parameters of the air environment, physical and mechanical properties of the soil and the theoretical justification of the design parameters and operating modes of the developed cultivator working element, directly affecting the soil layer being moved from the row spacing to the protective zone of the plant row. Structural analysis and analysis of the manufacturability of known technical means of inter-row cultivation of row crops made enabled to identify not only the inefficiency of a number of serially produced working elements and identify the shortcomings of many new designs, but also to evaluate the rationality of design solutions from the point of view of ease of manufacture and maintenance. Technical analysis of the known patents allowed to identify new ideas and technologies, the improvement of which made it possible to develop a cultivator working element with a polyhedral disk, the use of which not only ensures the required quality of a given technological operation, but also reduces the damage to cultivated crops. A criteria-based assessment of the quality indicators of mechanized care of row crops has revealed unreasonable and unaccounted parameters in theoretical calculations devoted to determining the range of soil movement from row spacing to row protection zones, which affects the quality of inter-row cultivation. In particular, it is necessary to clarify the location of the working bodies on the cultivator beam and the distance between the flat sides

of the polyhedral disks, taking into account previously unaccounted parameters. Theoretically improved design parameters of the new cultivator working body, when practically implemented, enable to reduce damage and soil covering of cultivated plants when implementing the technology of mechanized care of cultivated crops. With a protection zone width of 0.15 m, the distance between the polyhedral disks is within 0.45 ... 0.5 m.

**Keywords:** technology, soil, mechanized care, cultivation, row crops.

**For citation:** Zykin E. S., Kurdyumov V. I., Krivonogov A. N. Justification of the distance between the polyhedral discs of a row-crop cultivator // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;2(70): 221-227 doi:10.18286/1816-4501-2025-2-221-227

### Введение

Уничтожение сорняков в защитных зонах возделываемых культур возможно обеспечить механическим и химическим способами [1, 2, 3]. Механический способ основан на максимальном приближении режущих кромок орудий при их движении вдоль рядков к корневой системе растений [4, 5, 6] или на применении окучников для смещения почвы в защитные зоны [7, 8, 9]. Излишнее приближение режущих кромок к корневой системе с учетом поперечных колебаний секции и возникающей непрямолинейности движения пропашного культиватора в целом [10, 11] способствует вырезанию в отдельных случаях целых рядков возделываемых культур. Применение окучников может быть оправдано только на третьей междурядной обработке при высоте культурных растений не менее 0,2 м для исключения их заваливания почвой [12, 13, 14].

Химический способ основан на сплошной обработке поля химическими средствами защиты избирательного действия [15, 16]. Однако при таком способе наблюдается полное угнетение не только сорняков, но и частичное угнетение возделываемых культур, из-за чего урожайность культуры уменьшается до 15 % [17, 18, 19]. Кроме того, некоторые из пестицидов имеют опосредованные канцерогенные свойства.

Конструктивная особенность разработанного рабочего органа заключается в обеспечении не только соответствующего угла атаки многогранного диска, но и в обеспечении возможности его вертикального перемещения относительно режущей кромки стрельчатой лапы, что существенно оказывает влияние на достижение высоких показателей при механизированном уходе за посевами.

Цель исследования – изучение и теоретическое обоснование конструктивных параметров и

