

УДК 631.313.6

UDC 631.313.6

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ  
ЧЕТЫРЕХРЯДНОГО ДИСКАТОРА****OPTIMIZATION OF OPERATION AT THE  
FOUR HARROW**

Саламатин Сергей Геннадьевич  
инженер  
РИНЦ SPIN-код: 6057-3723  
*Общество с ограниченной ответственностью  
«БДМ-Агро», Краснодар, Россия*  
[salamatin\\_sergei@mail.ru](mailto:salamatin_sergei@mail.ru)

Salamatin Sergey Gennadevich  
engineer  
RSCI SPIN-code: 6057-3723  
*Limited Liability Company «BDM-Agra», Krasnodar,  
Russia*  
[salamatin\\_sergei@mail.ru](mailto:salamatin_sergei@mail.ru)

Дисковые орудия предназначены для поверхностной обработки почвы, а также для рыхления и подготовки почвы под посев, уничтожения сорняков и измельчения пожнивных остатков, для предпосевной подготовки почвы без предварительной вспашки в системе минимальной технологии и обработки почвы после уборки толстостебельных пропашных культур. К одним из типов дисковых орудий можно отнести орудия с диском, установленным на индивидуальной стойке. Классические орудия такого типа изготавливаются с жесткой стойкой крепления режущего органа к раме. У классической схемы крепления рабочего органа есть ряд недостатков. Один из них это отсутствие предохранительного элемента. Предлагаемый вариант крепления рабочего органа с помощью пружинной стойки имеет следующие преимущества. При наезде диска на препятствия (плотная почва, кочка, яма, камень) диск движется гибко назад, вверх, вниз или в сторону (влево, вправо) за счет пружинных свойств (упругости) криволинейной стойки. Такая конструкция снижает ударные нагрузки на подшипниковый узел, при этом диск возвращается в исходное положение, пропуская землю и растительные остатки без забивания. Целью конструктивных изменений являлось снижение энергоемкости процесса поверхностной обработки почвы при одновременном повышении надежности

Disc tools are designed for the surface treatment of the soil, as well as for loosening and preparing the soil for planting, weed control and grinding residue, for seedbed preparation without preliminary plowing in the system of minimum tillage technology and after thick stem row crops harvesting. It implements a disk type implements include a disk mounted on the individual rack. Classical instruments of this type are made with a rigid stand mounting the cutter body to the frame. In the classical working body attachment scheme has a number of disadvantages. One of them is the lack of a safety element. The proposed version of the working body of the fastening using a spring strut has the following advantages. When zooming in on the disc obstacles (dense soil, bump, pit, stone), flexible disk drives backward, up, down or to the side (left, right) by the spring property (elasticity) of the curved rack. This design reduces the shock load on the bearing assembly, wherein the disc is returned to the original position by passing earth and crop residues without blockage. The purpose of structural changes was to reduce the energy intensity of the surface treatment process of the soil while improving reliability

