

УДК 631.313.6

UDC 631.358

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 - Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ НА ВЫСОТУ ГРЕБНЯ ДНА БОРОЗДЫ

INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF DISC WORKING BODIES ON THE HEIGHT OF THE CREST OF THE BOTTOM OF THE FURROW

Коновалов Владимир Иванович
доцент кафедры «Процессы и машины в агробизнесе»
SPIN-код 4413-4190, ABH-7546-2020
Scopus Author ID: 57190000996
ORCID 0000-0003-2740-2010
e-mail: konovalov.v.i@mail.ru
ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», Краснодар, Россия

Konovalov Vladimir Ivanovich
Associate Professor, Department of Processes and Machines in Agribusiness
RCI SPIN-code 4413-4190, ABH-7546-2020
Scopus Author ID: 57190000996
ORCID 0000-0003-2740-2010
e-mail: konovalov.vi@mail.ru
FSBEI HE Kuban SAU, Krasnodar, Russia

Коновалов Сергей Иванович
инженер
SPIN-код 5475-7500
ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», Краснодар, Россия

Konovalov Sergey Ivanovich
engineer
RSCI SPIN-code 5475-7500
FSBEI HE Kuban SAU, Krasnodar, Russia

Жадько Валерия Витальевна
студент факультета механизации
ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», Краснодар, Россия

Zhadko Valeria Vitalievna
student of the Faculty of Mechanization
FSBEI HE Kuban SAU, Krasnodar, Russia

Диски являются одними из самых распространенных почвообрабатывающих рабочих органов, используемых как на самостоятельных машинах и орудиях, так и в составе комбинированных агрегатов. Соблюдение агротехнических требований является необходимым условием для повышения технологической эффективности работы дисковых рабочих органов. Высота гребня дна борозды зависит от ряда конструктивных и технологических параметров соседних дисков, а также расстояния между ними. В статье получены аналитические выражения, позволяющие описать взаимосвязь высоты гребня дна борозды, образующегося между проекциями режущих кромок соседних дисков, конструктивно-технологическими параметрами и заданной схемой ориентации

Discs are one of the most common tillage working bodies, used both on independent machines and implements, and as part of combined aggregates. Compliance with agrotechnical requirements is a prerequisite for increasing the technological efficiency of the disk working bodies. The height of the crest of the bottom of the furrow depends on a number of design and technological parameters of adjacent discs, as well as the distance between them. The article contains analytical expressions that allow describing the relationship between the height of the crest of the bottom of the furrow, which is formed between the projections of the cutting edges of adjacent disks, design and technological parameters and a given orientation scheme

Ключевые слова: ДИСК, ГРЕБНИСТОСТЬ ДНА БОРОЗДЫ, КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, СХЕМА ОРИЕНТАЦИИ

Keywords: DISC, FURROW BOTTOM RIDGE, DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS, ORIENTATION SCHEME

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-184-008>

Актуальность исследования

В процессе производства продукции растениеводства производится большое количество самых разнообразных технологических операций, которые направлены на получение максимального урожая с минимальными

<http://ej.kubagro.ru/2022/10/pdf/08.pdf>

материальными затратами, затратами труда и энергии. Из всех технологических процессов, из которых состоит любая технология возделывания, можно выделить процесс обработки почвы, как один из наиболее сложных и не устойчивых [1]. Сложность и не устойчивость обработки почвы характеризуется большим перечнем конструктивных, технологических и агротехнических особенностей, соотношение которых меняется в зависимости от конкретной технологической операции и условий работы [4]. Например, основная обработка почвы с оборотом пласта и без него производится машинами различных конструкций. С другой стороны, паровая и предпосевная культивация производится машинами одной группы – культиваторами, однако для каждого вида культивации конструкции культиваторов имеют своих технологические и конструктивные особенности. И, наконец, если лущение почвы выполняется после уборки озимых колосовых культур, то оно имеет совершенно другое агротехническое назначение и требования, нежели по сравнению с лущением, которое выполняется после уборки длинностебельных пропашных культур. В последнее время почвоведы, агрономы и экономисты стали совместно искать решение проблемы определения пределов рентабельности производства сельскохозяйственных культур, с учетом деградации почвы, формирования оптимальных для растения условий произрастания и затрат на их выполнение.

