

УДК 631.319.2

DOI 10.30914/2411-9687-2023-9-2-139-147

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ СТЕПЕНИ КРОШЕНИЯ ПОЧВЫ
КОМБИНИРОВАННЫМ МАЛОГАБАРИТНЫМ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИМ АГРЕГАТОМ
С АКТИВНЫМ СПИРАЛЬНЫМ КАТКОМ**

Н. Н. Андержанова, Г. С. Юнусов, А. В. Майоров

Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола, Российская Федерация

Аннотация. Данная статья представляет новую конструкцию комбинированного малогабаритного почвообрабатывающего агрегата, оснащенного активным спиральным катком. **Введение.** С давних времен земледельцы совершенствуют инструменты обработки почвы, от простейшего плуга до современных орудий, отдельных однооперационных агрегатов до сложных комбинированных машин. Так как в современное время сельскохозяйственная отрасль России опирается на малые формы хозяйствования, в которой интенсивно используется малогабаритная почвообрабатывающая техника, то разработка навесных комбинированных рабочих органов к мотоблоку для предпосевной обработки почвы является актуальной задачей. **Материалы и методы.** В ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет» разработана конструкция комбинированного малогабаритного почвообрабатывающего агрегата с активным спиральным катком. Посредством статистической обработки экспериментальных данных была выявлена математическая зависимость степени крошения почвы от основных независимых факторов процесса обработки, позволяющая определить наиболее эффективные технологические режимы работы агрегата. Полевой анализ факторов, влияющих на степень крошения почвы, которая характеризует ее выравненность, показал, что наибольшее влияние на этот показатель оказывают глубина обработки, нагрузка на прикатывающий каток и частота вращения ротора катка. **Результаты.** Программа экспериментальных исследований включала несколько этапов и состояла из предварительных однофакторных и полного трехфакторного экспериментов. В соответствии с результатами однофакторных экспериментов в ходе осуществления комбинированной обработки почвы определены характерные зависимости показателей комковатости почвы от показателей глубины обработки, частоты вращения двигателя и нагрузки прикатывающего катка. На основании полученных данных вывели математическую зависимость степени крошения почвы от различных факторов. **Заключение.** Оптимальными параметрами обработки почвы для спирального катка являются глубина обработки $X_1=18$ см, частота вращения ротора катка $X_2=340$ об/мин и нагрузка прикатывающего катка $X_3=50$ Н. Использование указанных параметров обеспечивает наибольшую степень крошения почвы и позволяет проводить посев и посадку сельскохозяйственных культур в соответствии с агротехническими требованиями, делая работу комбинированного малогабаритного агрегата наиболее эффективной.

Ключевые слова: активный спиральный каток, почва, комбинированный агрегат, параметры, степень крошения

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Андержанова Н. Н., Юнусов Г. С., Майоров А. В. Определение математической зависимости степени крошения почвы комбинированным малогабаритным почвообрабатывающим агрегатом с активным спиральным катком // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2023. Т. 9. № 2. С. 139–147. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-139-147>

**DETERMINATION OF THE MATHEMATICAL DEPENDENCE OF THE DEGREE OF SOIL CRUMBLING
BY A COMBINED SMALL-SIZED TILLAGE UNIT WITH AN ACTIVE SPIRAL ROLLER**

N. N. Anderzhanova, G. S. Yunusov, A. V. Mayorov

Mari State University, Yoshkar-Ola, Russian Federation

Abstract. This article presents a new design of a combined small-sized tillage unit equipped with an active spiral roller. **Introduction.** Since ancient times, the plowman has been improving soil cultivation tools, from the simplest plow to modern implements, individual single-operation units to complex combined machines. Since in modern

times the agricultural industry in Russia relies on small forms of management, which intensively uses small-sized tillage equipment, the development of hinged combined working bodies for a walk-behind tractor for pre-sowing tillage is an urgent task. **Materials and methods.** The Mari State University has developed a design for a combined small-sized tillage unit with an active spiral roller. Through statistical processing of experimental data, the mathematical dependence of the degree of crumbling of the soil on the main independent factors of the processing process was revealed, which made it possible to determine the most effective technological modes of operation of the unit. Field analysis of the factors affecting the degree of crumbling of the soil, which characterized its evenness, showed that the depth of processing, the load on the press roller and the speed of the roller rotor had the greatest influence on this indicator. **Research results, discussion.** The experimental research program included several stages and consisted of preliminary one-factor and full three-factor experiments. In accordance with the results of one-factor experiments during the implementation of combined tillage, the characteristic dependences of soil lumpiness indicators on the indicators of the depth of processing, the engine speed and the load of the packer were determined. Based on the data obtained, a mathematical dependence of the degree of crumbling of the soil on various factors was derived. **Conclusion.** The optimal soil tillage parameters for a spiral roller are the tillage depth $X_1=18$ cm, the rotor speed of the roller $X_2=340$ rpm and the load of the packer roller $X_3=50$ N. The use of these parameters provides the highest degree of soil crumbling and allows sowing and planting crops in accordance with agrotechnical requirements, making the work of the combined small-sized unit the most efficient.