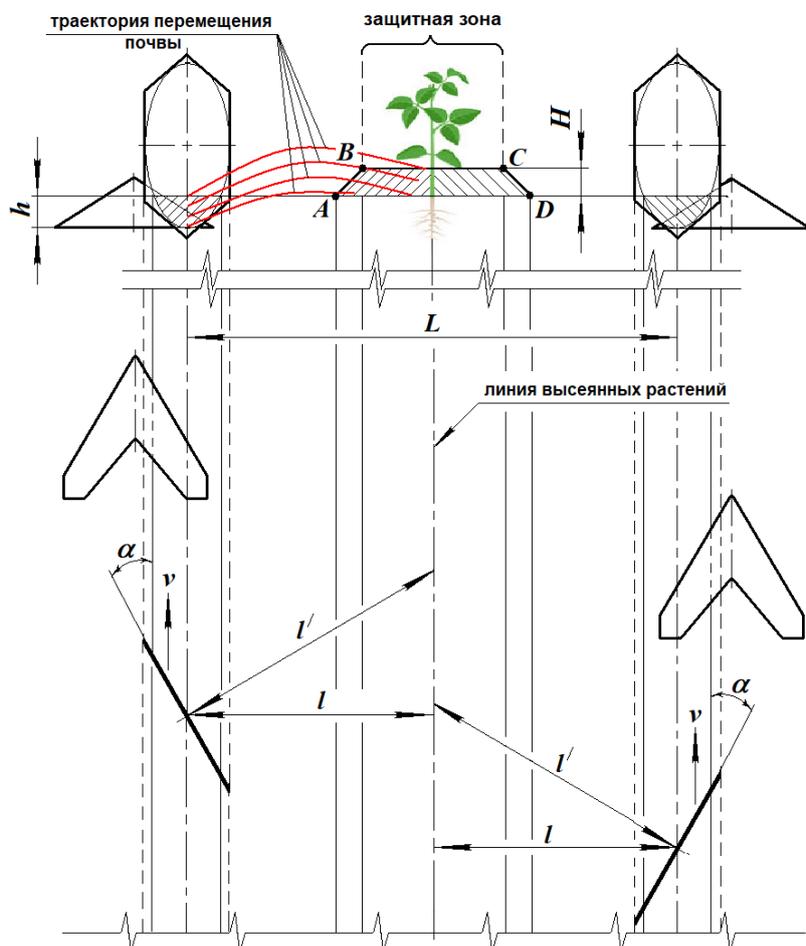


Рис. 1. Процесс перемещения взрыхленной почвы из междурядий в защитную зону ряда

режимов работы разработанного рабочего органа культиватора с учетом параметров воздушной среды, непосредственно влияющих на перемещаемый слой почвы из междурядий в защитную зону рядка растений.

### Материалы и методы

Обеспечение требуемого слоя почвы над сорняками в защитных зонах рядка растений возможно достигнута применением новой конструкции рабочего органа культиватора, оснащенного многогранным диском, разработанным на кафедре «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, новизна которого подтверждена патентом Российской Федерации на изобретение № 2840299 [20].

В процессе механизированного ухода за пропашными культурами заглубленные в почву стрельчатые лапы рыхлят ее, а симметрично смонтированные на соседних грядках пропашного культиватора правый и левый многогранные диски перемещают взрыхленную почву из междурядий в защитную зону рядка (рис. 1), присыпая сорняки и окучивая культурные растения.

Перемещенная в защитную зону почва формирует гребень трапецевидной формы с углом естественного откоса почвы  $\gamma$ , град.

Априорными технологическими данными установлено, что высота  $H$ , м сформированного гребня почвы должна соответствовать требуемой толщине присыпанной почвы на сорняки, а ширина  $BC$ , м верхнего основания гребня – ширине защитной зоны рядка.

Геометрические параметры формируемого вдоль растений гребня зависят от множества факторов, в частности, от дальности смещаемой почвы из междурядий в защитную зону. Учитывая, что рабочие органы культиватора смонтированы на грядке культиватора зеркально, а плоские стороны многогранных дисков установлены под углом  $\alpha$ , град. к рядку культурных растений, то расстояние  $L$ , м между центрами многогранных дисков

$$L = 2l, \quad (1)$$

где  $l$  – расстояние между линией расположения культурных растений и центрами многогранных дисков, м.

### Результаты

Обеспечение равномерной толщины присыпанной на сорняки почвы вдоль рядов культурных растений возможно при условии постоянной скорости  $v$ , м/с перемещения заглубленных в почву рабочих органов культиватора. В этом случае многогранный диск, кроме поступательного, будет совершать и вращательное движение, а отбрасываемая плоской стороной многогранного диска почва в точке  $M$  (рис. 2) будет совершать нетривиальное перемещение, которое можно описать совместным действием относительной  $v_r$ , м/с переносной  $v$ , м/с и абсолютной  $v_a$ , м/с скоростей.