Постановка задачи

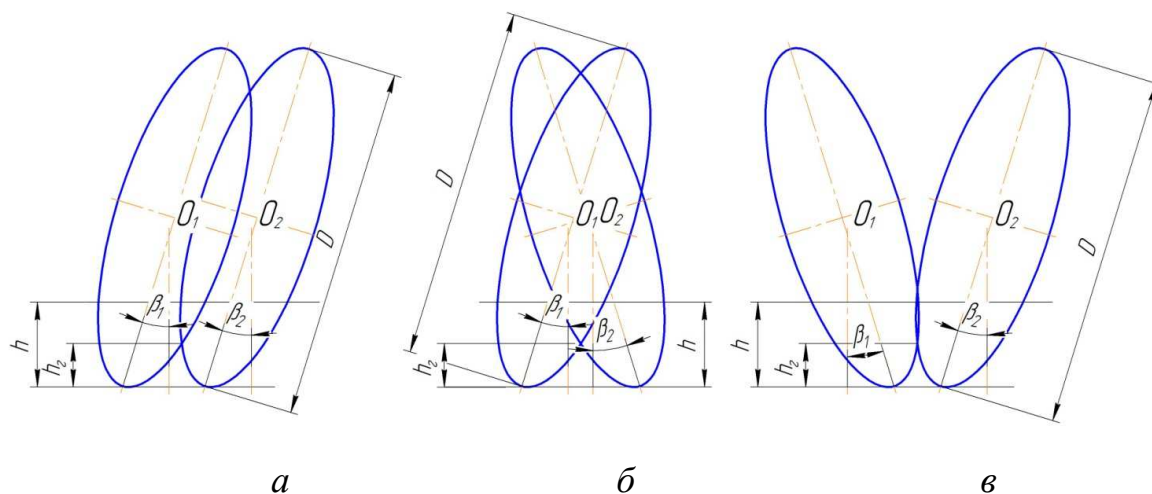
Из всех типов рабочих органов для обработки почвы дисковые являются одними из самых распространенных и востребованных, которые применяются как в качестве самостоятельных машин, так и в технологических схемах большинства комбинированных агрегатов [2, 6]. Зачастую при работе дисковых орудий для придания почве заданных агротехнических параметров приходится совершать многократные проходы, что не только значительно повышает себестоимость продукции, но и способствует развитию процессов эрозии почвы. Поэтому сокращение требуемого количе-

ство проходов дискового агрегата по полю является одним из наиболее актуальных вопросов.

После завершения технологического процесса обработки почвы с использованием дисков к ней предъявляется ряд агротехнических требований. Гребнистость дна борозды, как один из показателей перечня агротехнических требований, с одной стороны зависит от соотношения конструктивных и эксплуатационных параметров дисков, а с другой от схемы их расстановки на раме [3, 5]. И если, к примеру, в настоящее время крошение почвы невозможно с высокой точностью прогнозировать, то высоту гребня можно определить довольно точно, и его величина в последнее время становится уже регулировочным параметром. Таким образом, аналитическое определение взаимосвязи высоты образующегося при работе дисков гребня на дне борозды и их конструктивных и эксплуатационных параметров позволит уже на этапе проектирования дисковых борон заложить отдельные диапазоны регулировочных параметров.

Исследовательская часть

Дисковые бороны наиболее часто выполняют с рядным индивидуальным расположением рабочих органов. При этом взаимное расположение соседних дисков выполняют в трех вариантах (рис. 1): ориентация дисков в одном направлении, ориентация в «свал» и «развал», которые характеризуются величиной радиусов дисков, углами атаки и наклона дисков к вертикали. Исходя из конструктивных параметров, технологической надежности и эффективности дисковых орудий особенно сильно взаимодействие соседних рабочих органов будет находить отражение в высоте гребня дна борозды.