Keywords: active spiral roller, soil, combined unit, parameters, degree of crumbling

The authors declare no conflict of interest.

For citation: *Anderzhanova N. N., Yunusov G. S., Mayorov A. V.* Determination of the mathematical dependence of the degree of soil crumbling by a combined small-sized tillage unit with an active spiral roller. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*, 2023, vol. 9, no. 2, pp. 139–147. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-139-147>

Введение

Издавна земледельцы улучшают инструменты для обработки почвы, начиная с простых плугов и до современных машин, выполняющих несколько операций за один проход. Механизация остается важнейшей задачей в агротехнике до сегодняшнего дня.

Однако механическая обработка почвы должна быть не только качественной, но и рациональной, чтобы сохранять почву, воду и ресурсы. В настоящее время во многих развитых странах широко применяется новая технология – минимальная обработка почвы, которая возможна благодаря специальным комбинированным машинам, выполняющим несколько операций за один проход по полю [10].

В условиях Республики Марий Эл минимальная обработка почвы играет важную роль в сохранении ее плодородия, снижении эрозийных процессов, а также в накоплении и сохранении почвенной влаги. Это также позволяет сократить затраты труда, времени и топлива при проведении полевых работ. Применение комбинированных агрегатов позволяет значительно снизить количество проходов трактора по полю,

улучшить качество обработки почвы и обеспечить своевременное решение агротехнических задач.

В настоящее время малые формы хозяйствования являются опорой сельского хозяйства России, и в этих хозяйствах широко используется малогабаритная техника для обработки почвы. Следовательно, актуальной задачей является разработка навесных комбинированных рабочих органов для мотоблоков, которые предназначены для проведения предпосевной обработки почвы.

Цель исследования направлена на определение наиболее эффективной конструкции, основных параметров и режимов работы малогабаритных комбинированных почвообрабатывающих орудий для мотоблоков с активным спиральным катком, которые могут выполнить несколько агротехнических операций за один проход. С целью выбора оптимального метода механической обработки почвы, учитывая разнообразие технологий ее обработки¹ [6; 7].

¹ Маркеев А. П. Теоретическая механика. М. : ЧеРо, 1999. 572 с.

Материалы и методы исследования

В 2022 году была разработана конструкция малогабаритного комбинированного агрегата для обработки почвы с использованием активного спирального катка в ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет» (рис. 1).

Конструкция активного спирального катка, который крепится к мотоблоку, предназначена для измельчения комков почвы и прикатывания ее после обработки фрезой (см. рис. 2, а, б). Для того чтобы каток мог более точно повторять форму поверхности почвы, он связан с рамой мотоблока через подпружиненные шарниры, которые позволяют ему двигаться в двух перпендикулярных плоскостях [4; 7; 8; 9].

Данный каток функционирует следующим образом: перед началом работы рабочий орган запускается за счет включения привода. В процессе вращения прикатывающий каток взаимодействует с почвой, удаляет сорные растения, дробит почвенные глыбы и создает определенную плотность и мелкокомковатую структуру почвы после предварительной обработки ее фрезой (рис. 2, а, б).

Были выполнены опытные работы на средне-суглинистых дерново-подзолистых почвах, средней степени окультуренности, которые использовались для выращивания сахарной свеклы. Исследования проводились на территории Медведевского района РМЭ и Агробиостанции Марийского государственного университета.

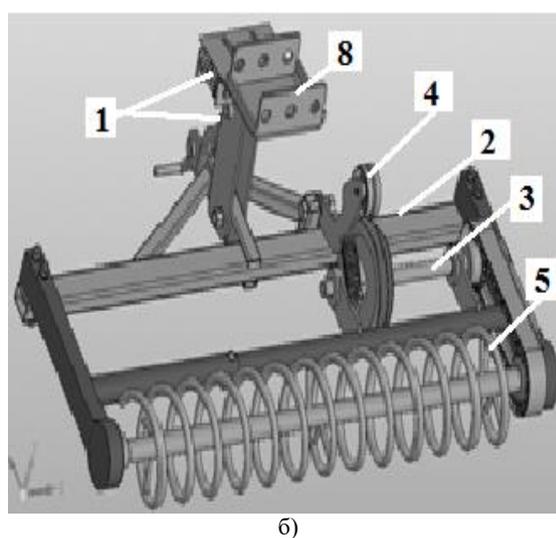
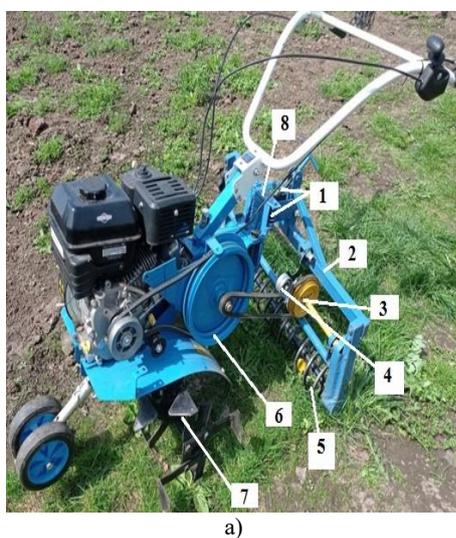


