

УДК 631.356.46.02

UDC 631.356.46.02

**ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ  
БОТВОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ БД-4М**

**LABORATORY AND FIELD RESEARCHES OF  
THE BD-4M MODERNIZED CRUSHER OF  
POTATO TOPS MACHINE**

Угланов Михаил Борисович  
д.т.н. профессор

Ugланov Michael Borisovich  
Dr.Sci.Tech., professor

Иванкина Ольга Петровна  
к.т.н. доцент

Ivankina Olga Petrovna  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Попов Андрей Сергеевич  
к.т.н. доцент

Popov Andrey Sergeevich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Бышов Дмитрий Николаевич  
к.т.н., ст. преподаватель

Byshov Dmitry Nikolayevich  
Cand.Tech.Sci., senior lecturer

Абрамов Юрий Николаевич  
ст. преподаватель  
*Рязанский государственный  
агротехнологический университет имени П.А.  
Костычева, Рязань, Россия*

Abramov George Nikolayevich  
senior lecturer  
*Ryazan State Agrotechnological University named  
after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

В статье дано описание ботводробителя с переменным диаметром резания. Рассмотрены теория планирования эксперимента, динамика шарнирных ножей, лабораторно-полевые испытания дробителя

The description of crusher of potato tops with the variable diameter of cutting is given in article. Theory of planning of experiment, the dynamics of joint knives and laboratory-field tests of crusher are also considered

Ключевые слова: КАРТОФЕЛЬНЫЙ БОТВОДРОБИТЕЛЬ, РОТОР ПЕРЕМЕННОГО ДИАМЕТРА, ШАРНИРНЫЕ НОЖИ, ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Keywords: CRUSHER OF POTATO TOPS, ROTOR OF VARIABLE DIAMETER, JOINT KNIVES, LABORATORY-FIELD TESTER

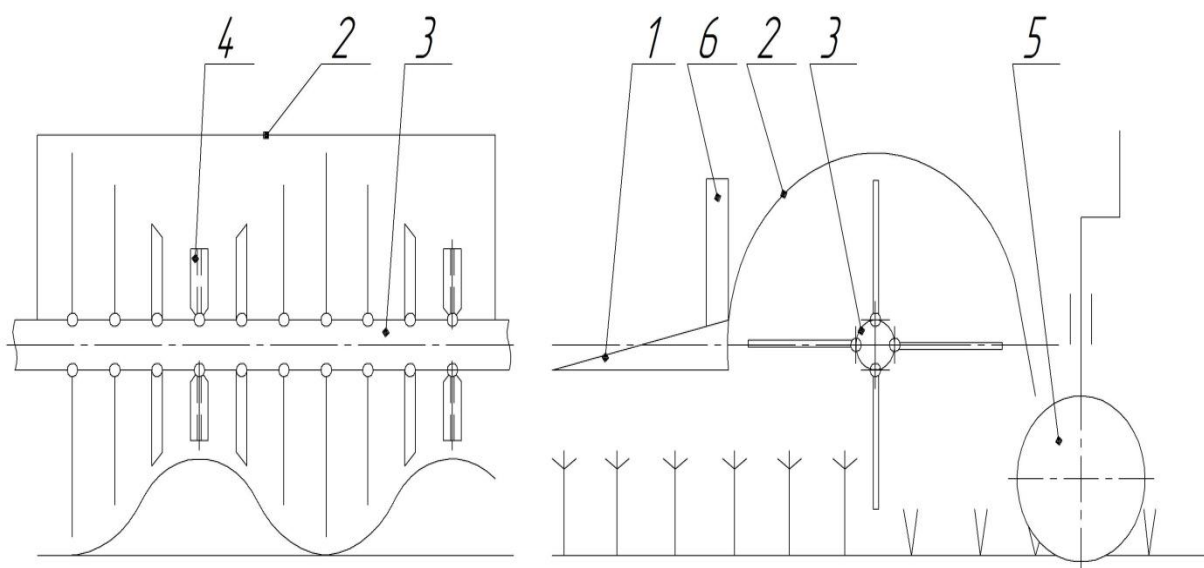
В настоящее время для уборки картофельной ботвы из отечественных машин в основном применяется ботводробители КИР-1.5, БД-4, которые имеют ротор с постоянным диаметром резания. В процессе эксплуатации замечено, что эти машины обладают рядом недостатков, один, из которых является невозможность срезания ботвы и растительных остатков в междурядьях картофельных грядок.