а – в одном направлении; б – в «развал»; в – в «свал»

Рисунок 1 – Схема взаимного расположения проекций соседних дисков

Для исследования степени влияния конструктивных и эксплуатационных параметров дисков на гребнистость дна борозды при их работе необходимо теоретически получить их взаимосвязь. Для этого, будем использовать систему координат, показанную на рисунке 2, в которой плоскость, образованная множеством точек режущей кромки рабочего органа в виде окружности с фиксированным размером R , лежит в I октанте. Тогда радиус AF_1 этой окружности будет касаться плоскости XOZ и составлять с ней угол α , равный углу атаки диска. В тоже время радиус AF_4 будет составлять с этой же плоскостью угол β , который равен углу наклона диска к вертикали.

В указанной системе координат координаты произвольной точки F режущей кромки будет описываться системой выражений:

$$\begin{cases} x = V_n t + R \sin \alpha \sin \beta \sin \omega t + R \cos \alpha \cos \omega t; \\ y = R \sin \alpha + R \cos \alpha \sin \beta \sin \omega t - R \sin \alpha \cos \omega t; \\ z = R \cos \beta - R \cos \beta \sin \omega t; \end{cases} \quad (1)$$

где x, y, z – текущие значения координат точки F ;

V_n – поступательная линейная скорость диска;

α – угол между плоскостью вращения диска и направлением его линейного поступательного движения;

β – угол наклона перпендикуляра к плоскости вращения диска к горизонтальной поверхности;

ω – угловая скорость вращения произвольной точки F .

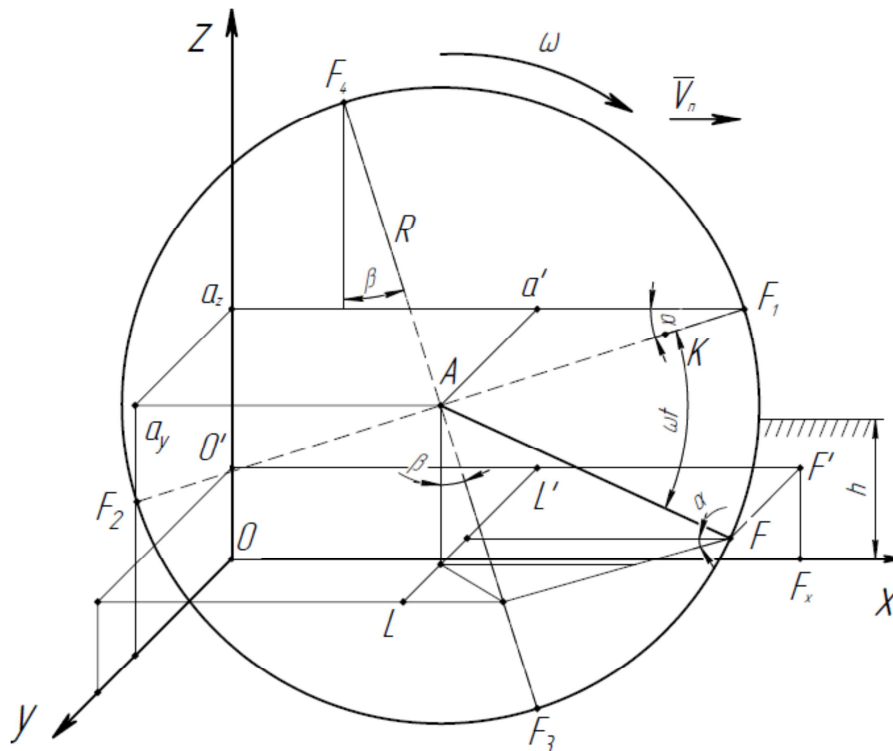


Рисунок 2 – К определению гребнистости дна борозды

Несмотря на то, что при любой ориентации отдельно взятого диска с заданными режимными и конструктивными параметрами величина проекции его режущей кромки не будет изменяться, то уже при рассмотрении соседних рабочих органов, именно их взаимодействие будет непосредственно влиять на высоту гребня дна борозды и показатели эффективности работы всего орудия в целом. В выбранной системе координат (рис. 2) проекции режущих кромок соседних дисков на плоскость YOZ будет описываться системами выражений:

$$\begin{cases} y_1 = R_1 \sin \alpha_1 + R_1 \cos \alpha_1 \sin \beta_1 \sin \omega_1 t - R_1 \sin \alpha_1 \cos \omega_1 t, \\ z_1 = R_1 \cos \beta_1 (1 - \sin \omega_1 t), \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} y_2 = R_2 \sin \alpha_2 + R_2 \cos \alpha_2 \sin \beta_2 \sin \omega_2 t - R_2 \sin \alpha_2 \cos \omega_2 t + b, \\ z_2 = R_2 \cos \beta_2 (1 - \sin \omega_2 t), \end{cases} \quad (3)$$