Рис. 1. Активный спиральный каток: а – общий вид агрегата; б – конструктивная схема прикатывающего катка: 1 – балансирующие пружины, 2 – рама катка, 3 – привод катка, 4 – натяжное устройство, 5 – рабочий орган, 6 – мотоблок, 7 – сегментные фрезы, 8 – прицепное устройство / Fig. 1. Active spiral roller: a – general view of the unit; b – design scheme of the rolling roller: 1 – balancing springs, 2 – roller frame, 3 – roller drive, 4 – tensioner, 5 – working body, 6 – tillers, 7 – segment cutters, 8 – trailer

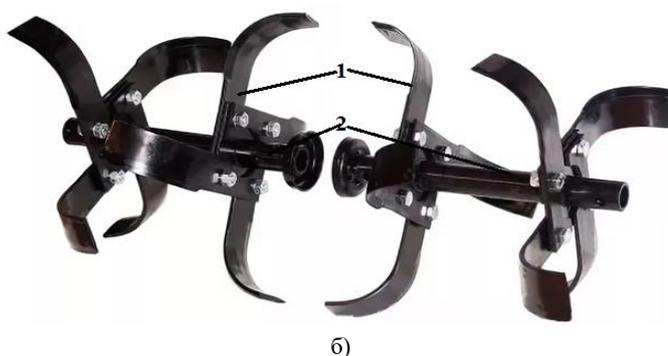
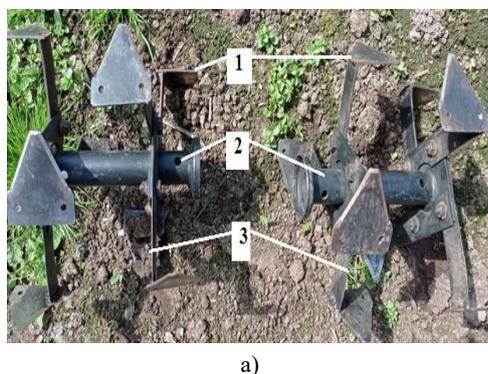


Рис. 2. Фрезы для малогабаритной почвообрабатывающей техники: а – сегментная, б – саблевидная: 1 – ножи фрезы (сегментные, саблевидные); 2 – оси фрезы; 3 – стойка фрезы / Fig. 2. Milling cutters for small-sized tillage equipment: a – segment, b – saber-shaped: 1 – milling cutter knives (segmented, saber-shaped); 2 – milling cutter axes; 3 – milling cutter rack

Путем анализа в полевых условиях были выявлены факторы, влияющие на выравнивание почвы путем ее крошения. Наибольшее влияние на данный процесс оказывают следующие факторы: глубина обработки почвы, нагрузка на прикатывающий каток и частота вращения ротора катка.

Результаты исследований

План экспериментальных исследований включал несколько этапов, в т. ч. предварительные однофакторные и полные трехфакторные эксперименты. В таблице 1 приведены уровни

и интервалы варьирования факторов. После проведения однофакторных экспериментов были определены зависимости между показателями комковатости почвы и глубиной обработки, частотой вращения двигателя и нагрузкой прикатывающего катка в процессе комбинированной обработки почвы¹ [5; 7].

После анализа экспериментальных данных была получена математическая формула, описывающая зависимость между степенью крошения почвы и различными факторами, такими как глубина обработки, частота вращения двигателя и нагрузка прикатывающего катка.

$$Y = -77,2918 + 15,5573 X_1 + 0,1558 X_2 + 0,44981 X_3 - 0,0009 X_1 X_2 - 0,0049 X_1 X_3 + 0,0001 X_2 X_3 - 0,4147 X_1^2 - 0,0002 X_2^2 - 0,0035 X_3^2 \quad (1)$$

Таблица 1 / Table 1

Уровни факторов и интервалы варьирования / Factor levels and variation intervals

Обозначения / Designations	Название фактора, единица измерения / Name of the factor, unit of measurement	Уровень фактора / Factor level			Интервал варьирования / Variation interval
		-1	0	1	
X ₁	Глубина обработки Н (см)	16	18	20	2
X ₂	Частота вращения двигателя (катка, фрезы) (об/мин)	2000 (200,80)	2700 (270,100)	3400 (340,120)	700 (70,20)
X ₃	Нагрузка прикатывающего катка (Н)	30	50	70	20

Согласно результатам эксперимента, зависимость степени крошения почвы от нагрузки прикатывающего катка и частоты вращения ротора катка при постоянной глубине обработки может

быть описана математическими уравнениями регрессии, которые достоверно описывают экспериментальные данные:

При глубине обработки X₁=16 см,

$$Y = 65,4618 + 0,1414 X_2 + 0,37141 X_3 + 0,0001 X_2 X_3 - 0,0002 X_2^2 - 0,0035 X_3^2; \quad (2)$$

