

doi:10.18286/1816-4501-2024-3-215-222

УДК 631.313.72

Кинематика игольчатого диска с лопатками в турбодисковом культиваторе при измельчении растительных остатков

И. Е. Припоров✉, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика»

В. С. Курасов, доктор технических наук, доцент, профессор, заведующий кафедрой «Тракторы, автомобили и техническая механика»

В. И. Бацунов, аспирант кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика»

ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

350044, Краснодарский край, город Краснодар, улица им. Калинина, дом 13

✉i.priporov@yandex.ru

Резюме. Исследования проводили с целью определения кинематических параметров игольчатого диска с лопатками при измельчении растительных остатков. При анализе взаимодействия лопатки игольчатого диска турбодискового культиватора со стерней подсолнечника рассмотрены его кинематические параметры, такие как скорость и ускорение точки, находящейся на острие лопатки. Определяли поступательные скорости исследуемой точки и на основе метода аналитической геометрии, находили ее координаты для составления параметрических уравнений, которые описывали траекторию движения игольчатого диска. Перемещение точки зависит от угла поворота игольчатого диска, поступательной скорости и времени его вращения, а также длины рабочего элемента игольчатого диска, которая складывается из длин лопатки и ее основания. На основе дифференцирования уравнений траекторий движения игольчатого диска с лопатками по времени получены проекции скорости точки. Установлено, что модуль абсолютной скорости точки на игольчатом диске зависит от поступательной скорости и угла его поворота. При повороте игольчатого диска с лопаткой длиной 0,2565...0,3195 м и увеличении их числа от 4 до 8 штук проекция скорости точки повышается с 2,48 м/с до 19,87 м/с, с 3,72 м/с до 9,80 м/с и с 4,24 м/с до 39,73 м/с соответственно. После дифференцирования уравнений ее проекций получены уравнения проекций ускорений на соответствующие координатные оси. Установлено, что ускорение точки игольчатого диска зависит от длины лопатки и угловой скорости диска. Проекция ускорения a_x этой же точки при повороте игольчатого диска с лопатками длиной 0,2565...0,3195 м на различный угол при разном их количестве изменяется в диапазоне 216,36...269,50 м/с², 520,47...648,31 м/с² и 865,43...1078 м/с² соответственно, а проекции ускорения a_y – от 96,16 м/с² до 5294,3 м/с².

Ключевые слова: волнистый диск, игольчатый диск, лопатки, измельчение, стерня, турбодисковый культиватор.

Для цитирования: Припоров И. Е., Курасов В. С., Бацунов В. И., Кинематика игольчатого диска с лопатками в турбодисковом культиваторе при измельчении растительных остатков // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. №3 (67). С. 215-222. doi:10.18286/1816-4501-2024-3-215-222

Kinematics of a needle disk with blades in a turbo-disc cultivator when crushing plant residues

I. E. Priporov✉, **V. S. Kurasov**, **V. I. Batsunov**

FSBEI HE Kuban SAU

350044, Krasnodar Territory, the city of Krasnodar, Kalinina St, Building 13

✉i.priporov@yandex.ru

Abstract. The studies were conducted to determine the kinematic parameters of a needle disk with blades when crushing plant residues. When analyzing the interaction of the blade of a needle disk of a turbo-disc cultivator with sunflower stubble, its kinematic parameters, such as the speed and acceleration of a point located on the tip of the blade, were considered. The translational velocities of the studied point were determined and, based on the analytical geometry method, its coordinates were found to compile parametric equations that described the trajectory of the needle disk. The movement of the point depends on the angle of rotation of the needle disk, the translational speed and time of its rotation, as well as the length of the working element of the needle disk, which consists of the lengths of the blade and its base. Based on the differentiation of the equations of the trajectories of the needle disk with blades over time, projections of the point velocity were obtained. It was established that the absolute velocity modulus of a point on the needle disk depends on the translational speed and the angle of its rotation. When a needle disk with a blade of length 0.2565...0.3195 m rotates and their number increases from 4 to 8 pieces, the projection of the point velocity increases

from 2.48 m/s to 19.87 m/s, from 3.72 m/s to 9.80 m/s and from 4.24 m/s to 39.73 m/s, respectively. After differentiating the equations of its projections, the equations of the projections of the accelerations onto the corresponding coordinate axes were obtained. It is established that the acceleration of a point of a needle disk depends on the length of the blade and the angular velocity of the disk. The projections of the acceleration a_x of the same point when turning a needle disk with blades 0.2565...0.3195 m long at different angles with different numbers of blades vary in the range of 216.36...269.50 m/s², 520.47...648.31 m/s² and 865.43...1078 m/s², respectively, and the projections of the acceleration a_y – from 96.16 m/s² to 5294.3 m/s².