где b – расстояние по оси ординат между следами осей вращения на плоскости их вращения, м;

R_1 и R_2 – радиусы соответственно 1-го и 2-го из соседних дисков, м;

α_1 и α_2 – углы между плоскостями вращения соответственно 1-го и 2-го из соседних дисков и направлением их линейного поступательного движения, град;

β_1 и β_2 – углы наклона перпендикуляров к плоскостям вращения соответственно 1-го и 2-го из соседних дисков к горизонтальной поверхности, град;

ω_1 и ω_2 – угловые скорости вращения соответственно 1-го и 2-го из соседних дисков, с^{-1} ;

y_1, z_1, y_2 и z_2 – текущие значения координат точек 1-го и 2-го из соседних дисков, расположенных на фиксированном расстоянии b .

Полученные системы выражений (2) и (3) представляют собой аналитическую взаимосвязь текущих значений координат точек лезвий 1-го и 2-го из соседних дисков для абсолютно произвольного случая, когда их конструктивные и эксплуатационные параметры не равны: $R_1 \neq R_2, \alpha_1 \neq \alpha_2, \beta_1 \neq \beta_2, \omega_1 \neq \omega_2$.

Используя выражения (2) и (3) для определения координат z_1 и z_2 1-го и 2-го из соседних дисков, можно найти соответствующим им углы $\omega_1 t$ и $\omega_2 t$, которые составят:

$$\omega_1 t = \arcsin\left(1 - \frac{z_1}{R_1 \cos \beta_1}\right), \quad (4)$$

$$\omega_2 t = \arcsin\left(1 - \frac{z_2}{R_2 \cos \beta_2}\right), \quad (5)$$

Проведя подстановку и преобразования полученных выражений (4) и (5) в соответствующие им выражения систем (2) и (3), получим:

$$y_1 = R_1 \sin \alpha_1 + R_1 \cos \alpha_1 \sin \beta_1 - z_1 \operatorname{tg} \beta_1 \cos \alpha_1 \pm R_1 \sin \alpha_1 \cos(\arcsin(1 - \frac{z_1}{R_1 \cos \beta_1})), \quad (6)$$

$$y_2 = R_2 \sin \alpha_2 + R_2 \cos \alpha_2 \sin \beta_2 - z_2 \operatorname{tg} \beta_2 \cos \alpha_2 \pm R_2 \sin \alpha_2 \cos(\arcsin(1 - \frac{z_2}{R_2 \cos \beta_2})) + b,$$

(7)

Полученные выражения (6) и (7) будут описывать проекции лезвий 1-го и 2-го из соседних дисков на плоскость YOZ , которые представляют собой эллипсы, разнесенные вдоль оси YO на величину b один от другого. Поскольку при проведении преобразований углы поворота $\omega_1 t$ и $\omega_2 t$ были замены на соответствующие проекции, то последние члены уравнений (6) и (7) берутся со знаком «-» при рассмотрении правых частей соответствующих эллипсов и со знаком «+» при рассмотрении их левых частей.

Взаимодействие проекций режущих кромок соседних дисков может осуществляться в четырех вариантах: отсутствие их пересечений, касание в одной точке, пересечение в двух точках и их пересечение во множестве точек, вплоть до их совпадения. С точки зрения эксплуатации дисковых орудий, не пересечение проекций режущих кромок соседних дисков или их касание в одной точке приводит к образованию огрехов в работе, что будет не соответствовать агротехническим требованиям. С другой стороны, наличие множества точек их пересечения, или их совпадение, говорит о чрезмерном перекрытии соседних проходов, что, при условии сохранения курсовой устойчивости, приводит к значительному повышению энергоемкости процесса. Поэтому для прикладных задач в первую очередь будет иметь интерес случай, когда проекции режущих кромок соседних дисков будут иметь две точки пересечения.

