Author credentials

Affiliations

Bochkarev Anton – post-graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State Agrarian University”, Russia, Penza, e-mail: bochkarev.a.s@pgau.ru.

Laryushin Nikolay – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State Agrarian University”, Russia, Penza, e-mail: larushinnp@mail.ru.

Kuharev Oleg – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State Agrarian University”, Russia, Penza, e-mail: kucharev.o.n@pgau.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.05.2020 Принята к публикации (Accepted): 14.07.2020

УДК 631.311

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-4-33-40

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ
ДЛЯ КОМБАЙНОВОЙ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ**

¹Гаджиев Парвиз Имранович

¹Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна

²Манаенков Константин Алексеевич

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет»

²ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

Реферат. Рассматривали проблему уменьшения содержания комков в почве, с целью подготовки ее к комбайновой уборке картофеля. Предложена почвообрабатывающая фреза с зубцеобразной формой ножа. Приведены результаты исследования влияния длины ножа фрезы, скорости вращения фрезерного барабана и числа ножей на величину крошения почвы. Предложена программа исследований с уровнями и интервалами варьирования факторов. Проведен анализ полученного уравнения регрессии, отражающего зависимость степени крошения почвы в закодированном виде от значимых факторов. Теоретические предпосылки были проверены полевыми исследованиями предлагаемой фрезы с зубцеобразным профилем ножа на полях ООО «Белая Дача Фарминг» Тамбовского района, Тамбовской области. Для испытаний выбрали поля после уборки ячменя, с помощью разработанной фрезы проводили рыхление почвы. Были получены следующие характеристики почвы: влажность 17 – 21 %, твердость – 0,8 – 1,8 МПа, плотность – 0,9 – 1,0 г/см³, средняя высота растительных и пожнивных остатков – 20 см. Результаты агротехнической оценки показали, что обработка почвы на глубину 11,6 см обеспечивает удовлетворительное качество крошения, плотность обрабатываемого слоя в 1,10 г/см³. Все это отвечает агротехническим требованиям созревания картофеля. Подрезаются полностью сорные растения. Высота гребней составила 1,54 – 1,62 см. В тяжелых почвах комбайны работают легче, состав вороха стал чист от комков и уменьшилось повреждение клубней. При комбайновой уборке картофеля, его урожайность на подготовленном участке, путем фрезерования выросла на 25 %, количество почвенных примесей в бункере снижается на 35 – 40 %.

Ключевые слова: обработка почвы, крошение, скорость вращения фрезерного барабана, ножи с зубцеобразным профилем.

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF TILLING THE SOIL
FOR COMBINE HARVESTING POTATOES**

¹Gadzhiev Parviz

¹Ramazanova Gulbike

²Manayenkov Konstantin

¹FSBEI HE “Russian State Agrarian Correspondence University”

²FSBEI HE “Michurinsk State Agrarian University”

Abstract. The problem of reducing the content of lumps in the soil, in order to prepare it for harvesting potatoes, was considered. A tillage cutter with a serrated knife shape is proposed. The results of the study of the influence of the cutter knife length, the rotation speed of the milling drum and the number of knives on the amount of crumbling of the soil are presented. A research program with levels and intervals of variation of factors is proposed. An analysis of the obtained regression equation, which reflects the dependence of the degree of crumbling of the soil in encoded form on significant factors, was carried out. Theoretical background was verified by field studies of the proposed cutters with a serrated profile of a knife in the fields of Belaya Dacha Farming LLC, Tambov District, Tambov Region. Fields after harvesting barley were selected for testing; using the developed cutter, the soil was loosened. The following soil characteristics were obtained: moisture content 17 – 21 %, hardness – 0,8 – 1,8 MPa, density – 0,9 – 1,0 g/cm³, average height of plant and crop residues – 20 cm. The results of the agrotechnical assessment showed that tillage to a depth of 11,6 cm provides a satisfactory quality of crumbling, the density of the treated layer is 1,10 g/cm³. All this meets the agrotechnical requirements of potato ripening. Fully weed plants are pruned. The height of the ridges was 1,54 – 1,62 cm. Combines work easier in heavy soils, the composition of the heap has become clean from lumps and damage to tubers has decreased. When harvesting potatoes, their productivity in the prepared area by milling increased by 25 %, the amount of soil impurities in the hopper decreases by 35 – 40 %.

Keywords: tillage, crumbling, milling drum rotation speed, knives with serrated profile.

Введение. Правильный выбор технологии возделывания картофеля, в зависимости от почвенных, климатических условий приводит к улучшению качества клубней картофеля и повышению его урожайности.