Keywords: corrugated disk, needle disk, blades, chopping, stubble, turbo-disc cultivator.

For citation: Priporov I. E., Kurasov V. S., Batsunov V. I. Kinematics of a needle disk with blades in a turbo-disc cultivator when crushing plant residues // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2024;3(67): 215-222 doi:10.18286/1816-4501-2024-3-215-222

Введение

При внесении в почву растительных остатков сельскохозяйственных культур появляется проблема их измельчения на частицы размером не более 15 см с дополнительным расщеплением на части для последующего их разложения. В настоящее время отсутствуют почвообрабатывающие машины (ПОМ), которые обеспечивают измельчение высокостебельных культур [1] до нужных размеров. Перспективными представляются агрегаты, которые имеют пассивные рабочие органы. Анализ конструкций ПОМ и рабочих органов для послепосевочного измельчения растительных остатков имеет большое значение [2]. Интенсификация сельского хозяйства связана с ростом производительности, что приводит к снижению плодородия почвы [3]. Применяемые ПОМ не пригодны для измельчения растительных остатков высокостебельных культур, и проблема по их измельчению не решена в полном объеме [4]. Для мульчирующей обработки почвы в нашей

стране и за рубежом нашли применение орудия с дисковыми органами [5]. Основным требованием к ним, которое выполняется при работе агрегата, является то, что большая часть растительных остатков должна находиться в верхнем слое [6], при этом измельчение осуществляется игольчатыми дисками с лопатками.

Целью работы является определение кинематических параметров игольчатого диска с лопатками при измельчении растительных остатков.

Материалы и методы

В качестве растительных остатков использовали стерню высокостебельных культур, таких как подсолнечник, кукуруза.

Пусть игольчатый диск, у которого лопатки наклонены под углом 15...25°, вращается по часовой стрелке с угловой скоростью $\omega_{иг}$ и при ударе по стерне подсолнечника перемещается поступательно со скоростью V_A (рис. 1).