Для определения точек пересечения эллипсов, описываемых выражениями (6) и (7), необходимо их приравнять и решить относительно об-

щей координаты z . При определении общей точки z необходимо использовать для координаты y_1 первого эллипса его левую часть, а для координаты y_2 второго эллипса его правую часть, т. е. последний член выражения (6) берется со знаком «+», а для выражения (7) со знаком «-». В результате будем иметь:

$$R_1 \sin \alpha_1 \sqrt{\frac{2zR_1 \cos \beta_1 - z^2}{R_1^2 \cos^2 \beta_1}} + R_2 \sin \alpha_2 \sqrt{\frac{2zR_2 \cos \beta_2 - z^2}{R_2^2 \cos^2 \beta_2}} + zC_2 + A_2 - B_2 = b, \quad (8)$$

где $A_2 = R_1(\sin \alpha_1 + \cos \alpha_1 \sin \beta_1)$, $B_2 = R_2(\sin \alpha_2 + \cos \alpha_2 \sin \beta_2)$,

$$C_2 = \operatorname{tg} \beta_2 \cos \alpha_2 - \operatorname{tg} \beta_1 \cos \alpha_1,$$

Полученное выражение позволяет аналитически определить значения общих координат z 1-го и 2-го из соседних дисков, или другими словами, высоту верхней точки гребня дна борозды, образованного при пересечении проекций их лезвий на фронтальной плоскости, для различных сочетаний их конструктивных и эксплуатационных параметров, а также расстояния между ними. Таким образом, используя полученное выражение, заданные конструктивные и эксплуатационные параметры 1-го и 2-го из соседних дисков, можно с одной стороны рассчитать высоту образующегося при работе дисков гребня на дне борозды, а с другой – задавшись его допустимой высотой, аналитически определить для различных схем их размещения на раме бороны расстояние между ними для ее соблюдения [3].

Поскольку в серийных конструкциях дисковых орудий наиболее часто используются рабочие органы с одинаковыми параметрами, т. е. $R_1 = R_2 = R$, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, $|\beta_1| = |\beta_2| = |\beta|$, то дальнейшее вычисления будем выполнять именно для такого случая.

В случаи размещения 1-го и 2-го из соседних дисков на раме в одном направлении, необходимо в полученное уравнение (8) подставить $R_1 = R_2$,

$\alpha_1 = \alpha_2, \beta_1 = \beta_2$. Тогда, высота гребнистости дна борозды будет определяться по выражению:

$$z_{1,2}^o = (R \pm \sqrt{R^2 - \frac{b^2}{4\sin^2 \alpha}}) \cos \beta, \quad (9)$$

где $z_{1,2}^o$ – координаты пересечения проекций лезвий 1-го и 2-го из соседних дисков при их ориентации на раме бороны в одном направлении.

При ориентации соседних дисков на орудии по варианту «в развал» (рис. 1), в полученном уравнении (8) необходимо использовать следующие параметры: $R_1 = R_2, \alpha_1 = \alpha_2, |\beta_1| = \beta_2$. Тогда, высота гребнистости дна борозды будет определяться по выражению:

$$z_{1,2}^p = \frac{A_3 + \cos \alpha \cos \beta \sin \beta (2R \cos \alpha \sin \beta + b) \pm B_3}{C_3}, \quad (10)$$

где $z_{1,2}^p$ – координаты пересечения проекций лезвий 1-го и 2-го из соседних дисков при их ориентации на раме бороны в «в развал».

$$A_3 = 2R \sin^2 \alpha \cos \beta$$

$$B_3 = \sin \alpha \cos \beta \sqrt{4R^2 \cos^2 \alpha (\cos^2 \beta + 2 \sin^2 \beta) + 4R^2 (1 - 2 \cos^2 \alpha) - b^2}$$

$$C_3 = 2 \cos^2 \alpha \sin^2 \beta + 2 \sin^2 \alpha$$

Для определения высоты, образующегося при работе 1-го и 2-го из соседних дисков, гребня на дне борозды при их ориентации на раме орудия по схеме «в свал» (рис. 1), в уравнении (8) необходимо использовать следующие параметры: $R_1 = R_2, \alpha_1 = \alpha_2, \beta_1 = |\beta_2|$. После преобразований, получим:

$$z_{1,2}^c = \frac{A_3 + \cos \alpha \cos \beta \sin \beta (2R \cos \alpha \sin \beta - b) \pm B_3}{C_3}, \quad (11)$$