В результате при уборке картофеля копателями и картофелеуборочными комбайнами забиваются основные рабочие органы, что приводит к снижению производительности технологического процесса. Мы разработали и изготовили модернизированный

ботвоудалитель БД-4М с переменным диаметром резания (рис.1), который устраняет отмеченные недостатки.

Технологический процесс протекает следующим образом: при движении агрегата ротор 3 с шарнирными ножами 4 вращается от ВОМ трактора. Ножи 4 срезают, измельчают ботву и бросают её на поле. Высота среза регулируется опорным колесом 5, ширина захвата машины

$B_M = 2,8$  м, машина убирает ботву с 4-ех рядков.



1 – привод; 2 – кожух; 3 – ротор с шарнирными ножами; 4- шарнирный нож; 5 – опорное колесо; 6 – навесное устройство.

Рисунок 1. Схема четырехрядной ботвоуборочной машины БД-4М.

В разработанной нами конструкции ботвоуборочной машины БД-4М принимаем 4 размера ножей. Расстановка ножей произведена по схеме, представленной на (рис.2).

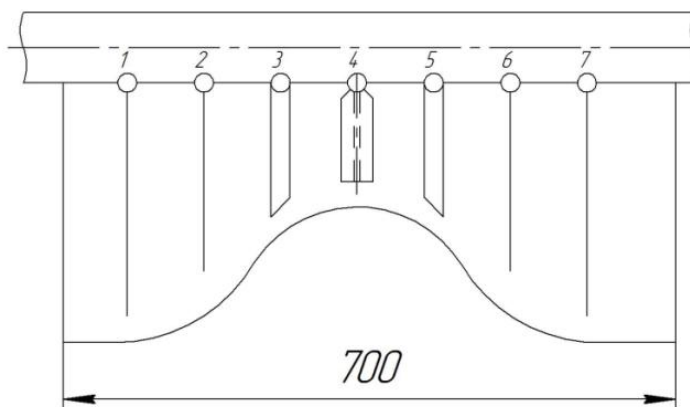


Рисунок 2. Схема расположения ножей на валу.

С целью исследования динамики шарнирных ножей, обоснования параметров ножей и качества работы модернизированного дробителя были проведены лабораторно- полевые исследования.

Исследования экспериментального копателя проводились в период с 20 по 28 августа 2011 г. в ООО «Авангард», Рязанского района, Рязанской области.

Перед началом испытаний была снята характеристика культуры картофеля (таблица 1).

Таблица 1. Характеристика культуры картофеля.

Наименование показателей	Значение показателей
Дата снятия характеристики	20.08.2011
Сорт картофеля	«Сантэ»
Способ посадки	Рядовой
Ширина междурядий, см	70
Биологический урожай ботвы, ц/га	220
Фактический урожай клубней, ц/га	240
Состояние ботвы	Полеглая
Высота гребней, см	19,5
Количество кустов, тыс. шт/га	36
Характеристика гнезда:	
Ширина гнездо, см	15,1
Глубина залегания нижнего клубня, см	15,5

Исследование относительного движения режущего элемента было проведено для проверки разработанной теории относительного движения

режущего элемента в поле центробежных сил и определения углов отклонения ножей от радиального положения в процессе работы.