При глубине обработки X₁=18 см,

$$Y = 68,3768 + 0,1396 X_2 + 0,36161 X_3 - 0,0001 X_2 X_3 - 0,0002 X_2^2 - 0,0035 X_3^2; \quad (3)$$

При глубине обработки X₁=20 см,

$$Y = 67,9742 + 0,1378 X_2 + 0,35181 X_3 - 0,0001 X_2 X_3 - 0,0002 X_2^2 - 0,0035 X_3^2. \quad (4)$$

Анализ регрессионных моделей (2–4) показывает, что увеличение нагрузки на прикатывающий каток от 30 до 50 Н и частоты вращения ротора катка от 200 до 270 об/мин при постоянной глубине обработки почвы приводит к улучшению степени крошения почвы. Однако при дальнейшем увеличении этих параметров – нагрузки на прикатывающий каток от 50 до 70 Н и частоты вращения ротора катка от 270 до 340 об/мин – степень крошения почвы начинает снижаться при всех значениях глубины обработки почвы.

Максимальное значение степени крошения почвы, достигающее 98,4 %, при глубине обработки X₁=16 см (рисунок 3, а), достигается при частоте вращения ротора катка X₂=340 об/мин и нагрузке на прикатывающий каток X₃=52 Н.

Полученные данные позволяют вывести зависимость степени крошения почвы от нагрузки прикатывающего катка и частоты вращения ротора при постоянной глубине обработки. Из анализа моделей регрессии (5–7) следует, что увеличение

¹ Никитин Н. Н. Курс теоретической механики. М. : Высшая школа, 1990. 607 с.

нагрузки и частоты вращения ротора прикатывающего катка приводит к увеличению степени крошения почвы. Однако, при дальнейшем увеличении этих параметров, происходит снижение степени комковатости при всех значениях глубины

обработки почвы. Максимальное значение степени крошения почвы, равное 98,8 %, достигается при глубине обработки $X_1=20$ см, частоте вращения ротора катка $X_2=340$ об/мин и нагрузке прикатывающего катка $X_3=54$ Н (рис. 3, в).

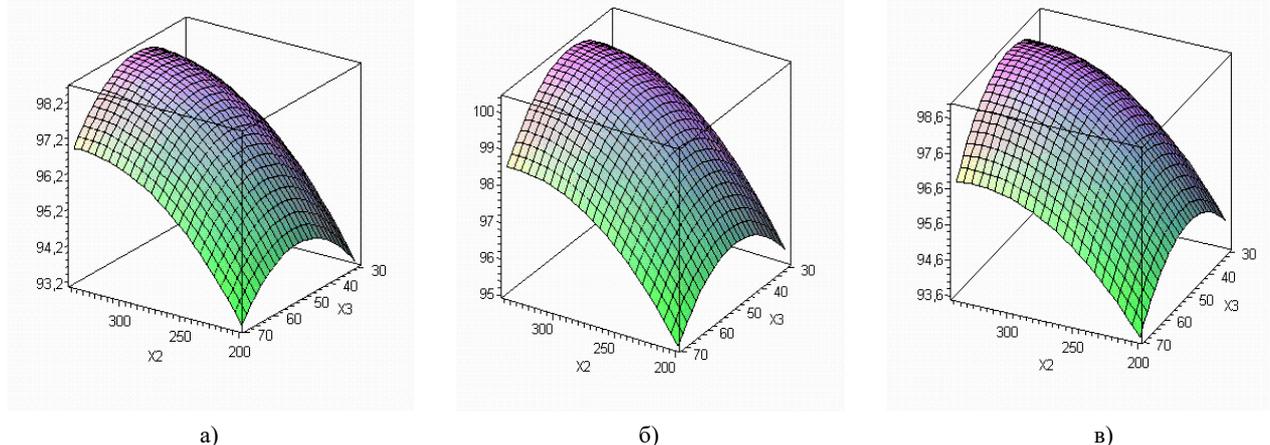


Рис. 3. Зависимость между степенью крошения почвы и частотой вращения ротора катка, а также нагрузкой прикатывающего спирального катка при постоянной глубине обработки: а) $X_1=16$ см, $X_2=200-340$ об/мин; $X_3=30-70$ Н; б) $X_1=18$ см, $X_2=200-340$ об/мин; $X_3=30-70$ Н; в) $X_1=20$ см, $X_2=200-340$ об/мин; $X_3=30-70$ Н /
Fig. 3 The dependence of the degree of soil crumbling on the rotor speed and the load of the rolling spiral roller at a constant processing depth: а) $X_1=16$ cm, $X_2=200-340$ rpm; $X_3=30-70$ N; б) $X_1=18$ cm, $X_2=200-340$ rpm; $X_3=30-70$ N; в) $X_1=20$ cm, $X_2=200-340$ rpm; $X_3=30-70$ N

Таким образом, для оптимальной обработки почвы спиральным катком рациональными параметрами являются глубина обработки $X_1=18$ см, при которой наблюдается наибольшая степень крошения почвы (100 %), а также частота вращения ротора катка $X_2=340$ об/мин и нагрузка прикатывающего катка $X_3=54$ Н, которые обеспечивают максимальную степень крошения

почвы. Экспериментальные значения зависимости степени крошения почвы от глубины обработки и нагрузки прикатывающего катка при постоянной частоте вращения ротора катка достоверно описываются уравнениями регрессии (5–7).

