

УДК 631.333.4

UDK 631.333.4

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АППАРАТА
ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ
ТРАДИЦИОННОМ ВРАЩЕНИИ ДИСКОВ**

**OPTIMIZATION OF APPARATUS
PARAMETERS FOR SURFACE DISTINGUISH
MINERAL FERTILIZERS IN TRADITIONAL
DISCS TURNING**

Луханин Владимир Александрович
соискатель
ФГБОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия», Зерноград, Ростовская область, Россия

Lukhanin Vladimir Aleksandrovich
postgraduate student
FSBEI HPE «Azov–Black Sea State Agroengineering Academy», Zernograd, Rostov region, Russia

В статье рассмотрено обоснование места подачи и угла наклона лопаток по условию получения оптимальных числовых характеристик угла бросания, полученных методом моделирования процесса распределения удобрений двухдисковым аппаратом с традиционным направлением вращения

The article deals with an explanation the place of giving and angle slant blade in order to get optimal digital characteristics of the angle throwing, obtained by the method of modelizing the process of distinguishing of the fertilizers with double disked apparatus with the traditional turning direction

Ключевые слова: УДОБРЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫЕ, ФУНКЦИЯ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ, ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ, ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ, ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ АППАРАТ

Keywords: MINERAL FERTILIZERS, PREFERENCE FUNCTION, COMMON CRITERIA OF OPTIMIZATION, PARAMETERS OPTIMIZATION, CENTRIFUGAL APPARATUS

Исследование выполнено с целью оптимизации параметров аппарата, например места подачи удобрений на диск и угла наклона лопаток, по комплексным критериям.

Традиционно диски у двухдискового аппарата вращаются так, что со стороны трактора лопатки движутся встречно. В последнее время выпускаются машины с противоположным направлением вращения дисков, когда со стороны трактора лопатки движутся вразлет.

В данной статье оптимизированы параметры двухдискового аппарата при традиционном вращении дисков (рис.1). В следующей статье будет рассмотрена работа аппарата при движении дисков вразлет.

Моделированием установлено [1,2], что для равномерного распределения удобрений двухдисковым центробежным аппаратом с традиционным направлением вращения дисков, необходимо иметь математическое ожидание угла бросания $Ma = 34^{\circ}$ ($0,6 \text{ рад}$) и его среднее квадратическое отклонение $\sigma a = 34^{\circ}$.

Для оптимизации положения места подачи и угла наклона лопаток по критериям равномерности распределения удобрений используем результаты лабораторных исследований. В качестве основных факторов, влияющих на числовые характеристики угла бросания, приняты: расход минеральных удобрений X_1 ; скорость вращения диска X_2 ; радиус подачи туков на центробежный диск X_3 ; угол наклона лопаток X_4 .

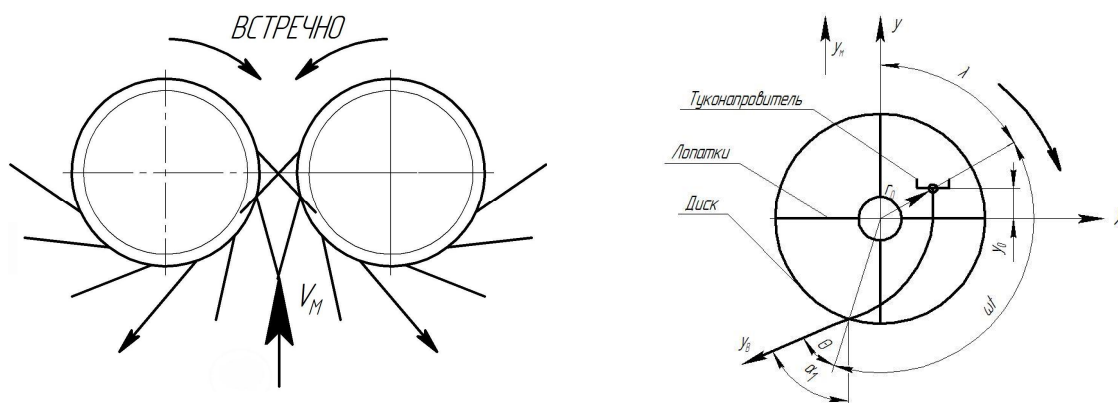


Рис. 1 – Схема вращения дисков и расчета угла бросания левого диска

Угол α_1 бросания частицы относительно линии движения машины определяли по формуле:

$$\alpha_1 = I_0 + \omega t + q - p, \quad (1)$$

где I_0 – угловая координата места подачи;