Ключевые слова: ДИСКАТОР, СКОРОСТЬ, УГОЛ АТАКИ, РАСХОД ТОПЛИВА, ОПТИМИЗАЦИЯ

Keywords: DISKATOR, SPEED, ANGLE OF ATTACK, FUEL CONSUMPTION, OPTIMIZATION

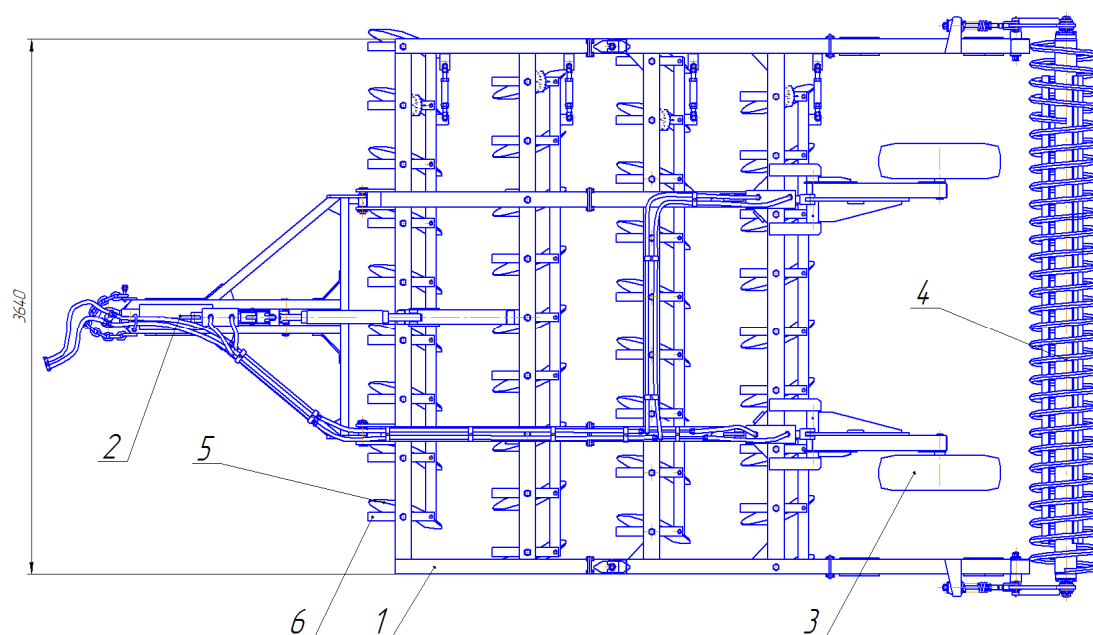
Doi: 10.21515/1990-4665-123-060

## 1. Введение

Цель настоящего исследования – оптимизация кинематического режима работы Дискатора® БДМ-3,6х4ПР.

Дискатор® БДМ-3,6х4ПР (рисунок 1) предназначен для поверхностной обработки почвы на глубину до 15 см, а также для

рыхления и подготовки почвы под посев, уничтожения сорняков и измельчения пожнивных остатков, для предпосевной подготовки почвы без предварительной вспашки в системе минимальной технологии и обработки почвы после уборки толстостебельных пропашных культур. Агрегируется с тракторами тягового класса 3-5 т и мощностью двигателя 180-250 л. с.



1 – рама, 2 – сцепное устройство, 3 – колесо, 4 – каток, 5 – рабочий орган (диск), 6 – стойка пружинная.

Рисунок 1 – Схема Дискатора® БДМ-3,6x4ПР

Принципиальное отличие Дискатора® БДМ-3,6x4ПР от предыдущей модификации заключается в стойке крепления рабочего органа, которая выступает в роли предохранительного механизма при наезде на препятствие.

При наезде диска на препятствие (плотная почва, кочка, яма, камень) диск двигается назад, вверх, вниз или в сторону (влево, вправо) за счет пружинных свойств (упругости) криволинейной стойки крепления диска. Такая конструкция снижает ударные нагрузки на подшипниковый

узел, при этом диск возвращается в исходное положение, пропуская землю и растительные остатки без забивания. Пружинная S-образная стойка в таких условиях работает не только как пружина, но и как торсион, а колебания диска снижают тяговое сопротивление рабочего органа, улучшают качество обработки почвы. Данные конструктивные изменения защищены патентом РФ на полезную модель № 126251 [1].

Целью конструктивных изменений являлось снижение энергоемкости процесса поверхностной обработки почвы при одновременном повышении надежности.

На основании анализа априорной научно-технической информации и результатов поисковых исследований нами были определены следующие основные геометрические параметры дискатора: диаметр рабочих органов (дисков) - 560 мм, расстояние между дисками - 400 мм, расстояние между рядами рабочих органов – 900 мм.

## **2. Постановка задачи**

Провести полевые экспериментальные исследования Дискатора® БДМ-3,6х4ПР для определения кинематического режима работы, обеспечивающего минимальный расход горючего при безусловном выполнении агротехнических требований к поверхностной обработке почвы.

## **3. Результаты исследований**

Для определения оптимального кинематического режима работы Дискатора® БДМ-3,6х4ПР нами проведен активный эксперимент с двумя управляемыми факторами:  $X_1$  – скорость движения дискатора, км/ч;  $X_2$  – угол атаки, град.

Эксперимент проводился на поле отделения № 1 ООО «Предгорье Кавказа» в станице Смоленской Северского района Краснодарского края. Дискатор БДМ-3,6х4ПР агрегатировался с трактором John Deere 7830 и мощностью двигателя 205 л. с.

Длина гона составляла 1100 м, предшественник - озимая пшеница. Поле разбивалось на 9 загонов. После обработки каждого загона, кроме измерения расхода топлива, контролировалось качество обработки, а именно: гребнистость, глубина обработки и наличие огрехов. Глубина обработки составляла 10-12 см.