Если говорить о частоте вращения ротора спирального катка, то $X_2 = 200$ об/мин,

$$Y=54,1318+15,3773X_1+0,42981X_3-0,0049 X_1X_3-0,4147 X_1^2-0,0035 X_3^2 \quad (5)$$

При $X_2 = 270$ об/мин,

$$Y=-49,8058+15,3143 X_1+0,42281X_3+0,0049X_1X_3-0,4147 X_1^2-0,0035 X_3^2; \quad (6)$$

При $X_2 = 340$ об/мин,

$$Y=-47,4398+15,2513 X_1+0,41581X_3+0,0049X_1X_3-0,4147 X_1^2-0,0035 X_3^2. \quad (7)$$

Из анализа моделей регрессии (5–7) следует, что повышение нагрузки прикатывающего катка от 30 до 50 Н и глубины обработки почвы от 16 до 18 см при постоянной частоте вращения ротора катка приводит к улучшению степени крошения почвы. Однако при дальнейшем увеличении этих параметров (нагрузки прикатывающего катка от 50 до 70 Н и глубины обработки почвы от 18 до 20 см) наблюдается снижение степени крошения при всех значениях частоты вращения ротора катка.

Наибольшее значение степени крошения почвы, равное 96,5 %, наблюдается при глубине обработки $X_1=18,2$ см и нагрузке прикатывающего катка $X_3=52$ Н при частоте вращения ротора катка $X_2=200$ об/мин (рис.4, а).

Путем анализа ряда моделей регрессии (5–7) было обнаружено, что при увеличении глубины обработки почвы с 16 до 18 см и нагрузки прикатывающего катка с 30 до 50 Н при постоянной частоте вращения ротора катка наблюдается

значительное улучшение степени крошения почвы. Однако при дальнейшем увеличении этих параметров (нагрузки прикатывающего катка от 50 до 70 Н и глубины обработки почвы от 18 до 20 см) степень крошения почвы начинает снижаться при всех значениях частоты вращения ротора катка.

Наибольшее значение степени крошения почвы, равное 96,5 %, достигается при частоте вращения ротора катка $X_2=200$ об/мин (рис. 4, а) при глубине обработки $X_1=18,2$ см и нагрузке

прикатывающего катка $X_3=52$ Н. При частоте вращения ротора катка $X_2=270$ об/мин (рис. 4, б), максимальное значение степени крошения почвы равно 99,4 % при глубине обработки $X_1=18,2$ см и нагрузке прикатывающего катка $X_3=48$ Н. А при частоте вращения ротора катка $X_2=340$ об/мин (рис. 4, в), максимальное значение степени крошения почвы равно 100 % при глубине обработки $X_1=18,0$ см и нагрузке прикатывающего катка $X_3=48$ Н.