«Относительная скорость, с которой движется почва, находящаяся на плоской части многогранного диска, формируется в направлении, противоположном движению самого диска, и отклоняется от этой прямой на угол  $\alpha$ » [15].

«Переносная скорость перемещаемой почвы коррелирует не только с линейной скоростью многогранного диска, но и сопоставима с направлением его траектории. Результирующая абсолютная скорость перемещаемой почвы проецируется на плоскую поверхность многогранного диска под углом  $\beta$  к нормальной реакции  $N$ » [15].

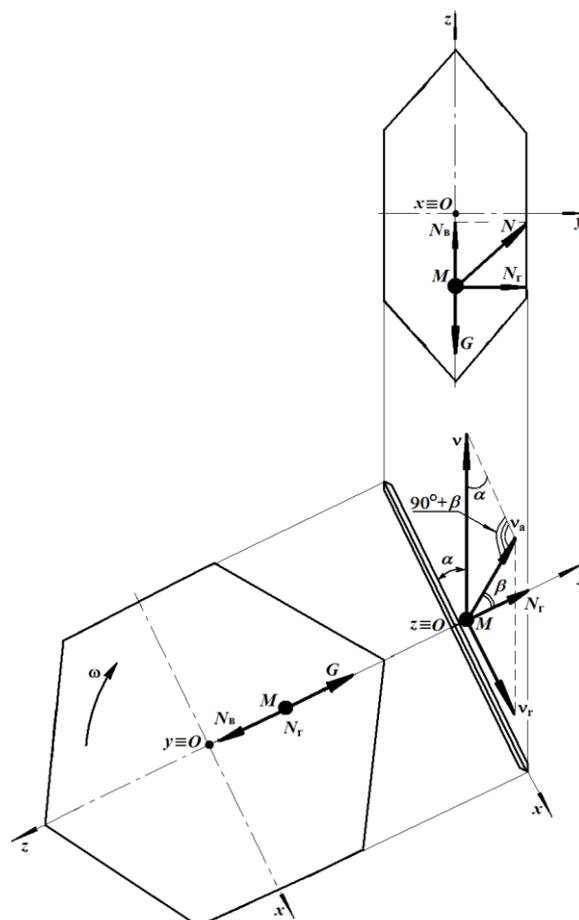


Рис. 2. К обоснованию перемещения почвы

Из рис. 2 следует, что

$$\frac{v_a}{\sin \alpha} = \frac{v}{\sin(90^\circ + \beta)}, \quad (2)$$

где  $\beta$  – угол между направлением абсолютной скорости отбрасываемой почвы и горизонтальной реакцией  $N_r$  почвы на поверхность многогранного диска, град.;  $\beta = \arctg f$ ;  $f$  – коэффициент трения почвы о многогранный диск.

Очевидно, что  $\sin(90^\circ + \beta) = \cos \beta$ , тогда выражение (2) примет вид:

$$\frac{v_a}{\sin \alpha} = \frac{v}{\cos \beta}, \quad (3)$$

откуда определим абсолютную скорость почвы:

$$v_a = v \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что физический параметр измеряемой абсолютной скорости перемещаемой почвы обусловлен, в большей степени, величинами переносной скорости почвы и угла атаки многогранного диска.

Очевидно, что слой почвы толщиной  $h$ , м из междурядий в защитную зону ряда перемещается по параболической траектории, а на каждую частицу  $M$  действуют силы тяжести  $G$ ,  $H$  и сопротивления воздуха  $R$ ,  $N$  (рис. 3).

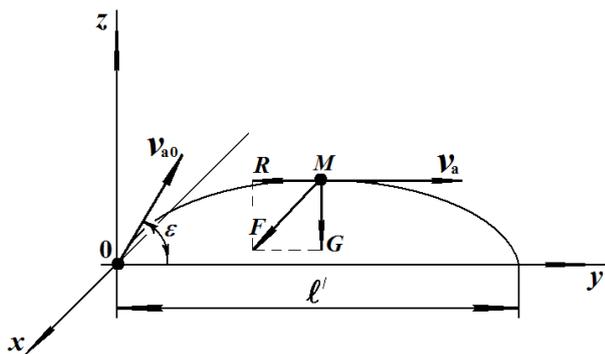


Рис. 3. К расчету дальности отбрасывания диском почвы:

$v_{a0}$  – начальная скорость перемещения частицы почвы, м/с;  $\varepsilon$  – угол между поверхностью поля и  $v_{a0}$ , град.