С помощью комбайнов нельзя убирать картофель на задерненных и сильно засоренных участках. К комбайновой обработке пригодны только хорошо сепарируемые почвы, не содержащие твердых примесей, которые могут вызвать перегрузку основного сепаратора при повышенных скоростях комбайна.

Для снижения количества комков в почве картофельного поля предлагается использовать соответствующую обработку: боронование, фрезерование, междурядные обработки и т.п. [1 – 3].

Некоторые зарубежные фирмы пошли по другому пути [4, 5]: они предварительно перед посадкой освобождают почву от комков и камней, получая рыхлую и готовую к посадке почву, не требующую весеннюю вспашку и обычную подготовку ложа для клубней. Это позволяет, не расходуя значительных средств на создание специального картофелеуборочного комбайна, оборудованного дорогостоящими камнеотделителями, достигнуть высоких показателей при возделывании картофеля.

Фирма «Гримме» (Германия) предложила очищать почвенный слой от комков и камней на глубину залегания картофельных клубней при рыхлении почвы ниже уровня клубней (подпахотный горизонт) без вынимания почвы на поверхность.

Подготовка почвы с помощью почвообрабатывающих фрез перед посадкой очень перспективна при возделывании картофеля на комковатых почвах. Для снижения тяговых сопротивлений, уменьшения затрат мощности при фрезеровании, повышения скорости резания и производительности [6 – 8] необходимо правильно выбрать форму и рабочую поверхность ножа.

Потребление картофеля в 2017 году составило 112,8 кг (рекомендованная норма 90 кг). Оно остается практически неизменным на протяжении последних лет. Благодаря тому, что внутренний спрос на картофель можно считать насыщенным, для отечественных производителей открывается возможность наращивать производство картофеля отечественных элитных сортов. Предпосевная фрезерная обработка почвы становится очень актуальной. Нами предложена зубцеобразная форма ножа у почвообрабатывающей фрезы.

Активное крошение тяжелых и средних по твердости почв, в том числе с измельчением растительных остатков, уничтожением сорных растений, перемешиванием слоев почвы и выравниванием поверхности почвы можно осуществлять с помощью почвообрабатывающей фрезы ФН – 1,2, которая агрегируется с тракторами МТЗ-80 [8, 9].

Фрезерная машина или барабан представляет собой вал и приваренные к нему фланцы фрезы, имеющие зубцеобразную форму ножа, приводимого в движение от карданной передачи ВОМ трактора. При движении агрегата происходит интенсивное рыхление почвенного пласта с

помощью подрезания ножом. Поверхность обрабатываемого слоя выравнивают фартука-выравниватели, а каток выравнивает и уплотняет разрыхленный слой почвы.

Цель исследований – провести анализ зависимости между степенью крошения почвы и факторами, влияющими на эту степень, используя метод планирования полнофакторного эксперимента.

Материалы и методы исследования. Исследовались параметры влияния усовершенствованной машины с зубцеобразной формой ножа на степень крошения почвы по методу полнофакторного планирования эксперимента. В качестве варьируемых факторов приняты следующие: длина ножа l , скорость вращения фрезерного барабана ω и число ножей m .

На интервал варьирования числа ножей влияли конструктивные особенности фрезы и глубина обработки почвы. Техническая характеристика трактора и условия работы фрезью определяли число ее оборотов ω . Длину ножа определяли по агротехническим требованиям. В таблице 1 представлены уровни и интервалы варьирования факторов на степень крошения почвы при ее обработке под картофель.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов на степень крошения почвы

Уровень	Значение	Факторы		
		$m, (X_3)$	$l, (X_1), \text{см}$	$\omega, (X_2), \text{рад/с}$
Верхний	+1	4	23,0	55
Нижний	-1	2	22,0	35
Центральный	0	3	22,5	45
Интервал варьирования.	ΔX	1	0,5	10

Для перехода фактических уровней к кодированным использовали формулы:

$$X_1 = \frac{l - l_0}{\Delta l}; X_2 = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta \omega}; X_3 = \frac{m - m_0}{\Delta m}.$$

Коэффициенты регрессии определяли с помощью метода наименьших квадратов. Гипотезу об однородности оценок дисперсий проверяли с использованием критерий Фишера.