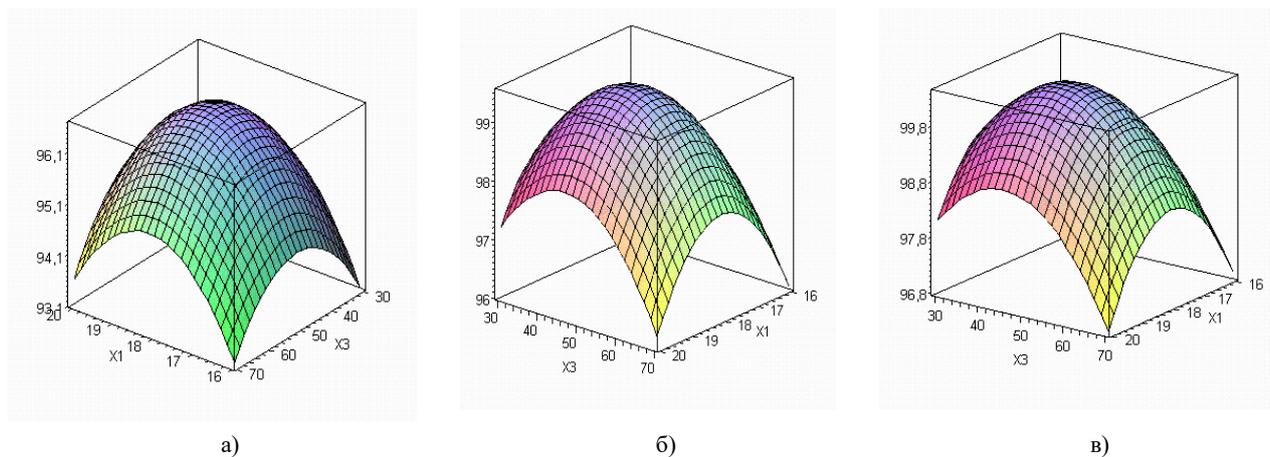


Рис. 4. Соотношение между степенью крошения почвы и глубиной обработки в сочетании с нагрузкой прикатывающего катка при фиксированной частоте вращения ротора катка – это зависимость, которая была изучена в данном исследовании: а) $X_2=200$ об/мин, $X_1=16-20$ см; $X_3=30-70$ Н; б) $X_2=270$ об/мин, $X_1=16-20$ см; $X_3=30-70$ Н; в) $X_2=340$ об/мин, $X_1=16-20$ см; $X_3=30-70$ Н / Fig. 4. The dependence of the degree of crumbling of the soil on the depth of processing, and the load of the rolling roller at a constant speed of rotation of the roller rotor: а) $X_2=200$ rpm, $X_1=16-20$ cm; $X_3=30-70$ N; б) $X_2=270$ rpm, $X_1=16-20$ cm; $X_3=30-70$ N; в) $X_2=340$ rpm, $X_1=16-20$ cm; $X_3=30-70$ N

Следовательно, оптимальной частотой вращения ротора спирального катка является $X_2=340$ об/мин, поскольку при этом наблюдается наибольшая степень крошения почвы (100 %). Результаты эксперимента подтверждаются уравнениями регрессии (8–10), кото-

рые достоверно описывают зависимость степени крошения почвы от глубины обработки и частоты вращения ротора катка при постоянной нагрузке прикатывающего катка.

При заданной нагрузке, которую создает прикатывающий каток

$$X_3=30 \text{ Н}, Y = -66,94750 + 15,4103X_1 + 0,1528 X_2 - 0,0009 X_1X_2 - 0,4147 X_1^2 - 0,0002 X_2^2; \quad (8)$$

При $X_3 = 50$ Н,

$$Y = -63,55130 + 15,3123 X_1 + 0,1508 X_2 - 0,0009 X_1X_2 - 0,4147 X_1^2 - 0,0002 X_2^2; \quad (9)$$

При $X_3 = 70$ Н,

$$Y = -62,95510 + 15,2143 X_1 + 0,1488 X_2 - 0,0009 X_1X_2 - 0,4147 X_1^2 - 0,0002 X_2^2. \quad (10)$$

Из анализа регрессионных моделей (8–10) можно сделать вывод, что увеличение глубины обработки почвы от 16 до 18 см и частоты вращения ротора катка от 200 до 270 об/мин при постоянной нагрузке прикатывающего катка приводит к повышению степени крошения поч-

вы. Однако при дальнейшем увеличении этих параметров (глубины обработки почвы от 18 до 20 см и частоты вращения ротора катка от 270 до 340 об/мин) наблюдается снижение степени крошения почвы при любом значении нагрузки прикатывающего катка [1; 2; 3; 7].

При изучении зависимости степени крошения почвы от параметров обработки были получены следующие результаты: максимальное значение степени крошения почвы, достигающее 99,2 %, было зарегистрировано при использовании нагрузки прикатывающего катка $X_3=30$ Н и настройках глубины обработки $X_1=18,2$ см и частоты вращения ротора катка $X_2=340$ об/мин (см. рис. 5, а). При использовании нагрузки $X_3=50$ Н (см. рис. 5, б) максимальная степень крошения почвы достигает 99,8 %, при настройках глубины

обработки $X_1=18,2$ см и частоты вращения ротора катка $X_2=340$ об/мин. Наконец, при нагрузке $X_3=70$ Н (см. рис. 5, в) максимальное значение степени крошения почвы составляет 98,2 %, при глубине обработки $X_1=18,0$ см и частоте вращения ротора катка $X_2=340$ об/мин. Исходя из этих данных, можно заключить, что оптимальной нагрузкой для прикатывающего спирального катка является значение $X_3=50$ Н, так как именно при этой настройке достигается наибольшая степень крошения почвы (99,8 %).