Исследование совместного влияния сил  $G$  и  $R$  на перемещаемую почву показывает, что возникающая результирующая сила  $F$ ,  $N$  по направлению противоположна абсолютной скорости  $v_a$  и расположена по касательной к траектории перемещения отбрасываемой почвы.

Из рис. 3 следует, что

$$F = G + R, \quad (5)$$

где  $G = mg$  – сила тяжести частицы перемещаемой почвы,  $N$ ;  $R = kma$  – сила сопротивления воздуха,  $N$ ;  $m$  – масса перемещаемой частицы почвы, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $k$  – постоянный коэффициент пропорциональности;  $a$  – ускорение перемещаемой частицы почвы, м/с<sup>2</sup>» [15].

При расположении центра декартовой системы координат на месте отрыва частицы  $M$  от плоскости многогранного диска при условии, что ось  $Oz$  будет перпендикулярна поверхности поля, определим результирующую силу  $F$  (рис. 3).

Визуализация рис. 3 позволяет заключить, что начальная скорость  $v_{a0} = 0$  м/с, т.к. место отрыва частицы  $M$  совпадает с точкой «0» плоскости  $zOy$ . В этом случае координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и  $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$  частицы  $M$  в момент времени  $t$  положительны.

Проекция результирующей силы  $F$  на оси  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$  выглядят следующим образом:

$$\begin{cases} F_x = -kmv_x = -k m \dot{x}, \\ F_y = -kmv_y = -k m \dot{y}, \\ F_z = -mg - kmv_z = -mg - k m \dot{z}. \end{cases} \quad (6)$$

В исходном варианте, когда  $t = 0$  и, соответственно,  $x = 0$  и  $y = 0$ , проекции скоростей на оси  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$  изменятся:

$$\begin{cases} v_x = \dot{x} = 0, \\ v_y = \dot{y} = v_{a0} \cos \varepsilon, \\ v_z = \dot{z} = v_{a0} \sin \varepsilon. \end{cases} \quad (7)$$

Запишем уравнения перемещения частицы  $M$  в дифференциальной форме:

$$\begin{cases} m\dot{x} = -km\dot{x}, \\ m\dot{y} = -km\dot{y}, \\ m\dot{z} = -mg - km\dot{z}. \end{cases} \quad (8)$$

Уменьшив количество переменных на  $m$  и, решив уравнения (8), получим:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = -kv_x, \\ \frac{dv_y}{dt} = -kv_y, \\ \frac{dv_z}{dt} = -g \left( 1 + \frac{kv_z}{g} \right). \end{cases} \quad (9)$$

Последующее интегрирование каждого из уравнений (9) позволяет от дифференциальной формы уравнений перейти к линейной:

$$\begin{cases} \ln v_x = -k t + \ln C_1, \\ \ln v_y = -k t + \ln C_2, \\ \ln \left( 1 + \frac{kv_z}{g} \right) = -k t + \ln C_3. \end{cases} \quad (10)$$

Дальнейшее решение уравнений (10) дает возможность определить проекции переносной скорости на оси  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$ :

$$\begin{cases} v_x = C_1 e^{-k t}, \\ v_y = C_2 e^{-k t}, \\ v_z = -C_3 e^{-k t}, \end{cases} \quad (11)$$

где  $t$  – время перемещения частицы  $M$  из точки «0» до места падения в защитной зоне ряда, с.