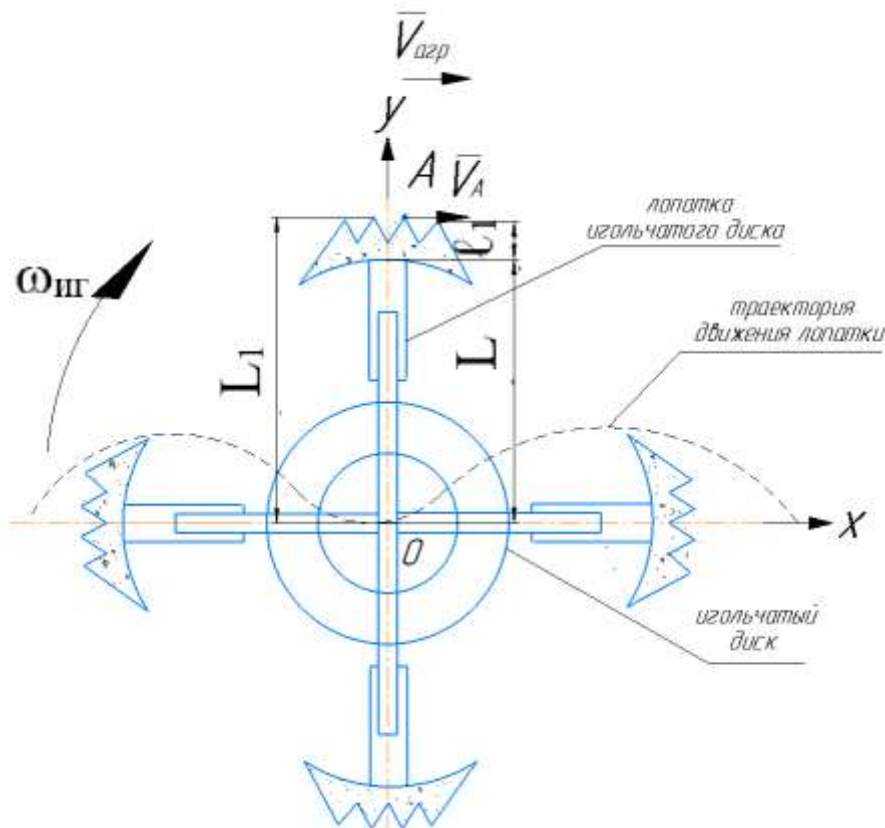


Рис. 1. Траектория движения игольчатого диска

Под действием волнистых дисков [7] вращаются игольчатые диски с лопатками, которые осуществляют вертикальную обработку почвы (ВОП) [8, 9, 10].

При анализе взаимодействия лопатки игольчатого диска турбодискового культиватора со стерней подсолнечника необходимо рассмотреть его кинематику (см. рис. 1).

При определении поступательных скоростей исследуемых точек игольчатого диска с лопаткой на основе метода аналитической геометрии находят их координаты для параметрических уравнений при описании траектории движения игольчатого диска уравнениями:

$$x = L_1 \sin \omega_{u2} t_{u2} + \vartheta_0 t_{u2}, \quad (1)$$

$$y = L_1 \cos \omega_{u2} t_{u2} + \frac{L_1}{2} \left(\cos \frac{\omega_{u2} \pi}{\varphi_{u2}} t_{u2} - 1 - \cos \varphi_{u2} \cos \frac{\omega_{u2} \pi}{\varphi_{u2}} t_{u2} + \cos \varphi_{u2} \right), \quad (2)$$

где L_1 – длина иглы, м; ω_{u2} – угловая скорость вращения игольчатого диска, с^{-1} ; t_{u2} – время вращения игольчатого диска, с; ϑ_0 – окружная скорость вращения лопаток игольчатого диска, м/с; φ_{u2} – угол поворота игольчатого диска, рад.

Перемещение точки А можно определить по уравнению:

$$S_A = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (3)$$

$$S_A = \sqrt{\left(L_1 \sin \omega_{u2} t_{u2} + \vartheta_0 t_{u2} \right)^2 + \left[L_1 \cos \omega_{u2} t_{u2} + \frac{L_1}{2} \left(\cos \frac{\omega_{u2} \pi}{\varphi_{u2}} t_{u2} - 1 - \cos \varphi_{u2} \cos \frac{\omega_{u2} \pi}{\varphi_{u2}} t_{u2} + \cos \varphi_{u2} \right) \right]^2}, \quad (4)$$

$$t_{u2} = \frac{\varphi_{u2}}{\omega_{u2}}, \quad (5)$$

$$\varphi_{u2} = \frac{360^\circ}{k_{\text{л}}}. \quad (6)$$

После проведения математических преобразований и с учетом выражений (5), (6) получим:

$$S_A = \sqrt{2L_1^2 (1 - \cos \varphi_{u2}) + \vartheta_0^2 t_{u2}^2 (2L_1^2 \sin \varphi_{u2} + 1)}. \quad (7)$$

Перемещение точки зависит от суммы длин лопатки игольчатого диска и ее основания, угла поворота игольчатого диска, времени его вращения, а также поступательной скорости агрегата.

Дифференцируя уравнения (1), (2) по времени, получим проекции скорости точки А:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = \vartheta_0 \cos \varphi_{u2} + \vartheta_0, \quad (8)$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = -L_1 \omega_{u2} \sin \omega_{u2} t_{u2} - \frac{L_1}{2} \cdot \frac{\omega_{u2} \pi}{\varphi_{u2}} \sin \frac{\omega_{u2} \pi}{\varphi_{u2}} t_{u2}. \quad (9)$$

Проведем математическое преобразование выражения (9). Окончательно получим:

$$\varphi_{u2} = \frac{2\pi}{k_{\text{л}}}. \quad (10)$$

Тогда

$$V_y = -L_1 \omega_{u2} \sin \varphi_{u2}. \quad (11)$$

Составляющие скорости V_x и V_y точки, которые направлены по соответствующим осям при повороте игольчатого диска при разном количестве лопаток, являются переменными.