ωt – угол схода, то есть угол поворота лопатки за время движения по ней частицы;

q – угол между траекторией частицы и радиусом, проведенным через точку схода, принимаем равным 60° .

Эксперименты проведены при угловой координате места подачи равной нулю. Регулирование угла бросания удобно выполнять изменением угловой координаты места подачи по зависимости (1).

В эксперименте расход Q минеральных удобрений изменялся с помощью дозирующих заслонок разного диаметра. Угловая скорость диска ω регулировалась электродвигателем постоянного тока с лабораторным

трансформатором и выпрямителем. Радиус подачи r минеральных удобрений на распределяющий диск измерялся от центра диска до центра дозирующего отверстия. Лопатки диска отклонялись от радиального положения на угол u , положительный отсчет которого принят по ходу движения. Поворот лопаток производился относительно ближайших к центру вращения точек крепления. Угловая координата места подачи принята равной нулю.

Многофакторный эксперимент выполнен по композиционному плану второго порядка. Каждый из четырех факторов менялся на пяти уровнях.

Факторы и их уровни приведены в таблице 1. Опыты проведены на физической модели аппарата, выполненной в масштабе 1:2. Наружный диаметр диска равен 320 мм. Для использования результатов опытов при другом диаметре следует сделать пересчет по методу геометрического подобия. Угловые размеры у модели и натуре равны, а линейные – пропорциональны. Расход удобрений пропорционален кубу линейного размера.

На выходе из аппарата устанавливались улавливатели (рис. 2), расположенные концентрично диску. Запись результатов выполняли в виде вариационного ряда, в котором случайной величиной является координата улавливателя l_i , а частота пропорциональна массе уловленных удобрений. Угол бросания относительно линии движения a_i связан с координатой улавливателя l_i соотношением.

$$a_i = l_i - p + \arcsin\left(\frac{R}{R_{ул}} \sin q\right), \quad (2)$$

где R – радиус диска;

$R_{ул}$ – радиус внутренних кромок улавливателя;

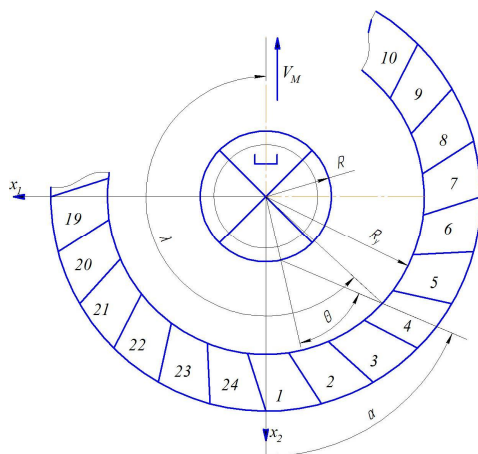


Рис. 2. Схема экспериментального определения характеристик угла бросания правого диска

Таблица 1 – Кодирование факторов

Факторы размерные	Кодированное обозначение фактора	Уровни факторов размерных				
		Звездные точки $-a$	Нижний -1	Основной 0	Верхний +1	Звездные точки $+a$
Q , кг/с	X1	0,074	0,14	0,3	0,46	0,53
w , c^{-1}	X2	659	700	800	900	941
r , мм	X3	39	44,6	58	71,4	77
y , град	X4	-14,14	-10	0	10	14,14

В соответствии с принятыми уровнями факторов, их кодированные значения находят по формулам:

$$X1 = \frac{Q - 0.30}{0.16}, \quad X2 = \frac{w - 800}{100}, \quad X3 = \frac{r - 58}{13.4}, \quad X4 = \frac{y}{10}, \quad (3)$$

Результаты многофакторного эксперимента приведены в таблице 2. Наибольшими оказались эффекты факторов X3 и X4.