Эксперименты проводилось в лаборатории кафедры "Сельскохозяйственные машины" на специальном стенде методом скоростного фотографирования камерой марки СКС-1, позволяющей проводить съемку со скоростью 4000 кадров в секунду. Съемка производилась со скоростью 1250 кадров в секунду при частоте вращения ротора  $1250 \text{ мин}^{-1}$ .

В соответствии с разработанной теорией было изготовлено четыре режущих ножей. Первый имел параметры:  $P_1 = 0,663 \text{ кг}$ ,  $L_1 = 0,16 \text{ м}$ , второй -  $P_2 = 1,02 \text{ кг}$ ,  $L_2 = 0,2 \text{ м}$ . и третий -  $P_3 = 1,4 \text{ кг}$ ,  $L_3 = 0,24 \text{ м}$ , а четвертый - центральный взят без изменений с серийной машины.

По результатам проведенных лабораторных исследований построен график отклонения ножа от радиального положения при срезе единичного стебля ботвы (рис.3).

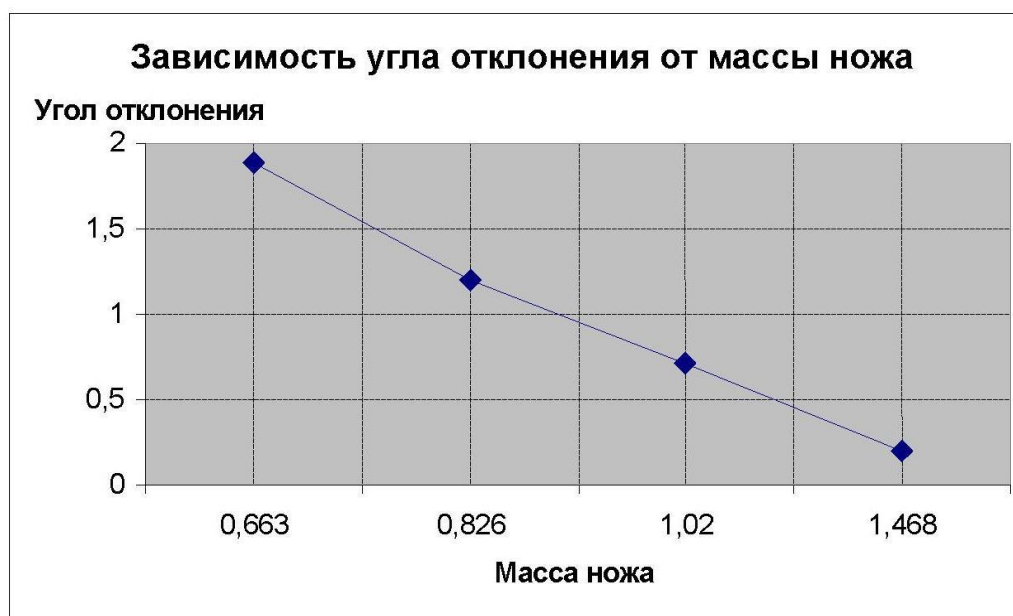


Рисунок 3. Зависимость угла отклонения от массы ножа.

Анализ кривой показывает, что наибольшее отклонение наблюдается у ножа массой  $0,663 \text{ кг}$ , а наименьшее - у ножа массой  $1,468 \text{ кг}$  и

соответственно отклоняются во время среза единичного стебля ботвы не более чем на  $2^0$ , тем самым обеспечивая стабильную работу ротора.

Однако, во время работы нож срезает несколько стеблей ботвы. Поэтому с целью исследования отклонения ножей и обоснования их параметров мы провели исследования процесса среза на стенде с помощью теории планирования эксперимента при срезе пучка стеблей в 5 шт.

Для проведения эксперимента были изготовлены новые образцы откорректированных ножей с параметрами:  $P_1 = 0,6$  кг,  $L_1 = 0,16$  м, второй -  $P_2 = 1$  кг,  $L_2 = 0,2$  м и третий –  $P_3 = 1,4$  кг,  $L_3 = 0,24$  м.