Совместно решая уравнения (7) и (11), найдем произвольные постоянные величины:

$$\begin{cases} C_1 = 0, \\ C_2 = v_{a0} \cos \varepsilon, \\ C_3 = \frac{g}{k} + v_{a0} \sin \varepsilon. \end{cases} \quad (12)$$

Совместно решая уравнения (12) и (11), получим:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = 0, \\ \frac{dy}{dt} = v_{a0} e^{-kt} \cos \varepsilon, \\ \frac{dz}{dt} = \left(\frac{g}{k} + v_{a0} \sin \varepsilon\right) e^{-kt} - \frac{g}{k}. \end{cases} \quad (13)$$

Последующее интегрирование каждого из уравнений (13) позволяет от дифференциальной формы уравнений перейти к линейным уравнениям движения частицы  $M$ :

$$\begin{cases} x = C_4, \\ y = \frac{v_{a0} e^{-kt} \cos \varepsilon}{k} + C_5, \\ z = -\frac{\left(\frac{g}{k} + v_{a0} \sin \varepsilon\right) e^{-kt}}{k} - \frac{g t}{k} + C_6. \end{cases} \quad (14)$$

Основываясь на том, что в момент времени  $t$  координаты  $x, y, z$  частицы  $M$  были положительны, получим:

$$\begin{cases} C_4 = 0, \\ C_5 = \frac{v_{a0} \cos \varepsilon}{k}, \\ C_6 = \frac{\left(\frac{g}{k} + v_{a0} \sin \varepsilon\right)}{k}. \end{cases} \quad (15)$$

После совместного решения уравнений (15) и (14) получим уравнения перемещения частицы почвы  $M$ , отброшенной многогранным диском:

$$\begin{cases} x = 0, \\ y = \frac{v_{a0} \cos \varepsilon}{k} (1 - e^{-kt}), \\ z = \frac{\left(\frac{g}{k} + v_{a0} \sin \varepsilon\right)}{k} (1 - e^{-kt}) - \frac{g t}{k}. \end{cases} \quad (16)$$

Перемещение отброшенной частицы  $M$ , характеризующее параболической траекторией с одно-временным варьированием коэффициента пропорциональности  $k$ , позволяет заключить, что в установленный момент времени  $t$  на частицу  $M$  будет оказывать влияние только сила  $G$ .

Таким образом, введение дополнительных координат положения в пространстве частицы  $M$  позволит по правилу Лопиталья определить уравнения параболической траектории перемещения частицы почвы  $M$  из междурядий в защитную зону рядка:

$$\begin{aligned} y_1 &= v_{a0} \cos \varepsilon \lim_{k \rightarrow 0} \frac{1 - e^{-kt}}{k} = v_{a0} \cos \varepsilon \lim_{k \rightarrow 0} \frac{\frac{d}{dk}(1 - e^{-kt})}{\frac{dk}{dk}} = \\ &= v_{a0} \cos \varepsilon \lim_{k \rightarrow 0} \frac{t e^{-kt}}{1} = v_{a0} t \cos \varepsilon. \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} z_1 &= g \lim_{k \rightarrow 0} \frac{\left(\frac{d^2}{dk^2}\right)(1 - e^{-kt} - kt)}{\frac{d^2 k^2}{dk^2}} + v_{a0} \sin \varepsilon \lim_{k \rightarrow 0} \frac{1 - e^{-kt}}{k} = \\ &= g \lim_{k \rightarrow 0} \frac{-t^2 e^{-kt}}{2} + v_{a0} \sin \varepsilon \lim_{k \rightarrow 0} \frac{t e^{-kt}}{1} = -\frac{gt^2}{2} + v_{a0} t \sin \varepsilon. \end{aligned} \quad (18)$$

или

$$\begin{cases} y_1 = v_{a0} t \cos \varepsilon, \\ z_1 = v_{a0} t \sin \varepsilon - \frac{g t^2}{2}. \end{cases} \quad (19)$$

Дальнейшее решение системы уравнений (19) сводится к определению времени  $t$ , подстановка которого в уравнение (18) позволяет математически описать траекторию перемещения частицы  $M$ :

$$z_1 = y_1 \operatorname{tg} \varepsilon - \frac{g y_1^2}{2 v_{a0}^2 \cos^2 \varepsilon}. \quad (20)$$

Регрессионный анализ уравнения (20) достоверно подтверждает, что с течением времени  $t$  абсолютная скорость  $v_a$  перемещаемой частицы  $M$  варьирует от нуля в точке отрыва «0» плоскости  $zOy$  до максимального значения в точке экстремума параболической траектории. Следовательно, отбрасываемая частица почвы  $M$  приобретает ускорение  $\bar{a}$ , которое идентично направлению скорости  $\bar{v}_a$ , а параметр  $z = 0$ .