Оптимизацию положения места подачи туков и угла наклона лопаток можно выполнять совмещением контурных графиков функций $Ma(r,y)$ и $sa(r,y)$, или применением обобщенных критериев.

По матрице результатов близкие к оптимальным значениям $Ma = 34^0$ и $sa = 34^0$ получены в восемнадцатом опыте (таблица 2), то есть при X1 – на уровне $-a$, X2, X3 и X4 – на нулевом уровне, но есть значительные от-

клонения. Поиск оптимальных значений факторов по матрице результатов опытов мало эффективен из-за ограниченности числа уровней факторов.

Эффективность оптимизации можно повысить аппроксимированием результатов опытов и применением математических методов оптимизации.

По результатам опытов получены адекватные уравнения регрессии в кодированном виде.

Таблица 2 – Результаты многофакторного эксперимента

Номер опыта	X1	X2	X3	X4	M_a	S_a
1	+	+	+	-	-27,51	27,90
2	-	+	+	-	-17,12	30,47
3	+	-	+	-	-32,33	28,34
4	-	-	+	-	-28,58	28,87
5	+	+	-	-	2,95	43,22
6	-	+	-	-	11,78	37,66
7	+	-	-	-	-4,98	42,53
8	-	-	-	-	1,95	38,90
9	+	+	+	+	53,56	51,73
10	-	+	+	+	60,24	51,58
11	+	-	+	+	44,35	48,54
12	-	-	+	+	59,89	52,87
13	+	+	-	+	135,43	79,66
14	-	+	-	+	137,35	71,40
15	+	-	-	+	133,62	79,78
16	-	-	-	+	136,24	74,66
17	$+\alpha$	0	0	0	18,29	36,17
18	$-\alpha$	0	0	0	31,72	35,61
19	0	$+\alpha$	0	0	25,96	34,62
20	0	$-\alpha$	0	0	18,11	35,67
21	0	0	$+\alpha$	0	0,259	30,36
22	0	0	$-\alpha$	0	52,74	41,20
23	0	0	0	$-\alpha$	-21,62	34,81
24	0	0	0	$+\alpha$	144,45	82,92
25	0	0	0	0	21,35	34,06

Опыты проведены при установке дозирующего отверстия на продольной оси машины. Первичное совмещение контурных графиков, построенных по уравнениям регрессии, показало необходимость регулирования угловой координаты дозирующего отверстия. Изменение угловой координаты места подачи I_0 приводит к такому же изменению угла бросания

при неизменном значении среднего квадратического отклонения s_a . Принимаем $I_0 = +15^\circ$. поэтому $Ma_{\text{эсмп}} = Ma + 15^\circ$.

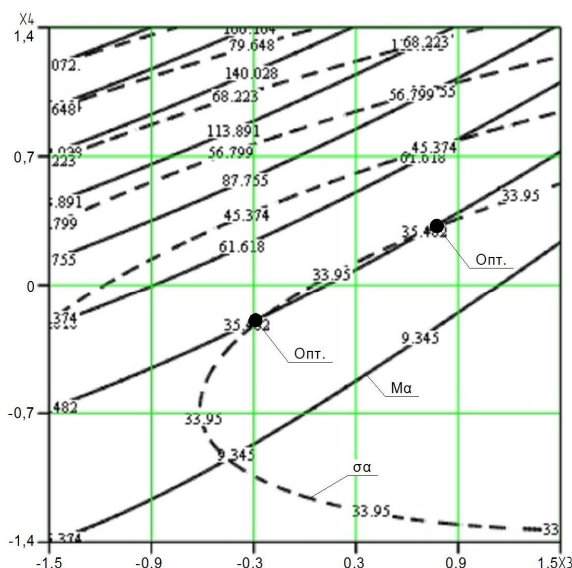
Уравнения регрессии для этих вариантов имеют вид