где $z_{1,2}^c$ – координаты пересечения проекций лезвий 1-го и 2-го из соседних дисков при их ориентации на раме бороны в «в свал».

Поскольку высота гребня дна борозды, образующегося между проекциями двух соседних дисковых рабочих органа будет иметь физический

смысл только нижней точки их пересечения, то в полученных выражениях (9, 10 и 11) необходимо использовать члены со знаком «-».

Апробация полученных результатов

Правильность полученных положений подтверждается тем, что уравнение (9) аналогично ранее полученному выражению профессора Канарева Ф. М. для дискового плуга. Графики взаимосвязи высоты образующегося при работе 1-го и 2-го из соседних дисков гребня на дне борозды и их конструктивных и эксплуатационных параметров представлены на рисунках 3, 4 и 5.

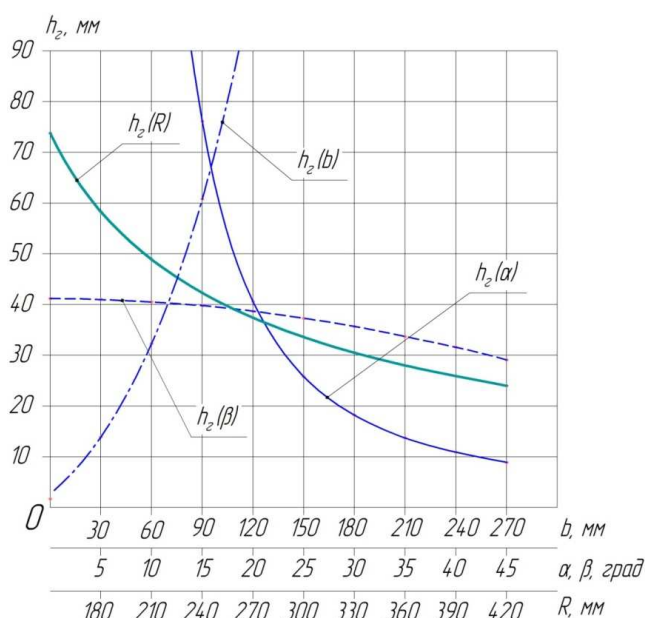


Рисунок 3 – Графики взаимосвязи высоты образующегося при работе 1-го и 2-го из соседних дисков гребня на дне борозды от их конструктивных и эксплуатационных параметров, одинаковой ориентации и $R = 0,28$ м,