В качестве критерия оптимизации ( $Y$ ) использовался расход топлива (кг/га). Из анализа априорной научно-технической информации известно, что зависимость расхода топлива от режима работы носит криволинейный характер. Поэтому искомую зависимость будем искать в виде полинома второй степени, в общем случае имеющую следующий вид [2]:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2. \quad (1)$$

где  $Y$  – отклик;

$X_1, X_2$  – управляемые факторы;

$b_0$  – свободный член;

$b_1, b_2$  – коэффициенты при факторах первой степени;

$b_{11}, b_{22}$  – коэффициенты при факторах второй степени;

$b_{12}$  – коэффициент эффекта взаимодействия факторов.

Уровни и интервалы варьирования выбранных факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровни факторов	Факторы в натуральном виде		Факторы в кодированном виде	
	$V, \text{ км/ч}$	$\alpha, \text{ град}$	$X_1$	$X_2$
Основной	12	20	0	0
Верхний	15	22	+1	+1
Нижний	9	18	-1	-1
Интервал варьирования	3,0	2,0	1	1

При выборе области определения фактора  $X_1$  учитывались результаты поисковых полевых экспериментов. Область определения

фактора  $X_2$  выбрана на основе анализа результатов производственных испытаний дискаторов различных типов, проведенных ООО БДМ-Агро.

Исследование проводилось по плану эксперимента Бокса Б2, матрица которого представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Матрица планирования эксперимента Бокса Б2 и результаты опытов по поверхностной обработке почвы

Номер опыта	Матрица планирования		Расход топлива, кг/га
	$X_1$	$X_2$	$Y$
1	+1	+1	8,67
2	+1	-1	6,53
3	-1	+1	6,34
4	-1	-1	7,44
5	+1	0	6,45
6	-1	0	5,74
7	0	+1	6,53
8	0	-1	6,01

Обработка результатов эксперимента проводилась методом наименьших квадратов с использованием программы Mathcad 7.

Анализ дисперсий отклика показал, что они однородны, так как

$$G_p = 0,2452 < G_{0,05;16;2} = 0,4775.$$

В результате математической обработки экспериментальных данных получили математическую модель в виде уравнения регрессии второго порядка

$$Y = 4,868 + 0,33X_1 + 0,22 X_2 + 0,81X_1 X_2 + 0,972 X_1^2 + 1,148 X_2^2. \quad (2)$$

где  $Y$  – величина удельного расхода топлива, кг/га.

Дисперсия адекватности равна 0,536628 при числе степеней свободы  $f = 3$ . Расчетное значение критерия Фишера равно 5,008, следовательно

$$F_p = 5,008 < F_{0,05;3;18} = 9,01$$

Дисперсия коэффициентов регрессии равна 0,14639. При числе степеней свободы  $f = 3$  и уровне значимости  $\alpha = 0,05$  расчетное значение

критерия Стьюдента составляет  $t = 3,182$ . Доверительный интервал для коэффициентов регрессии определяли по выражению

$$\Delta b_j = \pm tS_{bj}, \quad (3)$$

где  $t$  - табличное значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы, с которым определялась дисперсия воспроизводимости при выбранном уровне значимости;

$S_{bj}$  – квадратичная ошибка коэффициента регрессии.

Значение  $S_{bj}$  составляет: для свободного члена 0,163668, для коэффициентов первой степени 0,059768, для эффектов взаимодействий 0,073195 и для коэффициентов второй степени 0,126778.

Расчеты показывают, что все коэффициенты значимы. Следовательно, уравнение (2) адекватно описывает процесс поверхностной обработки почвы. Поверхность отклика уравнения (2) представлена на рисунке 1.