$$Ma_{\text{эсмп}}(X1, X2, X3, X4) = 38.72 - 3.78 \cdot X1 + 3.88 \cdot X2 - 25.8 \cdot X3 + 54.47 \cdot X4 - 12.96 \cdot X3 \cdot X4 + 18.26 \cdot X4^2, \quad (4)$$

$$\sigma_\alpha(X1, X2, X3, X4) = 34.34 + 0.80 \cdot X1 - 8.14 \cdot X3 + 15.02 \cdot X4 - 1.87 \cdot X1 \cdot X3 - 3.38 \cdot X3 \cdot X4 + 1.10 \cdot X1^2 + 1.05 \cdot X3^2 + 12.60 \cdot X4^2, \quad (5)$$

Метод совмещения контурных графиков наиболее нагляден.

В системе Mathcad построены контурные графики функций $Ma(X3, X4)$ и $\sigma_\alpha(X3, X4)$ (рис. 3.а). Найдено пересечение линий уровней $Ma = 34^\circ$, $sa = 34^\circ$. Координаты точек пересечения по графику дают оптимальные положения места подачи ($X3 = -0.34$; $X4 = -0.25$) и ($X3 = 0.9$; $X4 = 0.36$). Любое сочетание $X3$ и $X4$ на линии, соединяющей точки пересечения графиков, тоже удовлетворяет исходным условиям. Более точно координаты точек пересечения найдены решением системы уравнений (рис. 3.б).



а)

$$\begin{aligned} & X1 := 0 \quad X2 := 0 \quad X3 := -1.5 \quad X4 := -1.5 \quad \text{Given} \\ & \left(\begin{aligned} & -122.278 + B1_0 + B1_1 \cdot X1 + B1_2 \cdot X2 + B1_3 \cdot X3 + B1_4 \cdot X4 \dots \\ & + B1_5 \cdot X3X4 + B1_6 \cdot X4^2 - 34 \end{aligned} \right) = 0 \\ & \left(\begin{aligned} & B\sigma1_0 + B\sigma1_1 \cdot X1 + B\sigma1_3 \cdot X3 + B\sigma1_4 \cdot X4 + B\sigma1_5 \cdot X1 \cdot X3 \dots \\ & + B\sigma1_6 \cdot X3 \cdot X4 + B\sigma1_7 \cdot X1^2 + B\sigma1_8 \cdot X3^2 + B\sigma1_9 \cdot X4^2 - 34 \end{aligned} \right) = 0 \\ & R := \text{Find}(X3, X4) \quad R = \begin{pmatrix} -0.342 \\ -0.249 \end{pmatrix} \\ & R1 := \text{Find}(X3, X4) \quad R1 = \begin{pmatrix} 0.879 \\ 0.362 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

б)

Рис. 3 – Наложение контурных графиков функций $Ma(X3, X4)$ и $\sigma_\alpha(X3, X4)$ и вычисление координат точек их пересечения

Рассмотрим решения этой же задачи с применением обобщенного параметра оптимизации.

Хотя в нашем примере Ma и sa измеряются в градусах, то есть они имеют нулевую размерность, частные отклики по Ma и sa определим в относительных единицах:

$$Y_a = \frac{Ma - 34}{34}, \quad (6)$$

$$Y_s = \frac{sa - 34}{34}, \quad (7)$$

Тогда обобщенный показатель

$$D1 = \frac{Y_a + Y_s}{2}, \quad (8)$$

Далее в каждом опыте вычислены значения $D1$, получено аппроксимирующие уравнения и построены контурные графики функций $D1(X3, X4)$ (рис. 4.а).

По физическому смыслу задачи наилучшим является значение $D1 = 0$. По рисунку 4 определяем, что такое значение критерия $D1$ можно получить при сочетаниях факторов на линии $D1 = 0$, что не противоречит полученному ранее результату. Расширение диапазона оптимальных значений факторов получено за счет того, что критерий учитывает сумму частных откликов, которые могут иметь разные знаки. Одинаковые значения критерия можно получить при отклонениях Ma и sa в разные стороны от оптимального уровня. Однако нельзя согласиться с тем, что увеличение одного может компенсироваться уменьшением другого. Необходим более жесткий критерий, учитывающий поля допусков на частные критерии оптимизации.