$$b = 0,1 \text{ м}, \alpha = 20^\circ, |\beta| = 10^\circ$$

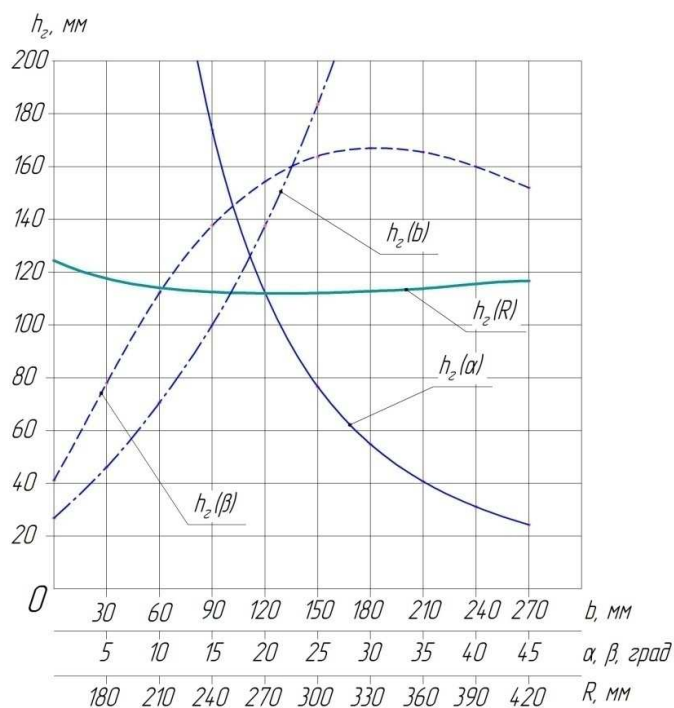


Рисунок 4 – Графики взаимосвязи высоты образующегося при работе 1-го и 2-го из соседних дисков гребня на дне борозды от их конструктивных и эксплуатационных параметров, ориентации «в развал» и $R = 0,28$ м,

$$b = 0,1 \text{ м}, \alpha = 20^\circ, |\beta| = 10^\circ$$

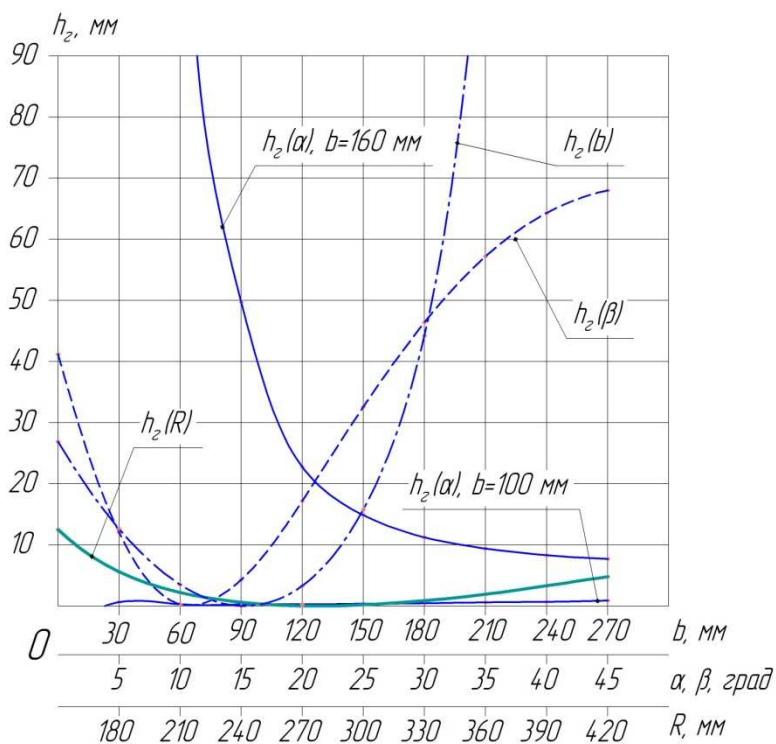


Рисунок 5 – Графики взаимосвязи высоты образующегося при работе 1-го и 2-го из соседних дисков гребня на дне борозды от их конструктивных и

эксплуатационных параметров, ориентации «в свал» и $R = 0,28$ м, $b = 0,1$ м,
 $\alpha = 20^\circ$, $|\beta| = 10^\circ$

Проанализировав полученные графические зависимости выражений (8, 9 и 10) можно сформулировать следующие выводы. Влияние конструктивно-технологических параметров соседних дисковых рабочих органов на величину гребнистости между ними носит криволинейный характер. Минимальное оказывает влияние вариация угла наклона дисков к вертикали, а максимальное – расстояние между ними. Увеличение расстояния между 1-м и 2-м из соседних дисков ведет к резкому повышению высоты гребня dna борозды при их любой ориентации, и только для случая ориентации по схеме «в свал» до величины $b = 90$ мм происходит его снижение, а затем также происходит резкий рост. При этом расстояние между 1-м и 2-м из соседних дисков, при котором высота гребня dna борозды будет соответствовать допустимым значениям, для различной схемы их ориентации будет различна. Превышение высоты гребня dna борозды величиной равной 60 мм для ориентации соседних дисков в одном направлении наступает при расстоянии между ними 90 мм, для ориентации по схеме «в развал» уже при 50 мм, а при ориентации по схеме «в развал» только при 180 мм.