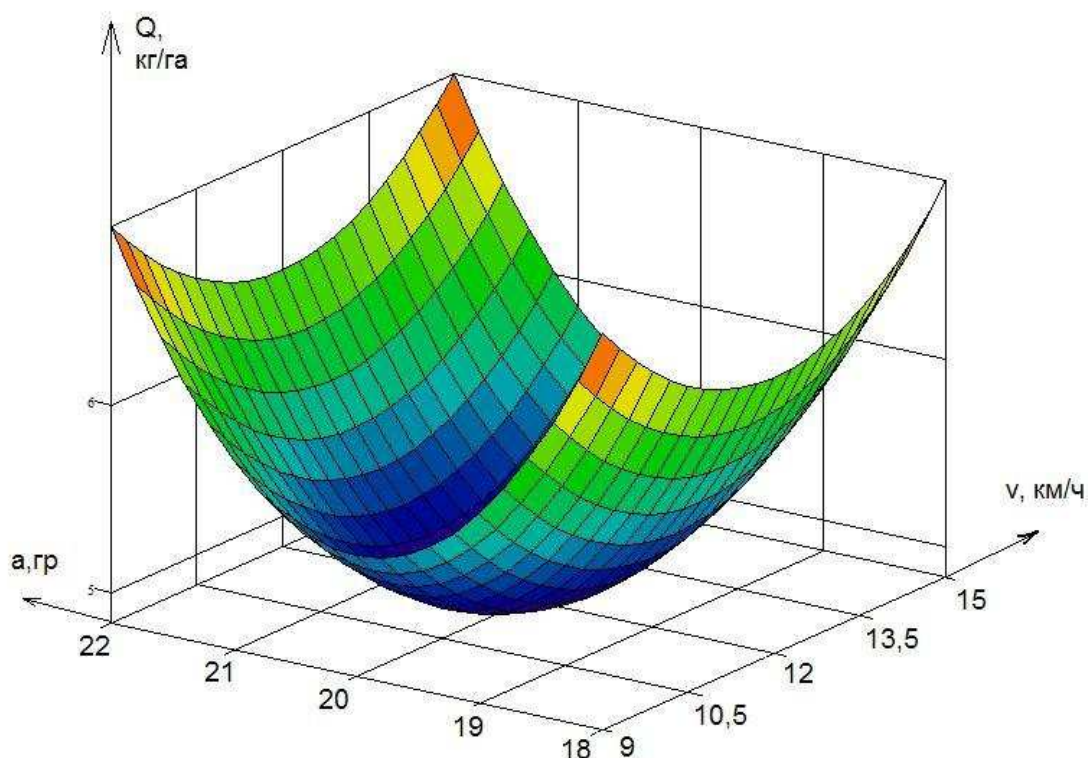


Рисунок 1 - Расход топлива в зависимости от скорости движения и угла атаки

Для определения значений факторов, при которых функция (2) достигает экстремума (в данном случае минимума), необходимо взять частные производные по  $X_i$  и, приравняв их нулю решить полученную систему уравнений [2].

$$Y = 4,868 + 0,33X_1 + 0,22 X_2 + 0,81X_1 X_2 + 0,972 X_1^2 + 1,148 X_2^2.$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Y}{\partial X_1} &= 0,33 + 1,944 X_1 + 0,81X_2 = 0, \\ \frac{dY}{dX_2} &= 0,22 + -2,296 X_2 + 0,81X_1 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Решениями системы уравнений (4) являются следующие значения

$$X_1^* = 0,1522; \quad X_2^* = 0,04212.$$

Подставив полученные данные в уравнение (4) получим минимальное значение расхода топлива  $Y = 4,8 \text{ кг/га}$ .

Для определения реальных координат факторного пространства используем формулы переходы от кодированных значений факторов к натуральным

$$X_1 = \frac{V - 12}{3}, \quad (5)$$

$$X_2 = \frac{\alpha - 20}{2}, \quad (6)$$

Для определения оптимальных значений скорости дискатора и угла установки в натуральном виде подставим значения точек экстремума в кодированном виде в формулы перехода (5) и (6) от кодированных значений факторов к натуральным. В результате получим координаты особой точки  $S$

$$V = 12,5 \text{ км/ч и } \alpha = 20 \text{ град.}$$

Для определения области допустимых диапазонов изменения изучаемых факторов построим двумерные сечения поверхности отклика или линии равного выхода – рисунок 2. Сечения построим методом

подстановки значений факторов  $X_1$  и  $X_2$  в уравнение (2) при фиксированных значениях  $Y = 5,0; 5,5; 6,0$  и  $6,5$  кг/га.