Чтобы избежать этого, отклонения возьмем по модулю, то есть:

$$Y_{1a} = \frac{|Ma - 34|}{34}, \quad (9)$$

$$Y1s = \frac{|sa - 34|}{34}, \quad (10)$$

$$D2 = \frac{Y1a + Y1s}{2}, \quad (11)$$

Область оптимума на рисунке 4.б практически совпадает с результатом по рисунку 3.а

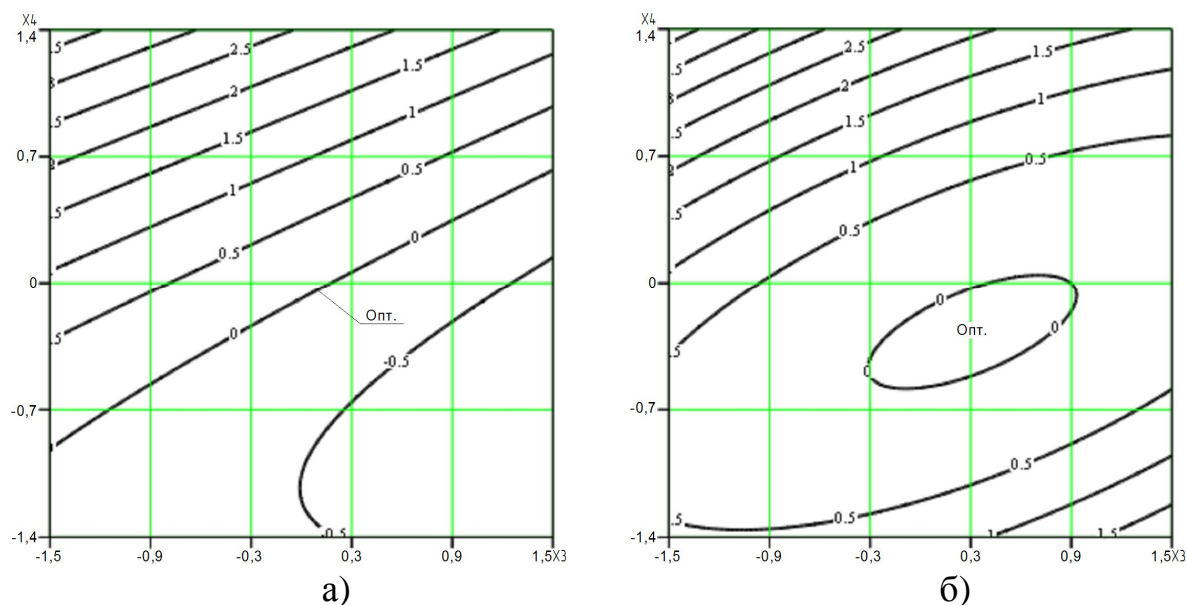


Рис. 4 – Контурные графики функций $D1(X3, X4)$, (а) и $D2(X3, X4)$, (б)

Применение функции желательности для получения обобщенного критерия оптимизации позволяет задать пределы допустимых изменений функций отклика.

Все частные отклики приводятся к одному масштабу с помощью функции желательности:

$$d = \exp(-\exp(-y')), \quad (12)$$

где y' – значение частного отклика в относительных единицах.

Шкала желательности имеет характерные точки: 0,2; 0,37; 0,63; 0,8; 1,0. Результат менее 0,2 считается очень плохим; от 0,2 до 0,37 – плохим, от 0,37 до 0,63 – удовлетворительным, от 0,63 до 0,8 – хорошим, от 0,8 до 1,0 – очень хорошим [3].