Для построения данной математической модели был проведен полный факторный эксперимент типа  $2^3$ .

На основе анализа литературных источников для проведения эксперимента были выбраны три фактора, которые являются наиболее весомыми: длина ножей, масса ножей и усилие среза. Факторы, влияющие на угол отклонения ножа, уровни их варьирования, план эксперимента и результаты эксперимента приведены в таблицах 2, 3, 4.

Таблица 2. Уровни и интервалы варьирования факторов

	Длина ножей, м	Масса ножей, кг	Усилие среза, Н
	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Основной уровень	0,2	1,0	150
Интервал варьирования	0,04	0,4	100
Верхний уровень	0,24	1,4	250
Нижний уровень	0,16	0,6	50

За параметр оптимизации  $y$  принят показатель угла отклонения ножа.

Математическая модель исследуемого процесса имеет вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \tag{1}$$

Проведение эксперимента.

Таблица 3. План эксперимента

№ опыта	Факторы
---------	---------

	$x_1$	$x_2$	$x_3$
1.	-	-	-
2.	+	-	-
3.	-	+	-
4.	+	+	-
5.	-	-	+
6.	+	-	+
7.	-	+	+
8.	+	+	+

Таблица 4. Рабочая матрица и результаты эксперимента

Номер опыта	Факторы			Отклики			Дисперсия опыта
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y_1$	$y_2$	$y_{cp}$	$S_j^2$
1	0,16	0,6	50	9,52	9,6	9,56	0,0032
2	0,24	0,6	50	10,12	10,3	10,21	0,0162
3	0,16	1,4	50	10,36	10,54	10,45	0,0162
4	0,24	1,4	50	10,6	10,7	10,65	0,005
5	0,16	0,6	250	10,82	10,94	10,88	0,0072
6	0,24	0,6	250	11,12	11,38	11,25	0,0338
7	0,16	1,4	250	11,62	12,28	11,95	0,217
8	0,24	1,4	250	12,34	12,98	12,66	0,204

В соответствии с методикой [1] была проведена проверка однородности дисперсий, вычислены коэффициенты уравнения регрессии, проведена проверка их значимости. На основе этого получено уравнение регрессии

$$y = 10,95 + 0,24x_1 + 0,47x_2 + 0,73x_3 \quad (2)$$

Судя по количественной оценке коэффициентов уравнения, наибольшее влияние на параметр оптимизации оказывает сила резания (фактор  $x_3$ ).

Используем полученное уравнение регрессии для оптимизации исследуемого процесса градиентным методом (таблица 5).

Таким образом, установлено, что выбранные ножи с параметрами:  $P_1 = 0,6$  кг,  $L_1 = 0,16$  м, второй -  $P_2 = 1$  кг,  $L_2 = 0,2$  м и третий -  $P_3 = 1,4$  кг,  $L_3 = 0,24$  м даже при срезе пучка ботвы в 5 шт. отклоняются не более  $15^\circ$  .что меньше допустимого  $30^\circ$  [2], и в конечном итоге обеспечит стабильную работу ротора.

Таблица 5. Градиентный метод.