Результаты исследований и обсуждение. По рассчитанным коэффициентам получили математическую модель, характеризующую зависимость величины крошения почвы от наиболее значимых факторов:

$$K = 91,8 + 0,32x_1 + 0,59x_2 - 0,573x_1x_3 - 0,76x_2x_3 - 0,32x_1^2 - 0,52x_3^2, \quad (1)$$

где x_1 – длина ножа фрезы; x_2 – угловая скорость ω вращения барабана; x_3 – число m ножей на диске барабана.

Для приведения к каноническому виду уравнения (1) нашли его частные производные по x_1 , x_2 , x_3 и получили систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial K}{\partial x_1} = 0,32 - 0,64X_1 - 0,573X_3 = 0 \\ \frac{\partial K}{\partial x_2} = 0,59 - 0,76X_3 = 0 \\ \frac{\partial K}{\partial x_3} = -0,573X_1 - 0,76X_2 - 1,04X_3 = 0 \end{cases},$$

решение которого дает координаты оптимальной точки:

$$x_1 = -0,198; x_2 = -0,919; x_3 = 0,78.$$

Критерий оптимизации в этой точке составляет $K_s = 91,5\%$.

Метод многофакторного планирования эксперимента позволил найти в достаточно простом и компактном виде математическую модель процесса и определить значения факторов, обеспечивающих рациональные значения.

Натуральные значения факторов, отвечающие оптимальной степени крошения почвы $i_{opt} = 91,5$, имеют значения: длина ножа фрезы $l = 22,4$ см; угловая скорость вращения барабана $\omega = 35,8 \text{ с}^{-1}$; число ножей на диске барабана $m = 4$.

Эти показатели имеют почти полную сходимость с теоретическими исследованиями.

Анализируя уравнение регрессии (1) получили увеличение крошения почвы по экспоненциальной зависимости с увеличением угловой скорости ω (рисунок 1).

Рисунок 1 – Влияние скорости ω вращения барабана фрезы на крошение почвы при:
1 – $m = 2$ шт.; 2 – $m = 3$ шт.; 3 – $m = 4$ шт.

Установили увеличение крошения почвы на 1 % с увеличением угловой скорости ω вращения барабана фрезы в диапазоне 35 – 45 рад/с, и на 2 % (рисунок 1), а в диапазоне 45 – 55 рад/с при длине ножа $l = 22,5$ см.

Если угловая скорость вращения барабана фрезы $\omega = 35$ рад/с, то при увеличении количества ножей на диске барабана на 1 штуку крошение почвы увеличивается на 1,5 %, а при увеличении количества ножей на 2 шт. – на 2 % (рисунок 2).

Рисунок 2 – Влияние числа ножей барабана на крошение почвы при:
1 – $\omega_{min} = 35$ рад/с; 2 – $\omega_0 = 45$ рад/с; 3 – $\omega_{max} = 55$ рад/с.

При количестве ножей $m = 4$ и с увеличением длины ножа l обработки почвенного пласта в диапазоне 22 – 22,5 см крошение почвы увеличивается на 1,0 %, при 22,5 – 23 см – уменьшается на 1,5 % (рисунок 3).

Рисунок 3 – Влияние длины ножа l обработки почвенного пласта на крошение почвы при:
 1 – $\omega_{min} = 35$ рад/с; 2 – $\omega_0 = 45$ рад/с; 3 – $\omega_{max} = 55$ рад/с.

Оценка гипотезы адекватности модели (1) при использовании критерия Фишера $F_t = 2,17$ говорит о ее пригодности с доверительной вероятностью 95 % для прогнозирования крошения почвы после стадии фрезерования.

С целью выявления эффективности предпосадочной обработки почвы экспериментальной машиной проводились полевые испытания на землях ООО «Белая Дача Фарминг» Тамбовского района, Тамбовской области. Этот район по характеру почвенного покрова и агроклиматическим особенностям относится к центральной зоне, площадь типичных черноземов составляет здесь 19,8 %, а площадь выщелоченных – 65,9 % [10].

Полученные при лабораторно-полевых испытаниях результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Агротехнические показатели при лабораторно - полевых испытаниях

N, n/n	Показатели	Значение показателя	
		ТЗ	данные испытаний
	Место проведения	-	с. Татаново Тамбовский район, Тамбовской области, (08.10.2017 г.)
1	Используемая техника	М ТЗ - 80	МТЗ - 80 + ФН 1,2 М
2	Скорость движения, км/ч	3 - 5	3 - 9
3	Рабочая ширина захвата агрегатом, м при стандартном отклонении, ± см	1 - 2 -	1 - 2 0,03
4	Характеристики почвы:		
	Гребнистость поверхности, см	≤ 2	1,54 - 1,62
	Глубина обработки, см	18,0	11,6
	Крошение, %	≤ 80	
	размеры фракций:		
	до 25 мм, % в слое до 60 мм	-	86,5
	до 50 мм, % в слое до 150 мм	50 - 70	67,4
	в слое свыше 150 мм	≥ 90	97,5
	Уплотнение, г/см ³	0,9 - 1,2	1,0 - 1,1
	Подрезание сорняков, %	-	100
	Заделка растительных и пожнивных остатков, %	-	97,3