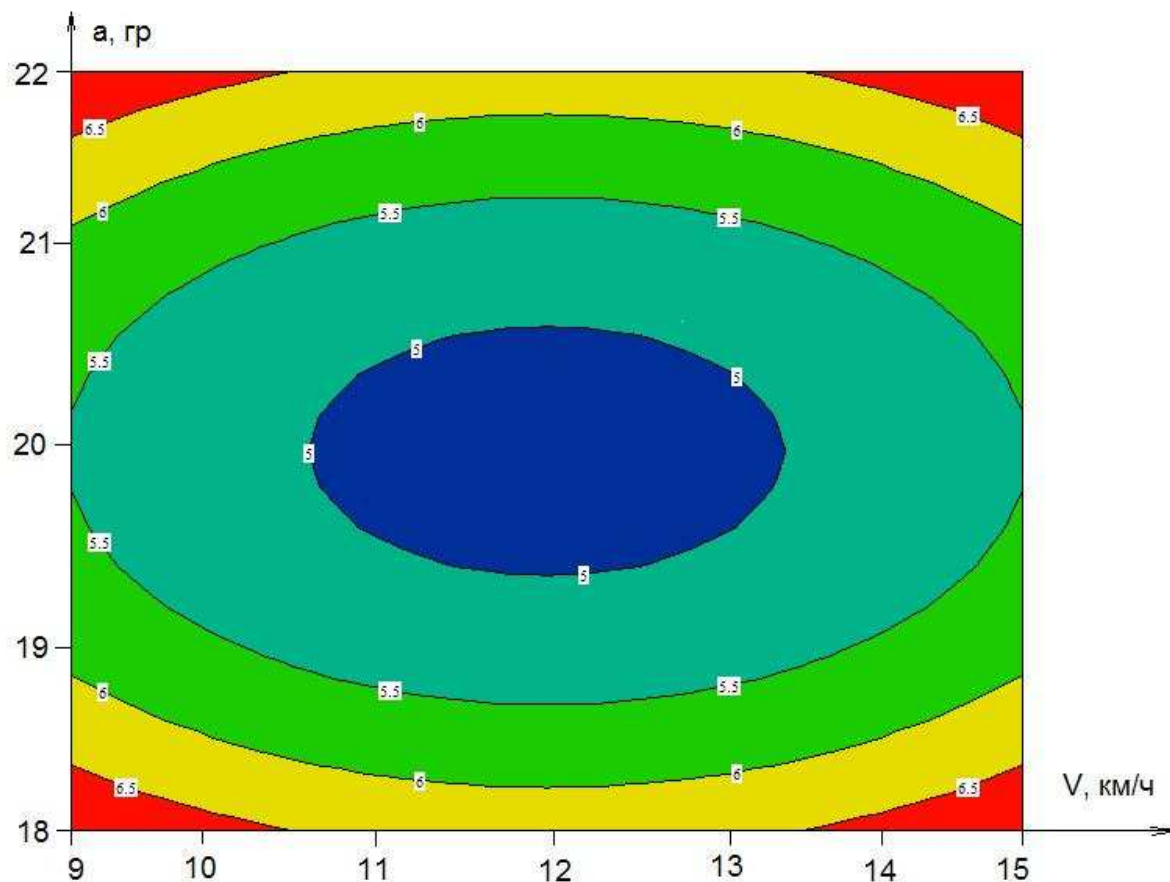


Рисунок 2 - Линии равного выхода по расходу топлива

Из анализа графика на рисунке 2 следует, что расход топлива менее 5 кг/га достигается при изменении исследуемых факторов в следующих интервалах:

$$V = 10,8 \dots 13,2 \text{ км/ч и } \alpha = 19,5 \dots 21,1 \text{ град.}$$

**Выводы:**

1. Изменение расхода топлива при постоянной глубине обработки почвы достигается изменением угла атаки дисков и скорости движения агрегата.

2. Минимальный расход топлива (5 кг/га и менее) достигается при установке угла атаки дисков в интервале 19,5...21,1 град и скорости движения агрегата 10,8...13,2 км/ч.



### **Литература**

1. Пат. 126251 Российская Федерация, МПК А01В21/00. Рабочий орган почвообрабатывающего орудия / Мерников С. Б., Самсонкин А.А., Кузнецов Г.Я., Саламатин С.Г.; заявитель и патентообладатель ООО «БДМ-Агро» - № 2012128489/13; заявл. 06.07.2012; опубл. 27.03.2013 Бюл. № 9.

2. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. - М.: Финансы и статистика, 1981. - 263 с.

### **References**

1. Pat. 126251 Rossijskaja Federacija, MPK A01V21/00. Rabochij organ pochvoobrabatyvajushhego orudija / Mernikov S. B., Samsonkin A.A., Kuznecov G.Ja., Salamatin S.G.; zajavitel' i patentoobladatel' ООО «BDM-Agro» - № 2012128489/13; zajavl. 06.07.2012; opubl. 27.03.2013 Bjul. № 9.

2. Voznesenskij, V.A. Statisticheskie metody planirovanija jeksperimenta v tehniko-jekonomicheskikh issledovanijah / V.A. Voznesenskij. - M.: Finansy i statistika, 1981. - 263 s.