№	Последовательность операций наискорейшего спуска	Длина ножей, м	Масса ножей, кг	Усилие среза, Н	Параметр оптимизации, %
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y_1$
1.	Основной уровень	0,2	1,0	150	
2.	Интервал варьирования	0,04	0,4	100	
3.	Верхний уровень	0,24	1,4	250	
4.	Нижний уровень	0,16	0,6	50	
5.	Опыты:				
	1	-	-	-	9,56
	2	+	-	-	10,21
	3	-	+	-	10,45
	4	+	+	-	10,65
	5	-	-	+	10,88
	6	+	-	+	11,25
	7	-	+	+	11,95
	8	+	+	+	12,66
6.	Коэффициенты $b_i$	0,24	0,47	0,73	
7.	Шаг градиента $\Delta x_i \cdot b_i$	0,0096	0,188	73	
8.	Изменение шага градиента	0,01	0,2	73	
9.	Округление шага	0,01	0,2	73	
	Опыты:				
	9	0,15	0,5	30	9,17
	10	0,16	0,6	50	9,51
	11	0,17	0,7	70	9,83
	12	0,18	0,8	90	10,15
	13	0,19	0,9	110	10,48
	14	0,2	1,0	150	10,24
	15	0,21	1,2	223	11,77
	16	0,22	1,4	296	12,6
	17	0,23	1,6	369	13,43
	18	0,24	1,8	442	14,26
	19	0,25	2	515	15,00

Проведя проверку адекватности и раскодировку уравнения регрессии окончательно получим расчетную формулу

$$y = 7,48 + 6 \cdot a + 1,175 \cdot v + 0,0073 \cdot b. \quad (3)$$

По результатам лабораторных испытаний с применением теории планирования эксперимента и найденным оптимальным параметрам шарнирных ножей ботводробитель был переоборудован.

Полевые испытания были проведены на поле ООО «Авангард».

Испытания проводились в сравнении с серийным ботводробителем. За период испытаний было убрано 6,2га, на рис. 4.5 показан модернизированный ботводробитель при работе в поле.

Во время проведения полевых испытаний была проведена агротехническая и эксплуатационная оценка работы. Результаты испытаний приведены в таблице 6.

Анализ результатов показал, что:

- полнота уборки картофельной ботвы составляет у модернизированного 81.5%. а у серийного – 72.5%. что на 11% меньше;

- не срезанной ботвы оставлено – 12,35%. А у серийного - 20,8%, что на 68.% меньше;

- качество измельчения частиц до 2 см. повысилось до 38,6% , а у серийного составило 30,2 %. Что на 21% больше.



Рисунок 4. Модернизированный ботводробитель БД - 4М.



Таблица 6. Качество измельчения убираемой ботвы.

Наименование показателей	Серийный ботводробитель	Модернизированный ботводробитель
Культура	Картофель	
Сорт	Сантэ	
Урожайность, ц/га	181	181
Скорость движения агрегата, км/ч	1,4	1,4
Высота среза, см	10,0	10,0
Полнота уборки, % Срезано	72,5	81,5
Оставлено не срезанной ботвы	20,8	12,3
Стерня	6,7	6,2
Состав измельченной массы по фракциям, %		
а) частиц до 2-х см	30,2	38,6
б) частиц свыше 2-х см	69,8	61,4

1. В результате планирования эксперимента и исследования параметров с помощью градиентного метода установлены оптимальные параметры ножей модернизированного ротора:  $P_1 = 0,6$  кг,  $L_1 = 0,16$  м, второй -  $P_2 = 1$  кг,  $L_2 = 0,2$  м и третий –  $P_3 = 1,4$  кг,  $L_3 = 0,24$  м.

2. Установлено, что выбранные ножи даже при срезе пучка ботвы в 5 шт. отклоняются не более  $14^\circ$ , что меньше допустимого  $30^\circ$ , что в конечном итоге обеспечит стабильную работу ротора.

3. Модернизированный ботводробитель с переменным диаметром резания по основным показателям: полноте уборки картофельной ботвы, удалению ботвы из междурядий, качеству измельчения превосходит серийный ботводробитель с постоянным диаметром резания.

### **Литература:**

1. Иванкина О.П. Основы планирования эксперимента: Учебно-методическое пособие для студентов и аспирантов. Рязань: РИ МГОУ, 2001. С. 82.

2. Угланов М.Б. Докторская диссертация. Разработка комплекса машин для уборки картофеля на основе совершенствования рабочих органов и рационального их сочетания / М.Б. Угланов. докт. техн. наук. – Ленинград, 1989. С. 408.