Увеличение радиусов соседних дисков при их ориентации в одном направлении ведет к снижению высоты гребня dna борозды, а для случаев «в развал» и «в свал» сначала уменьшается, а затем незначительно растет.

На уменьшение высоты гребня dna борозды при любой ориентации оказывает увеличение угла атаки. Увеличение же угла наклона соседних дисков к вертикали, для ориентации в одном направлении приводит к его снижению. Для случая «в развал» высота гребня dna борозды сначала растет, а затем начинает снижаться, и обратное явление происходит при ориентации по схеме «в свал».

Выводы

Полученное выражение (8) позволяет определить высоту гребня дна борозды, образующегося между соседними дисковыми рабочими органами, имеющими различные конструктивно-технологические параметры и заданное расстояние между ними. При проектировании технологических схем расстановки для наиболее распространенного случая компоновки рабочих органов на раме орудия, когда $R_1 = R_2$, $\alpha_1 = \alpha_2$, $\beta_1 = \beta_2$, с помощью выражений (9), (10) и (11) можно определить расстояние между соседними дисками, при котором будет соблюдаться агротехнический допуск на него.

Список литературы

1. Несмиян А. Ю. Технические характеристики и агротехнические показатели работы почвообрабатывающих агрегатов [Текст] / А. Ю. Несмиян // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – №6. – С. 58-64.
2. Трубилин Е. И. Ротационные дисковые рабочие органы – как базовый элемент в комбинированных агрегатах для обработки почвы и посева / Е. И. Трубилин, К. А. Сохт, В. И. Коновалов, О. В. Данюкова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – 2013. – № 91. – С. 465–497.
3. Konovalov V. Constructive-technological diagram of the rotary-string cultivator and the definition of its main parameters / V. Konovalov, S. Konovalov, V. Igumnova // E3S Web of Conferences 126, 00039 (2019)
4. Masienko, I. Theoretical study of the forced oscillation effect on subsoil tillage / I. Masienko, A. Vasilenko, L. Eranova // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 193. – P. 01028.
5. Serguntsov, A. Theoretical research of needle-shaped harrow operation expended on soil pinching by needles / A.Serguntsov, V. Serguntsova // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 126. – P. 00024.
6. Trubilin E.I. Experimental studies of parameters of pneumatic slot sprayer / Trubilin E.I., Borisova S.M., Konovalov V.I., Chebotarev M.I., Gumbarov A.D. // International journal of emerging trends in engineering research. – 2020. – Vol. 8 №1 DOI: 10.30534/ijeter/2020/23812020

References

1. Nesmijan A. Ju. Tehnicheskie harakteristiki i agrotehnicheskie pokazateli raboty pochvoobrabatyvajushhh agregatov [Tekst] / A. Ju. Nesmijan // Traktory i sel'hoz mashiny. – 2017. – №6. – S. 58-64.
2. Trubilin E. I. Rotacionnyye diskovyye rabochie organyy – kak bazovyy jelement v kombinirovannyh agregatah dlja obrabotki pochvy i poseva / E. I. Trubilin, K. A. Soht, V. I. Konovalov, O. V. Danjukova // Politematicheskij setevoy jelektron-nyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU). – 2013. – № 91. – S. 465–497.

3. Konovalov V. Constructive-technological diagram of the rotary-string cultivator and the definition of its main parameters / V. Konovalov, S. Konovalov, V. Igumnova // E3S Web of Conferences 126, 00039 (2019)

4. Masienko, I. Theoretical study of the forced oscillation effect on subsoil tillage / I. Masienko, A. Vasilenko, L. Eranova // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 193. – P. 01028.

5. Serguntsov, A. Theoretical research of needle-shaped harrow operation expended on soil pinching by needles / A.Serguntsov, V. Serguntsova // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 126. – P. 00024.

6. Trubilin E.I. Experimental studies of parameters of pneumatic slot sprayer / Trubilin E.I., Borisova S.M., Konovalov V.I., Chebotarev M.I., Gumbarov A.D. // International journal of emerging trends in engineering research. – 2020. – Vol. 8 №1 DOI: 10.30534/ijeter/2020/23812020