Модуль абсолютной скорости точки А на игольчатом диске

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}, \quad (12)$$

$$V = 1,41 \vartheta_0 \sqrt{(1 + \cos \varphi_{u2})}. \quad (13)$$

Модуль абсолютной скорости точки А на игольчатом диске зависит от поступательной скорости и угла его поворота.

Продифференцируем выражения (8) и (9) по времени для определения проекций ускорений точки А:

$$a_x = \frac{dV_x}{dt} = -L_1 \omega_{u2}^2 \sin \varphi_{u2}, \quad (14)$$

$$a_y = \frac{dV_y}{dt} = -L_1 \omega_{u2}^2 \cos \omega_{u2} t_{u2}. \quad (15)$$

Составляющие ускорений a_x и a_y точки А изменяются соответственно по синусоидальному и косинусоидальному законам.

Модуль абсолютного ускорения точки А лопатки игольчатого диска

$$a_A = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}, \quad (16)$$

$$a_A = L_1 \omega_{u2}^2. \quad (17)$$

Следовательно, ускорение точки игольчатого диска с лопатками зависит от длины лопаток и угловой скорости диска.

Результаты

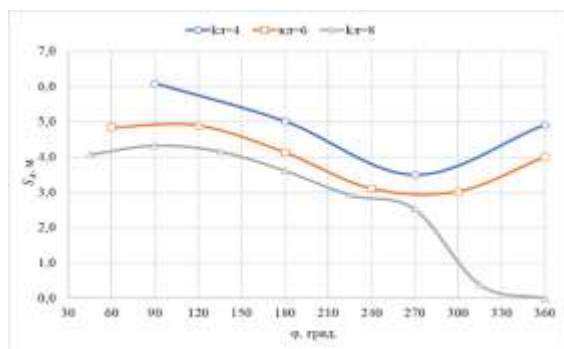
Зависимости перемещения точки лопатки от угла ее поворота при разной длине лопаток и разном их количестве приведены на рисунке 2.

Анализ уравнения (11) и рисунка 2 показывает, что при постоянной длине лопаток игольчатого диска 0,2565 м и 0,3195 м перемещение точки на лопатке при повороте ее от 45° до 360° и разном количестве лопаток $k_{\text{л}}$ изменяется по косинусоидальному и синусоидальному законам.

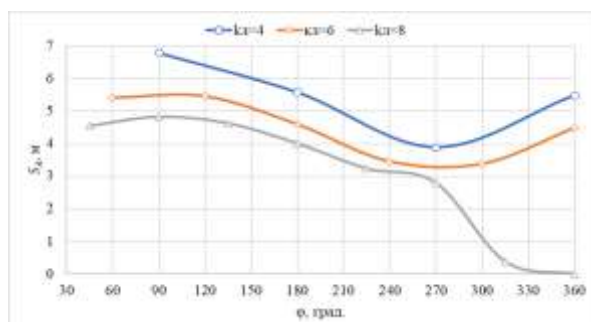
При этом вне зависимости от длины лопаток происходит:

- уменьшение перемещения с 6,09 м до 4,92 м и с 6,79 м до 5,49 м соответственно при $k_{\text{л}} = 4$;
- снижение его – с 4,85 м до 4,01 м и с 5,41 м до 4,48 м соответственно при $k_{\text{л}} = 6$;
- снижение его – с 4,08 м до 0 м и с 4,55 м до 0 м соответственно при $k_{\text{л}} = 8$.

Зависимости скоростей от угла поворота лопаток при разном их количестве приведены на рисунках 3 – 5.