Испытания почвообрабатывающей фрезы с ножами зубцеобразной формы проводили при рыхлении почвы после уборки ячменя влажностью 17,3 – 20,9 %, твердостью – 0,8 – 1,8 МПа, плотностью 0,9 – 1,0 г/см³, средней высоте растительных и пожнивных остатков – 20 см.

Агротехническую оценку почвы проводили, используя СТО АИСТ 1.1 - 2004, ГОСТ 20315–75. Полученные результаты показали удовлетворительное качество крошения почвы при обработке на глубину 11,6 см. Плотность обрабатываемого слоя составила 1,10 г/см³, высота гребней – 1,54 – 1,62 см. Сорные растения, при этом, подрезаются полностью. Все это соответствует агротехническим требованиям для созревания картофеля.

Чтобы проверить эффективность предпосадочной подготовки почвы под картофель, путем фрезерования комковатых почв осенью был проведен анализ учета урожайности картофеля и ход комбайновой уборки картофеля.

Для полевых испытаний использовали те земельные участки, где почва была подготовлена перед посадкой клубней. Условия проведения полевых испытаний картофелеуборочного комбайна приведены в таблице 3, уборка картофеля проводилась двухрядным картофелеуборочным комбайном Dewulf (рисунок 3).

Таблица 3 – Условия проведения предпосадочной обработки почвы с помощью картофелеуборочного комбайна Dewulf

Агротехнические показатели	Значение	
	Без предварительной обработки почвы	Предпосадочная обработка почвы
Климатические факторы:		
Многолетние данные по средней температуре в мае-сентябре, °С,	15,3/14,9	
Многолетние данные по сумме осадков в мае-сентябре, мм	318/18	
Название по механическому составу почв:	средний суглинок,	
Рельеф почв	ровный, выровненный	
Влажность, % / твердость, Мпа почвы в слоях:		
20-25	23,1/0,91	21,4/0,88
15-20	22,1/0,98	21,8/0,60
10-15	20,8/0,62	21,0/0,46
5-10	20,7/0,49	20,6/0,23
0-5см	23,0/0,32	20,9/0,20
Сорт картофеля	«Инноватор»	
Схема посадки, см	70 x 30	
Высота гребня, см	16,7	11,3
Ширина междурядий, см	71,2	70,3
Размеры клубней		
длина средняя, мм	47,0	49,0
среднее квадратическое отклонение, ± см	15,4	12,2
ширина средняя, см	36,0	40,0
среднее квадратическое отклонение, +- см	12,6	10,7
толщина средняя, мм	28,0	28,0
среднее квадратическое отклонение, ± см	9,3	8,3
Средняя масса клубня, г	72,0	88,0
Коэффициент формы клубней	1,23	1,18
Урожайность клубней, т/га	18,0	22,5
Состав клубней в процентах по массе, г		
свыше 80	55,3	64,2
50 - 80	28,3	26,9
15 - 50	16,4	8,9
Полнота выкапывания клубней, %	96,8	99,7

Рисунок 3 – Двухрядный картофелеуборочный комбайн Dewulf в работе

В тяжелых почвах комбайны стали работать легче, состав вороха стало чисто от комков и уменьшилась повреждения клубней.

Как видно из показателей условий проведения испытаний при комбайновой уборке картофеля, его урожайность на подготовленном участке, путем фрезерования выросла почти на 25 %, количество почвенных примесей в бункере снижается на 35 – 40 %.

На подготовленной почве под посадку картофеля производительность комбайнов увеличивается на 13 – 15 %, повреждения клубней при комбайновой уборке снижается на 20 %, в последствие расход топлива на уборку сократилась на 11 %.

Выводы:

1. Рассмотрена задача полнофакторного планирования эксперимента для исследования степени крошения почвы при предпосадочной обработке под картофель.
2. Получена математическая модель процесса крошения в виде уравнения регрессии второго порядка и определены значения факторов, обеспечивающих рациональные значения крошения.
3. Проведены полевые исследования усовершенствованного образца фрезы с зубцеобразной формой ножа для предпосадочной подготовки почвы. В результате урожайность картофеля выросла на 25 %, повреждения клубней в таре при комбайновой уборке сократилось на 20 %.