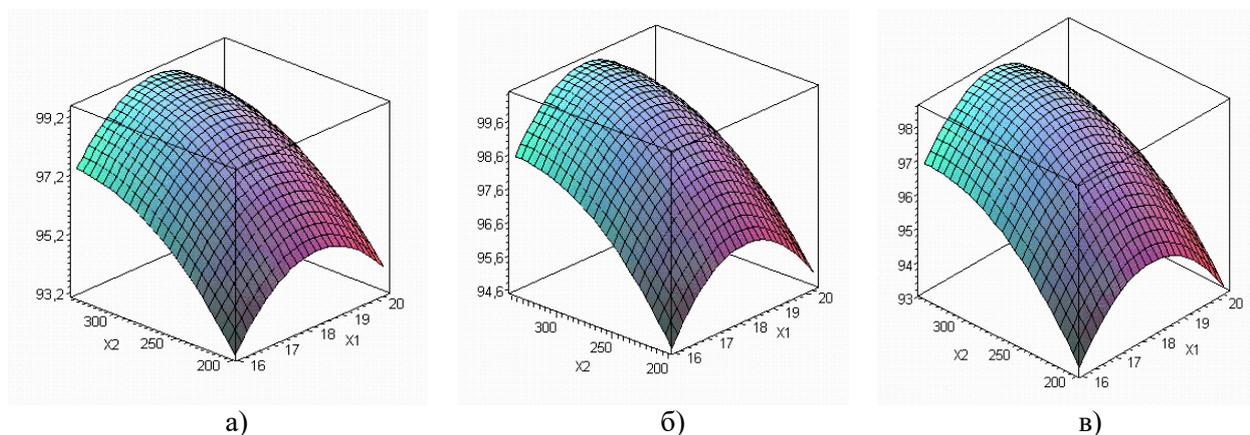


Рис. 5. Данная зависимость исследует влияние глубины обработки почвы и частоты вращения ротора катка на степень крошения почвы при постоянной нагрузке прикатывающего катка: а) $X_3=30$ Н, $X_1=16-20$ см, $X_2=200-340$ об/мин; б) $X_3=50$ Н, $X_1=16-20$ см; $X_2=200-340$ об/мин; в) $X_3=70$ Н, $X_1=16-20$ см; $X_2=200-340$ об/мин / Fig. 5. The dependence of the degree of soil crumbling on the depth of cultivation, the speed of rotation of the rotor at constant load of the rolling roller: а) $X_3=30$ N, $X_1=16-20$ cm, $X_2=200-340$ rpm; б) $X_3=50$ N, $X_1=16-20$ cm; $X_2=200-340$ rpm; в) $X_3=70$ N, $X_1=16-20$ cm; $X_2=200-340$ rpm

Заключение

Из результатов испытаний можно сделать вывод, что наиболее эффективной работой спирального катка является та, при которой глубина обработки X_1 равна 18 см, частота вращения ро-

тора катка X_2 составляет 340 об/мин, а нагрузка прикатывающего катка X_3 равна 50 Н. Именно при таких параметрах достигается максимальная степень крошения почвы.

1. Алёшкин А. В., Дёмшин С. Л., Владимиров Е. А. Обоснование конструктивно-технологической схемы комбинированного агрегата для обработки почвы и посева // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2009. № 1 (12). С. 143–148. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11792478> (accessed 20.04.2023).
2. Андержанова Н. Н. Обоснование конструкции и параметров малогабаритных почвообрабатывающих орудий к мотоблоку. Йошкар-Ола, 2022. 225 с.
3. Аргизанов А. В., Фаттахова О. В., Волков А. И Обеспеченность аграрного производства сельскохозяйственными машинами и агрегатами // *Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства*. 2020. № 22. С. 541–544. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tofago> (дата обращения: 24.04.2023).
4. Валиев А. Р., Яруллин Ф. Ф. Определение оптимальных параметров взаимного расположения конических рабочих органов на раме почвообрабатывающего орудия // *Вестник Казанского ГАУ*. 2012. № 3 (25). С. 68–73. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17993504> (дата обращения: 18.04.2023).
5. Валиев А. Р., Ибятов Р. И., Яруллин Ф. Ф. Обоснование параметров конического почвообрабатывающего рабочего органа путем решения многокритериальной задачи оптимизации // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. № 7. С. 69–72. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053588> (дата обращения: 08.04.2023).
6. Результаты экспериментальных исследований ротационного конического рабочего органа в почвенном канале / А. Р. Валиев, Ф. Ф. Яруллин, Р. И. Ибятов и др. // *Вестник Казанского ГАУ*. 2014. № 3 (33). С. 78–85. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22671392> (дата обращения: 22.04.2023).

7. Волков А. И., Артизанов А. В., Сивандаев М. В. Анализ конструктивных особенностей современных почвообрабатывающих агрегатов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2020. № 22. С. 548–551. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=aljzna> (дата обращения: 14.04.2023).

8. Кинематический анализ и обоснование параметров спирально-винтового рабочего органа почвообрабатывающей машины / Л. М. Нуриев, Ф. Ф. Яруллин, С. М. Яхин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 2 (58). С. 114–119. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-114-119>

9. Влияния воздействий прикатывающих катков на обобщенные силы малогабаритной почвообрабатывающей машины / Г. С. Юнусов, Н. Н. Андержанова, А. Р. Валиев и др. // Вестник Казанского гос. ун-та: ежеквартальный научный журнал. Казань : Казанский гос. ун-т, 2021. № 3 (63). С. 98–105. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-98-105>

10. Теоретические исследования катка для малогабаритной почвообрабатывающей машины / Г. С. Юнусов, Н. Н. Андержанова, А. В. Алешкин и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2021. № 2 (62). С. 80–85. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-80-85>

Статья поступила в редакцию 15.05.2023 г.; одобрена после рецензирования 08.06. 2023 г.; принята к публикации 21.06.2023 г.

Об авторах

Андержанова Нурия Нургалиевна

кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, Марийский государственный университет (424000, Российская Федерация, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3319-0758>, Nuri160616@bk.ru

Юнусов Губейдулла Сибятуллович

доктор технических наук, профессор, кафедра агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, Марийский государственный университет (424000, Российская Федерация, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2127-6439>, 270144@mail.ru

Майоров Андрей Валерьевич

кандидат технических наук, доцент, кафедра агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, Марийский государственный университет (424000, Российская Федерация, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9432-2291>, ao_maierov@mail.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

1. Aleshkin A. V., Demshin S. L., Vladimirov E. A. Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskoi skhemy kombinirovannogo agregata dlya obrabotki pochvy i poseva [Substantiation of the constructive and technological scheme of the combined unit for tillage and sowing]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East, 2009, no. 1 (12), pp. 143–148. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11792478> (accessed 20.04.2023). (In Russ.).