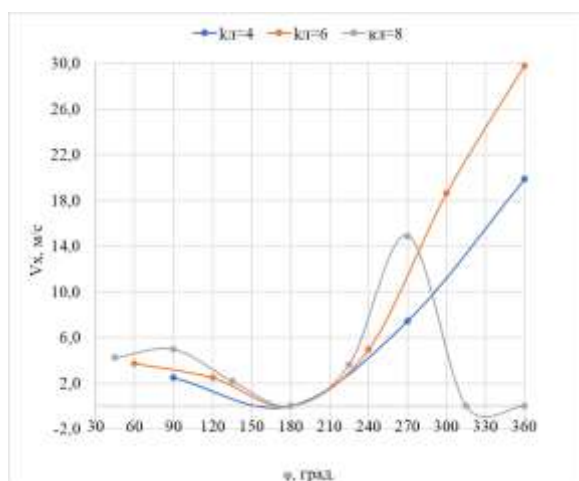


а

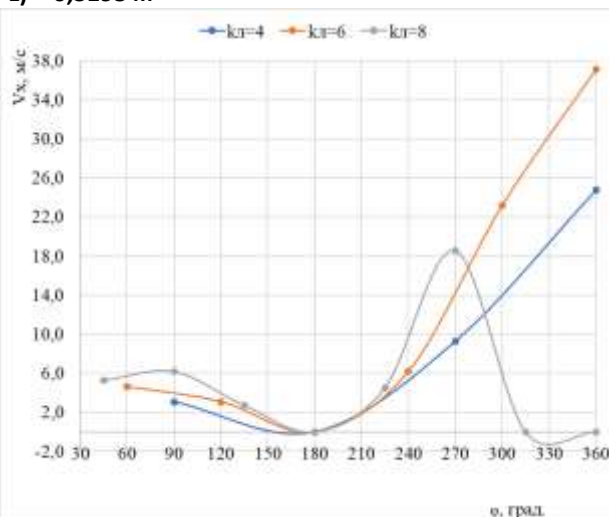


б

Рис. 2. Зависимости перемещения точки на лопатке от угла ее поворота при разном количестве лопаток и постоянной длине лопаток: а) $(\ell_1+L) = 0,2565$ м; б) $(\ell_1+L) = 0,3195$ м

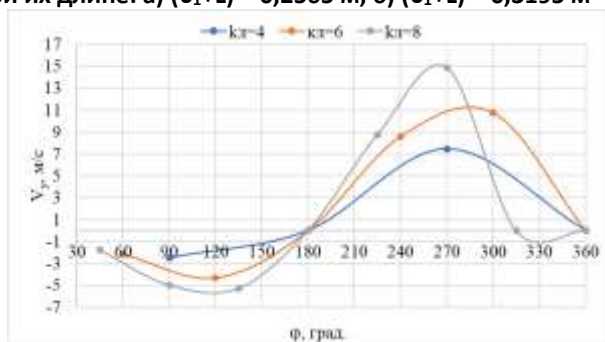


а

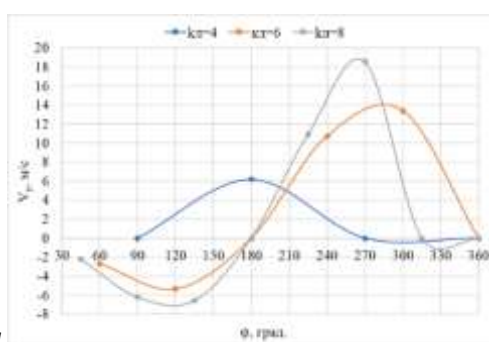


б

Рис. 3. Зависимость проекции скорости V_x от угла поворота и количества лопаток игольчатого диска при разной их длине: а) $(\ell_1+L) = 0,2565$ м; б) $(\ell_1+L) = 0,3195$ м