В этом случае

$$y_1 \operatorname{tg} \varepsilon - \frac{g y_1^2}{2 v_a^2 \cos^2 \varepsilon} = 0. \quad (21)$$

Интерпретация уравнения (21) позволяет заключить, что параметр  $y$  является дальностью смещаемой почвы  $M$  многогранным диском из междурядий в защитную зону:

$$y = l' = \frac{v_a^2 \sin 2\varepsilon}{g}. \quad (22)$$

Анализ рис. 1 и уравнения (20) позволяет достоверно установить, что с учетом угла атаки  $\alpha$  многогранного диска дальность смещения почвы в направлении, перпендикулярном направлению движению рабочего органа культиватора, из междурядий в защитную зону рядка

$$l = l' \cos \alpha = \frac{v_a^2 \sin 2\varepsilon \cdot \cos \alpha}{g}. \quad (23)$$

После ряда подстановок получим выражение, решение которого дает искомое расстояние между многогранными дисками:

$$L = \frac{2}{g} \left[ \frac{v \cdot \sin \alpha}{\cos \beta} \right]^2 \sin 2\varepsilon \cdot \cos \alpha. \quad (24)$$

Из выражения (24) следует, что расстояние между многогранными дисками в значительной степени зависит от скорости перемещения многогранных дисков в почве и угла их атаки, в меньшей степени – от физико-механических свойств почвы.

#### Обсуждение

Проведенные ранее учеными многочисленные исследования [2, 4, 9] процесса механизированного

ухода за посевами пропашных культур с применением дополнительных приспособлений – окучников, скребков, щитков, пластин, обеспечивающих смещение почвы из междурядий в защитную зону рядков, показали, что эти приспособления не всегда эффективны. В частности, это происходит из-за невозможности регулирования угла их атаки, глубины погружения в почву, а также отсутствия учета в теоретических расчетах сопротивления воздуха  $R$  и коэффициента пропорциональности  $k$ .

Теоретически оптимизированные конструктивные параметры нового рабочего органа культиватора при их практической реализации позволяют уменьшить повреждения и присыпания почвой культурных растений при осуществлении технологии механизированного ухода за посевами возделываемых культур.

Проведенные поисковые эксперименты показали, что при ширине защитной зоны 0,15 м расстояние  $L$

между многогранными дисками находится в пределах 0,45...0,5 м, что соответствует значениям  $L$ , полученным при расчетах по формуле (24).

#### Заключение

Приведенные теоретические выкладки для определения расстояния между рабочими органами, оснащенными многогранными дисками, и расположенными зеркально относительно рядка растений на грядах пропашного культиватора позволили установить, что на выбор искомого расстояния в большей степени влияют скорость перемещения многогранных дисков в почве и угол их атаки, в меньшей степени – физико-механические свойства почвы. При ширине защитной зоны 0,15 м расстояние  $L$  между многогранными дисками находится в пределах 0,45...0,5 м.