Переход от размерных значений частного отклика к относительным величинам выполним при помощи графиков. Будем считать допустимые значения y в интервале 0..5, что соответствует интервалу функции желательности в диапазонах удовлетворительно, хорошо и очень хорошо. С помощью графиков приведем значения Ma и sa к допустимому интервалу y . Для этого на графиках откладываются точки (1; 2). Значение $sa = 26^\circ$, соответствует нижней границе допуска sa [1], ставим соответствующее значение $y = 0$, а значение $sa = 34^\circ$, соответствует верхней границе допуска sa , ставим значение $y = 3$. Уравнение линии проходящей через точки 1 и 2 имеет вид:

$$y1 = 0.375 \cdot sa - 9.75, \quad (13)$$

$$y2 = 0.75 \cdot Ma - 22.5, \quad (14)$$

Частные отклики можно привести к интервалу желательности от 0,37 до 1, если действия выполнять по определенному алгоритму. Рассмотрим пример приведения частных откликов к интервалу желательности.

Открыть файл в системе Mathcad. Создать вектор Ma . Создать вектор sa . Пересчитать элементы вектора sa в вектор $y1$ по формуле (13). Пересчитать элементы вектора Ma в вектор $y2$ по формуле (14). Пересчитать элементы векторов $y1$ и $y3$ в векторы $d1$ и $d3$ шкалы желательности по формуле (12). Получить уравнения регрессии $D1(X1, X2, X3, X4)$; $D2(X1, X2, X3, X4)$. Выполнить наложение контурных графиков $D1$; $D2$.

Обозначить на графике область хороших и очень хороших значений критерия оптимизации, записать интервалы факторов $X3$ и $X4$, дающих решение задачи оптимизации.

Реализация предложенного алгоритма показана на рисунке 5, где выполнено наложение контурных графиков $D1$; $D2$ в соответствии с функцией желательности для встречного режима вращения центробежных дисков.

Области оптимума заданы более жестко и находятся вблизи от нижних точек пересечения Ma и sa на рисунке 3.

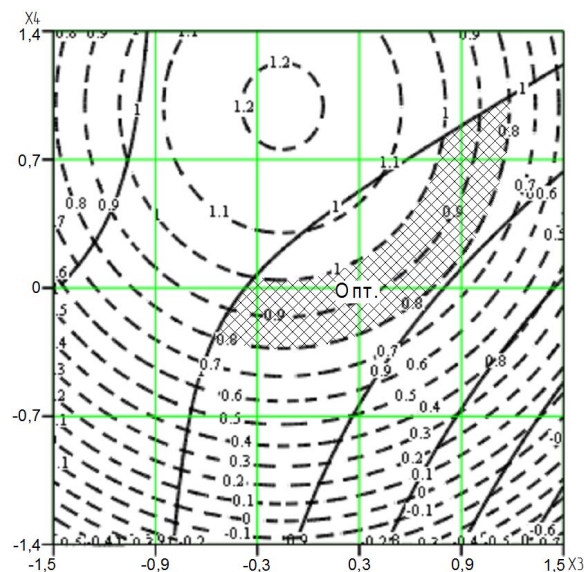


Рис.5. Контурные графики функций $D1(X3, X4)$ и $D2(X3, X4)$

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что для поиска оптимального значения места подачи минеральных удобрений на центробежный диск предпочтительно использовать функцию желательности. Применение обобщенного критерия оптимизации, вычисленного по формулам (6), (8), увеличивает область оптимальных сочетаний $X3$ и $X4$ за счет

суммирование критериев с разными знаками. Критерий, вычисляемый по модулю отклонений дает результат лучше совпадающий с полученным на рисунке 2, но с помощью этого критерия нельзя назначить допуски. В свою очередь применение функции желательности дает возможность устанавливать допуски на числовые характеристики угла бросания. На рисунке 5 область значений от 0,8...1 дает отличный результат.

Литература

1. Черноволлов В.А., Ужахов Т.М. Моделирование процессов распределения минеральных удобрений центробежными аппаратами: монография – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2011, – 265 с., ил.
2. Черноволлов В.А., Ужахов Т.М. Оптимизация перекрытия смежных проходов агрегата при внесении минеральных удобрений // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2005. №3. С 24 – 26.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий: М.; Наука, 1976. – 279 с.