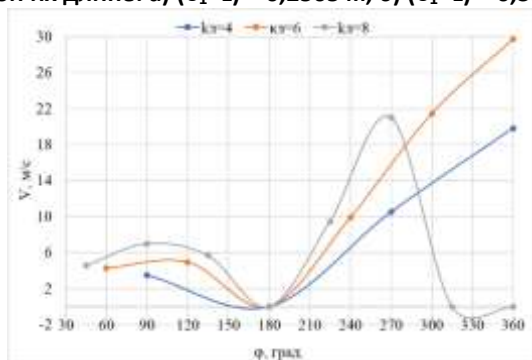


а

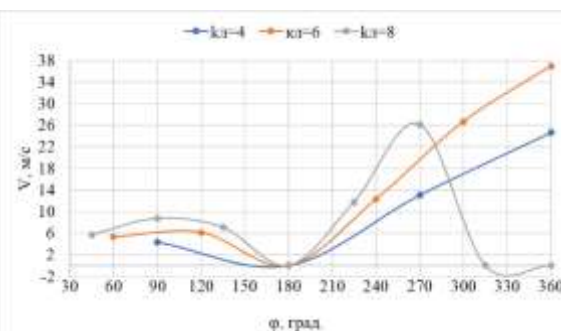


б

Рис. 4. Зависимости проекции скорости V_y от угла поворота и количества лопаток игольчатого диска при разной их длине: а) $(\ell_1+L) = 0,2565$ м; б) $(\ell_1+L) = 0,3195$ м



а



б

Рис. 5. Зависимости скорости V от угла поворота и количества лопаток игольчатого диска при разной их длине: а) $(\ell_1+L) = 0,2565$ м; б) $(\ell_1+L) = 0,3195$ м

Анализ представленных зависимостей (рисунки 3 – 5) показывает, что:

1) проекция скорости V_x при повороте игольчатого диска на 180° при разном количестве лопаток и ее длине равна нулю. При количестве лопаток игольчатого диска равном 4 шт. и длине лопатки 0,2565 м скорость V_x снижается с 2,48 м/с до 0 м/с и возрастает с 0 м/с до 19,87 м/с при повороте лопатки на 360° . При кл = 6 шт. она также снижается с 3,72 до 0 м/с при повороте лопатки с 60° до 180° и повышается с 0 м/с до 29,8 м/с при дальнейшем вращении диска. Такой же характер изменения наблюдается и при кл = 8 шт. – с 4,24 м/с до 0 м/с при повороте игольчатого диска с 45° до 180° и затем V_x резко возрастает до 39,73 м/с. Таким же образом скорость изменяется и при длине лопатки 0,3195 м;

2) проекция скорости V_y имеет другой характер. Она равна нулю при угле поворота игольчатого диска на 180° при разной длине лопатки. Составляющая скорости точки изменяется по синусоидальному закону. При длине лопаток 0,2565...0,3195 м и разном количестве лопаток скорость снижается до нуля;

3) характер зависимости абсолютной скорости точки V от угла поворота игольчатого диска имеет одинаковый вид с проекцией скорости V_x . При этом V изменяется по синусо- и косинусоидальному законам. При угле поворота диска 180° и разном количестве лопаток она равна нулю;

4) составляющие скорости V_x и V_y точки направлены по осям при повороте игольчатого диска с разным количеством лопаток и являются переменными.

Зависимости ускорений точки диска от угла поворота лопаток при разном их количестве приведены на рисунках 6 - 7. Составляющие ускорений a_x и a_y точки А изменяются соответственно по законам $\sin$ и $\cos$.

При угле поворота 180° $a_x = 0$ при разном количестве лопаток. Ускорение точки a_x достигает максимального значения $865,43 \dots 1078 \text{ м/с}^2$ при разном количестве лопаток, угле поворота в 270° и их количестве - 8 шт.; при кл = 4 шт. $a_x = 216,36 \dots 269,50 \text{ м/с}^2$. При количестве лопаток 6 шт. и угле их поворота 300° максимальное значение $a_x = 520,47 \dots 648,31 \text{ м/с}^2$.