#### Литература

1. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства / А. Ю. Измайлов, Н. Н. Колчин, Я. П. Лобачевский и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 43-47.
2. Обзор рабочих органов пропашных культиваторов и разработка новых в концепции экологического земледелия / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, С. В. Стуканов и др. // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 121-126.
3. Strelakov S., Strelakova L. Designing soil tillage devices for the spiral land cultivation system // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. P. 00018. doi: 10.1051/e3sconf/201912600018.
4. Мазур В. В. Оценка эффективности применения комбинаций рабочих органов культиватора для возделывания кукурузы // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. С. 37-41. doi: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41.
5. Design and study of seeding devices for small selection seeding machines / V. Nemtinov, N. Kryuchin, A. Kryuchin, et al. // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. No. 00008. doi: 10.1051/e3sconf/201912600008.
6. Милюткин В.А., Буксман В.Э. The highly efficient unit for in-soil fertilizer application xtender with cultivator Cenius – TX (Amazonen-Werke, JSC «Evrotekhnika») technology No-Till, Mini-Till and the Crest-Ridge // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: материалы XIV Международной научной конференции. 2017. С. 488-493.
7. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства / А. В. Коршунов, Е. А. Симаков, Ю. Н. Лысенко и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 12-20. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10303
8. Bogus A. E., Kuzmenko A. D. Substantiation of the technological scheme of pneumatic grain seeder of subsurface dense sowing // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. P. 00040. doi:10.1051/e3sconf/201912600040
9. Блочно-модульный агрегат для возделывания пропашных культур / А. В. Балашов, А. Н. Омаров, Ж. Ж. Зайнушев и др. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2015. № 2. С. 163-170.
10. Набиев Т. С. Повышение качества сева и междурядной обработки пропашных культур // Успехи современного естествознания. 2010. № 9. С. 192-193.
11. Курдюмов В. И., Зыкин Е. С., Шаронов И. А. Новый рабочий орган культиватора // Сельский механизатор. 2012. № 11 (45). С. 12.
12. Использование цифровых технологий в растениеводстве для хранения и анализа данных истории полей / Н. В. Степных, Е. В. Нестерова, А. М. Заргарян и др. // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 3. С. 97-102. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_3\_97
13. Babitskiy L., Moskalevich V., Belov A. Results of research of working bodies with increased reliability of tillage and sowing machines // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01042. doi: 10.1051/e3sconf/202019301042
14. Belousov S. V., Samurganov E. E. On the problem of interaction of the tillage working body with the soil // E3S Web of Conferences. - ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01062. doi: 10.1051/e3sconf/202019301062
15. Курдюмов В.И. Технология и средства механизации гребневого возделывания пропашных культур: монография / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин. Ульяновск: Вега-МЦ, 2017. 320 с.
16. Некоторые вопросы о теплообеспеченности в системе «почва – растение – воздух» / И.И. Максимов, А.Р. Валиев, Е.П. Алексеев, Н.В. Максимов, И.В. Лукина // Вестник Казанского ГАУ. 2024. № 4 (76). С. 81-87. doi: 10.12737/2073-0462-2024-81-87
17. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A. K. Subaeva, A. A. Zamaidinov, V. I. Kurdyumov, et al. // Journal of Fundamental and Applied Sciences. Appl. Sci., 2017. 9(15), P. 1945-1955
18. Результаты сравнительных испытаний блочно-модульных культиваторов / Н. К. Мазитов, Л. З. Шарафиев, Р. Л. Сахапов и др. // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 3. С. 54-56.

19. Совершенствование методики проектирования почвозащитных технологий на склоновых агроландшафтах / С. И. Чучкалов, В. В. Алексеев, И. И. Максимов и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2023. № 3 (71). С. 111-116. doi: 10.12737/2073-0462-2023-111-116

20. Патент 2840299 Российская Федерация, МПК А01В39/20, А01В13/02, А01В35/18. Рабочий орган культиватора / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, А.Н. Кривоногов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2024137926; заявл. 16.12.2024; опубл. 21.05.2025, Бюл. № 15.

## References

1. Modern technologies and special equipment for potato cultivation / A.Yu. Izmailov, N.N. Kolchin, Ya.P. Lobachevsky et al. // Agricultural Machinery and Technologies. 2015. No. 3. P. 43-47.

2. Review of working bodies of row cultivators and development of new ones in the concept of ecological farming / A.I. Filippov, E.V. Zayats, S.V. Stukanov et al. // Vestnik of the Belarusian State Agricultural Academy. 2020. No. 4. P. 121-126.