2. Anderzhanova N. N. Obosnovanie konstruktivnoy i parametrov malogabaritnykh pochvoobrabatyvayushchikh orudiy k motobloku [Substantiation of the design and parameters of small-sized tillage tools for a tillerblock]. *Yoshkar-Ola.*, 2022, 225 p. (In Russ.).

3. Artizanov A. V., Fattakhova O. V., Volkov A. I. Obespechennost' agrarnogo proizvodstva sel'skokhozyaystvennymi mashinami i agregatami [Provision of agricultural production with agricultural machines and unites]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaistva* = Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products, 2020, no. 22, pp. 541–544. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44611031> (accessed 24.04.2023). (In Russ.).

4. Valiev A. R., Yarulin F. F. Opredelenie optimal'nykh parametrov vzaimnogo raspolozheniya konicheskikh rabochikh organov na rame pochvoobrabatyvayushchego orudiya [Determination of optimal parameters of the mutual arrangement of conical working bodies on the frame of a tillage tool]. *Vestnik Kazanskogo GAU* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University, 2012, no. 3 (25), pp. 68–73. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17993504> (accessed 18.04.2023). (In Russ.).

5. Valiev A. R., Ibyatov R. I., Yarullin F. F. Obosnovanie parametrov konicheskogo pochvoobrabatyvayushchego rabochego organa putem resheniya mnogokriterial'noi zadachi optimizatsii [Justification of parameters of the conical soil-tilling working tool by the solution of the multi-objective problem of optimization]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex, 2017, no. 7, pp. 69–72. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053588> (accessed 08.04.2023). (In Russ.).

6. Valiev A. R., Yarullin F. F., Ibyatov R. I., Shiriyazdanov R. R. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy rotatsionnogo konicheskogo rabocheho organa v pochvennom kanale [The results of experimental research of rotational conical working unit in the soil canal]. *Vestnik Kazanskogo GAU* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University, 2014, no. 3 (33), pp. 78–85. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22671392> (accessed 22.04.2023). (In Russ.).

7. Volkov A. I., Artizanov A. V., Sivandaev M. V. Analiz konstruksionnykh osobennosti sovremennykh pochvoobrabatyvayushchikh agregatov [Analysis of structural features of modern tillage aggregates]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktov sel'skogo khozyaistva* = Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products, 2020, no. 22, pp. 548–551. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44611033> (accessed 14.04.2023). (In Russ.).

8. Nuriev L. M., Yarullin F. F., Yakhin S. M., Alikberov I. I., Khusainov R. M. Kinematicheskii analiz i obosnovanie parametrov spiral'no-vintovogo rabocheho organa pochvoobrabatyvayushchei mashiny [Kinematic analysis and substantiation of the parameters of a spiral-screw working unit of a soil processing machine]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University, 2020, vol. 15, no. 2 (58), pp. 114–119. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-114-119>

9. Yunusov G. S., Anderzhanova N. N., Valiev A. R., Aleshkin A. V. Vliyaniya vozdeistvii prikatyvayushchikh katkov na obobshchennye sily malogabaritnoi pochvoobrabatyvayushchei mashiny [Effects of impacts of covering rollers on general forces of small-sized tillage machine]. *Vestnik Kazanskogo GAU* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University, 2021, no. 3 (63), pp. 98–105. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-98-105>

10. Yunusov G. S., Anderzhanova N. N., Aleshkin A. V., Ziganshin B. G., Khaliullin D. T. Teoreticheskie issledovaniya katka dlya malogabaritnoi pochvoobrabatyvayushchei mashiny [Theoretical research roller for small tillage machine]. *Vestnik Kazanskogo GAU* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University, 2021, no. 2 (62), pp. 80–85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-80-85>

The article was submitted 15.05.2023; approved after reviewing 08.06.2023; accepted for publication 21.06.2023.

About the authors

Nuriya N. Anderzhanova

Ph. D. (Technical Sciences), Senior Lecturer, Department of Agroengineering and Technology of Production, Processing of Agricultural Products, Mari State University (1 Lenin Sq., Yoshkar-Ola 420000, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3319-0758>, Nuri160616@bk.ru

Gubeidulla S. Yunusov

Dr. Sci. (Technical Sciences), Professor, Department of Agroengineering and Technology of Production, Processing of Agricultural Products, Mari State University (1 Lenin Sq., Yoshkar-Ola 420000, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2127-6439>, 270144@mail.ru

Andrey V. Mayorov

Ph. D. (Technical Sciences), Associate Professor, Department of Agroengineering and Technology of Production, Processing of Agricultural Products, Mari State University (1 Lenin Sq., Yoshkar-Ola 420000, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9432-2291>, ao_maivorov@mail.ru

All authors have read and approved the final manuscript.