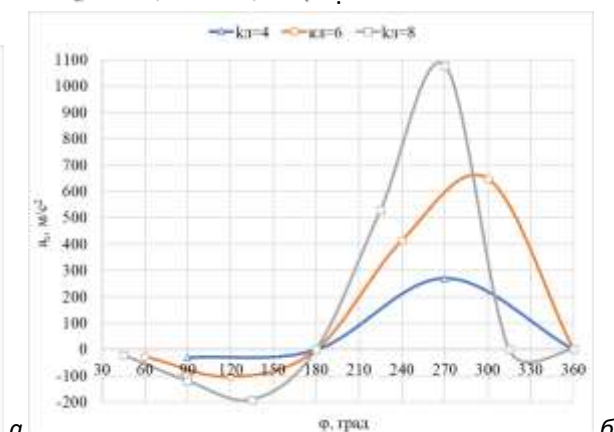
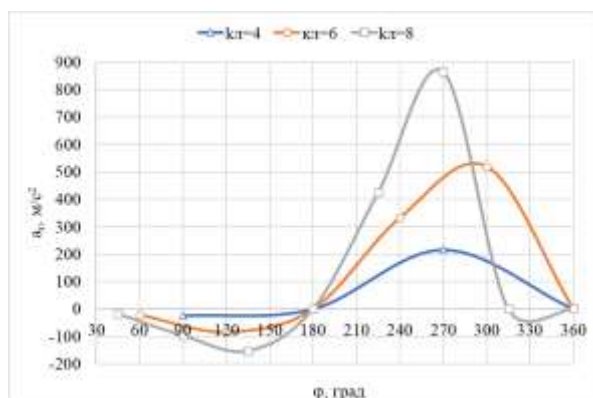


Рис. 6. Зависимости проекции ускорения a_x от угла поворота лопаток и их количества при разной длине лопаток: а) $(l_1+l) = 0,2565 \text{ м}$; б) $(l_1+l) = 0,3195 \text{ м}$

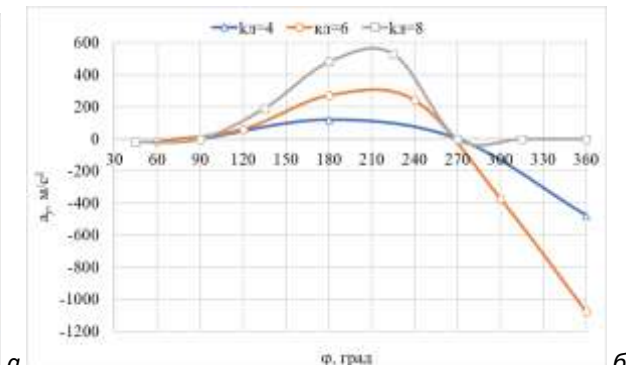
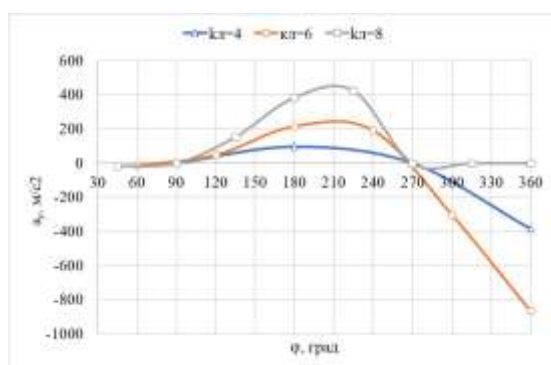


Рис. 7. Зависимости проекции ускорения a_y от угла поворота лопаток игольчатого диска и их количества при разной длине лопаток: а) $(l_1+l) = 0,2565 \text{ м}$; б) $(l_1+l) = 0,3195 \text{ м}$

При угле поворота 270° составляющая a_y равна нулю при различном количестве лопаток; при угле поворота 315° $a_y = 0$ когда их количество равно 8 шт. Составляющая проекции a_y имеет максимальное значение, равное $424,96 \dots 5294,3 \text{ м/с}^2$ при раз-ной длине лопаток, их количестве 8 шт., а также угле поворота 225° . При $k_l = 6$ шт. $a_y = 216,36 \dots 269,50 \text{ м/с}^2$, когда угол поворота равен 180° , а при 0° и $k_l = 4$ шт. $a_y = 96,16 \dots 119,78 \text{ м/с}^2$.