3. Strekalov S., Strekalova L. Designing soil tillage devices for the spiral land cultivation system // E3S Web of Conferences. IC-MTMTE, 2019. Vol. 126. P. 00018. doi: 10.1051/e3sconf/201912600018.

4. Mazur V. V. Evaluation of the efficiency of using combinations of cultivator working bodies for corn cultivation // Agroengineering. 2022. Vol. 24. No. 4. P. 37-41. doi: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41.

5. Design and study of seeding devices for small selection seeding machines / V. Nemtinov, N. Kryuchin, A. Kryuchin, et al. // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. No. 00008. doi: 10.1051/e3sconf/201912600008.

6. Milyutkin V.A., Buksman V.E. The highly efficient unit for in-soil fertilizer application extender with cultivator Cenius – TX (Amazonen-Werke, JSC «Evrotekhnika») technology No-Till, Mini-Till and the Crest-Ridge // Agroecological aspects of sustainable development of the agro-industrial complex: materials of the XIV International scientific conference. 2017. P. 488-493.

7. Current problems and priority directions of development of potato cultivation / A.V. Korshunov, E.A. Simakov, Yu.N. Lysenko et al. // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. Vol. 32. No. 3. P. 12-20. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10303

8. Bogus A. E., Kuzmenko A. D. Substantiation of the technological scheme of pneumatic grain seeder of subsurface dense sowing // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. P. 00040. doi:10.1051/e3sconf/201912600040

9. Block-modular unit for cultivating of row crops / A. V. Balashov, A. N. Omarov, Zh. Zh. Zainushev et al. // Vestnik of Michurinsk State Agrarian University. 2015. No. 2. P. 163-170.

10. Nabiev T.S. Improving the quality of sowing and inter-row cultivation of row crops // Advances in modern natural science. 2010. No. 9. P. 192-193.

11. Kurdyumov V.I., Zykin E.S., Sharonov I.A. New working body of the cultivator // Rural machine operator. 2012. No. 11 (45). P. 12.

12. Usage of digital technologies in crop production for storing and analyzing field history data / N.V. Stepanykh, E.V. Nesterova, A.M. Zargaryan et al. // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2022. Vol. 36. No. 3. P. 97-102. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_3\_97

13. Babitskiy L., Moskalevich V., Belov A. Results of research of working bodies with increased reliability of tillage and sowing machines // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01042. doi: 10.1051/e3sconf/202019301042

14. Belousov S. V., Samurganov E. E. On the problem of interaction of the tillage working body with the soil // E3S Web of Conferences. - ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01062. doi: 10.1051/e3sconf/202019301062

15. Kurdyumov V.I. Technology and means of mechanization of ridge cultivation of row crops: monograph / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin. Ulyanovsk: Vega-MC, 2017. 320 p.

16. Some issues on heat supply in the "soil - plant - air" system / I.I. Maksimov, A.R. Valiev, E.P. Alekseev, N.V. Maksimov, I.V. Lukina // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2024. No. 4 (76). P. 81-87. doi: 10.12737/2073-0462-2024-81-87.

17. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A.K. Subaeva, A.A. Zamaidinov, V.I. Kurdyumov, et al. // Journal of Fundamental and Applied Sciences. Appl. Sci., 2017. No. 9(15). P. 1945-1955

18. Results of comparative tests of block-modular cultivators / N.K. Mazitov, L.Z. Sharafiev, R.L. Sakhapov et al. // Tractors and agricultural machinery. 2013. No. 3. P. 54-56.

19. Improvement of the methodology for designing soil conservation technologies on slope agricultural landscapes / S. I. Chuchkalov, V. V. Alekseev, I. I. Maksimov, et al. // Vestnik of Kazan SAU. 2023. No. 3 (71). P. 111-116. doi: 10.12737/2073-0462-2023-111-116

20. Patent 2840299 Russian Federation, IPC А01В39/20, А01В13/02, А01В35/18. Working body of the cultivator / V. I. Kurdyumov, E. S. Zykin, A. N. Krivonogov; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk SAU. No. 2024137926; appl. 16.12.2024; published 21.05.2025, Bull. № 15.