Список литературы

1. Гаджиев П.И. Новый комплекс машин для возделывания картофеля // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1998. – № 12.
2. Петров Г.Д. Развитие механизации возделывания картофеля // Плодоовощное хозяйство. – 1986. – № 9.
3. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. М.: Машиностроение. – 1984. – 320 с.
4. Новые технологические и технические решения в механизации и уборке картофеля (зарубежный опыт). Киев. – 1984. – 26 с.
5. Вирзбург Ф., Найбауэр В. Технология выращивания и уборки картофеля в ГДР // Международный сельскохозяйственный журнал. – 1976. – № 3.
6. Bernacki H. Bodonia zuzycia energii przez aktywne i kombinowane maszyny uprowowe // Biuletyn prac naukowobadawczych. – Warszawa, 1975. – №10 – S. 35 – 48.
7. Sohne W., Eggenmuller A. Schnellaufende bodenfrasen langsamlanfende rotorgraber // Grundlagen der landtechnik. Н. II. 1959.
8. Рамазанова Г.Г. Параметры и режимы работы фрезы для предпосадочной обработки почвы под картофель: дис. ... канд. техн. наук.: М., – 2016. – 133 с.

9. Гаджиев П.И. Технология и технические средства для подготовки тяжелых и каменистых почв к посадке и комбайновой уборке картофеля / П.И. Гаджиев, // Монография. – 2002. – 160 с.

10. Агротехнические показатели фрезерования почвы с зубцеобразной формой ножа / П.И. Гаджиев, М.С. Шикалов, Г.Г. Рамазанова, А.И. Алексеев // Материалы Международной заочной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии и оборудование АПК» РГАЗУ, 18-19 апреля 2019 г.

References

1. Gadzhiev P.I. Novyj kompleks mashin dlja vozdeljvanija kartofelja // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 1998. – № 12.

2. Petrov G.D. Razvitie mehanizacii vozdeljvanija kartofelja // Plodoovoshhnoe hozjajstvo. – 1986. – № 9.

3. Petrov G.D. Kartofeleuborochnye mashiny. M.: Mashinostroenie. – 1984. – 320 s.

4. Novye tehnologicheskie i tehicheskie reshenija v mehanizacii i uborke kartofelja (zarubezhnyj opyt). Kiev. – 1984. – 26 s.

5. Virzburg F., Najbauer V. Tehnologija vyrashhivaniya i uborki kartofelja v GDR // Mezhdunarodnyj sel'skhozjajstvennyj zhurnal. – 1976. – № 3.

6. Bernacki H. Bodonia zuzycia energii przez aktywne i kombinowane maszyny uprowowe // Biuletyn prac naukowobadawczych. – Warszawa, 1975. – №10 – S. 35 – 48.

7. Sohne W., Eggenmuller A. Schnelllaufende bodenfrasen langsamlaufende rotorgraber // Grundlagen der landtechnik. H. II. 1959.

8. Ramazanova G.G. Parametry i rezhimy raboty frezy dlja predposadochnoj obrabotki pochvy pod kartofel': dis. ... kand. tehn. nauk.: M., – 2016. – 133 s.

9. Gadzhiev P.I. Tehnologija i tehicheskie sredstva dlja podgotovki tjazhelyh i kamenistyh pochv k posadke i kombajnovoj uborke kartofelja / P.I. Gadzhiev, // Monografija. – 2002. – 160 s.

10. Агротехнические показатели фрезерования почвы с зубцеобразной формой ножа / П.И. Гаджиев, М.С. Шикалов, Г.Г. Рамазанова, А.И. Алексеев // Материалы Международной заочной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии и оборудование АПК» РГАЗУ, 18-19 апреля 2019 г.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Гаджиев Парвиз Имранович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный заочный университет», Россия, г. Балашиха, e-mail: pgadjiev@yandex.ru.

Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный заочный университет», Россия, г. Балашиха, e-mail: gulbike@yandex.ru.

Манаенков Константин Алексеевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: kmanaenkov@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Gadgiev Parviz – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian Correspondence University”, Russia, Balashikha, e-mail: pgadjiev@yandex.ru.

Ramazanov Gulbike – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian Correspondence University”, Russia, Balashikha, e-mail: gulbike@yandex.ru.

Manayenkov Konstantin – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: kmanaenkov@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 29.05.2020 Принята к публикации (Accepted): 14.07.2020