Обсуждение

Все ранее опубликованные научные работы по исследованию вертикальной обработки почвы [11, 14, 15] направлены на изучение взаимодействия дисковых органов с учетом их кинематических параметров и параметров волнистых дисков борон [11, 12, 13,]. При этом отсутствуют данные по кинематическим параметрам игольчатого диска с разной длиной лопаток и разным их количеством. Увеличение длины лопатки игольчатого диска от 0,2565 м до 0,3195 м и количества лопаток с 4 до 8 приводит к снижению перемещения точки А, находящейся на острие лопатки, с 6,09 м до 4,55 м.

При повороте игольчатого диска с лопаткой длиной 0,2565...0,3195 м и увеличении их числа от 4 до 8 штук проекция скорости точки повышается с 2,48 м/с до 19,87 м/с, с 3,72 м/с до 9,80 м/с и с 4,24 м/с до 39,73 м/с соответственно.

Проекция ускорения a_x этой же точки при повороте игольчатого диска с лопатками длиной 0,2565...0,3195 м на различный угол при разном их

количестве изменяется в диапазоне 216,36...269,50 м/с², 520,47...648,31 м/с² и 865,43...1078 м/с² соответственно, а проекции ускорения a_y - от 96,16 м/с² до 5294,3 м/с².

Результаты исследований позволят в последующем определить рациональные значения скорости и ускорения точки игольчатого диска с лопатками разной длины и при разном их количестве.

Закключение

Результаты исследований позволили определить кинематические параметры игольчатого диска с лопатками, длина которых изменяется в диапазоне 0,2565...0,3195 м и количестве – 4...8 шт. при измельчении стерни высокостебельных культур, таких как стерня подсолнечника, кукурузы после уборки. Установлено, что длина лопатки игольчатого диска зависит от диаметра волнистого диска. При этом длина лопатки влияет на перемещение, скорость и ускорение точки, расположенной на острие игольчатого диска. Эти параметры также зависят от количества лопаток. Для увеличения длины траектории точки на игольчатом диске до 6,79 м необходимо, чтобы длина лопатки была 0,3195 м, а их количество было равно четырем. Скорость и ускорение точки увеличиваются при длине лопатки 0,3195 м и количестве 4 шт. и составляют соответственно 24,67 м/с и 479,1 м/с² по сравнению с длиной лопатки 0,2565 м.

Полученные данные в дальнейшем позволят оптимизировать производительность турбодискового культиватора при ВОП и предложить пути снижения ее энергоемкости.

Литература

1. Катков И. Измельчитель пожнивных остатков высокостебельных сельскохозяйственных культур / И. Б. Борисенко, Д. В. Скрипкин, М. В. Мезникова и др. // Известия НВ АУК. 2022. №. 2(66). С. 329-339. doi: 10.32786/2071-9485-2022-02-41.
2. Козлов Н. С. Обзор и анализ конструкций рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов для измельчения растительных остатков // Вестник Белорусской ГСХА. 2017. № 1. С. 123-125.
3. Почвовлагодережающие технологии и средства механизации обработки легких почв в Республике Беларусь / А. А. Точицкий, Н. Д. Лепешкин, П. П. Костюков и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 46. С. 3-10.
4. Измельчение и заделка пожнивных остатков высокостебельных культур / Н.Д. Лепешкин, А.А. Точицкий, Н.С. Козлов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-технической конференции. Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». Минск, 2015. С. 81-86.
5. Дисковые орудия для поверхностной обработки почвы / А.А. Шварц, А.Г. Уварова, Лукин С.Г. // Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России: сб. научных статей Междунар. конф. Курск, 2021. С. 175-178.
6. Требования к рабочим органам агрегата для основной обработки склоновых земель и выбор их типа / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, А. И. Филиппов // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сб. научных статей по материалам XXV Междунар. научно-практ. конф. Гродно, 2022. – С. 89-91.
7. Combined effect of disc coulters and operational speeds on soil disturbance and crop residue cutting under no-tillage system in soil bin / K. Neeraj, C. P. Sawant, R. K. Sharma et al. // Journal of Scientific & Industrial Research. 2021. Vol. 80. P. 739-749. doi:10.56042/jsir.v80i09.40333
8. Zeng Z., Chen Y. The performance of a fluted coulter for vertical tillage as affected by working speed / // Soil & Tillage Research. 2018. Vol. 175. P. 112–118. doi:10.1016/j.still.2017.08.006.