

УДК 631.319.2

DOI 10.30914/2411-9687-2023-9-3-255-263

ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ МАЛОГАБАРИТНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА С ПЛАНЧАТО-СПИРАЛЬНЫМ КАТКОМ

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

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

Аннотация. В данной работе была разработана конструкция комбинированного малогабаритного почвообрабатывающего агрегата с использованием планчато-спирального катка. Эта конструкция позволяет значительно повысить эффективность процесса обработки почвы и уменьшить затраты на обслуживание агрегата. **Введение.** Одним из основных элементов механизации полевых работ на малых сельскохозяйственных предприятиях являются мотоблоки. Важным аспектом при эксплуатации мотоблоков является соответствие параметров качества и сроков выполнения работ агротехническим требованиям. В связи с ограниченностью площади, на которой производятся работы, мотоблоки представляют собой наиболее оптимальный выбор для выполнения многих агротехнических операций. **Целью исследования** – установить эффективность обработки почвы предложенной конструкции, определить рациональные параметры и режимы работы комбинированного малогабаритного почвообрабатывающего агрегата с активным планчато-спиральным катком, который за один проход выполняет несколько операций – измельчает почву при обработке, выравнивает и уплотняет ее на необходимую глубину заделки семян и рассады овощных культур. **Материалы и методы исследований.** На основе экспериментальных данных была проведена статистическая обработка, результатом которой стала математическая зависимость между комковатостью поверхности почвы и основными независимыми факторами процесса обработки: глубины обработки, частоты вращения двигателя (прикатывающего катка, сегментной фрезы), а также нагрузки прикатывающего катка. На основании решения системы уравнений по методу Крамера построены трехмерные изображения поверхности отклика. Это позволяет определить оптимальные технологические режимы работы агрегата, что существенно повышает его эффективность и экономическую целесообразность. **Результаты исследований.** Программа экспериментальных исследований включала несколько этапов и состояла из предварительных однофакторных и полного трехфакторного 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.** На основании результатов экспериментальных испытаний можно сделать вывод, что наиболее эффективная работа планчато-спирального катка достигается при следующих параметрах обработки почвы: глубина обработки 18 см (X_1), частота вращения ротора катка 270 об/мин (X_2), нагрузка прикатывающего катка 50 Н (X_3). При данных параметрах наблюдается максимальная степень крошения почвы, что говорит о высокой эффективности процесса обработки почвы.

Ключевые слова: почва, обработка, комбинированный агрегат, зависимость, планчато-спиральный каток, степень крошения почвы

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Андержанова Н. Н., Юнусов Г. С., Майоров А. В. Параметры и режимы работы малогабаритного почвообрабатывающего агрегата с планчато-спиральным катком // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2023. Т. 9. № 3. С. 255–263. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-3-255-263>

PARAMETERS AND OPERATING MODES OF A SMALL-SIZED TILLAGE UNIT WITH A SLAT-SPIRAL ROLLER

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

Mari State University, Yoshkar-Ola, Russian Federation

Abstract. In this work, the design of a combined small-sized tillage unit using a slat-spiral roller was developed. This design makes it possible to significantly increase the efficiency of the tillage process and reduce the maintenance costs

of the unit. **Introduction.** One of the main elements of mechanization of field work at small agricultural enterprises is a tiller. An important aspect in the operation of tillers is the compliance of quality parameters and deadlines of work with agrotechnical requirements. Due to the limited area on which work is carried out, tillers are the most optimal choice for performing many agrotechnical operations. **The purpose of the study** is to evaluate the effectiveness of the proposed design, the main parameters and operating modes of a small-sized tillage unit with an active slat-spiral roller. **Materials and methods.** Based on experimental data, statistical processing was carried out, which resulted in a mathematical relationship between the lumpiness of the soil surface and the main independent factors of the processing process. This makes it possible to determine the optimal technological modes of operation of the unit, which significantly increases its efficiency and economic feasibility. **Research results.** The experimental research program included several stages and consisted of preliminary one-factor and full three-factor experiments. In the course of the combined tillage, the characteristic dependences of the indicators of soil clumpiness on the indicators of tillage depth, engine speed and load of the rolling roller were determined. Based on the data obtained, the mathematical dependence of the degree of soil crumbling on various factors was deduced. **Conclusion.** On the basis of the results of experimental tests, it can be concluded that the most effective operation of the slat-spiral roller is achieved with the following parameters of tillage: the depth of tillage is 18 cm (X1), the rotation speed of the roller rotor is 270 rpm (X2), the load of the rolling roller is 50 N (X3). With these parameters, the maximum degree of soil crumbling is observed, which indicates a high efficiency of the tillage process.

Keywords: soil, processing, combined aggregate, dependence, slat-spiral roller, degree of soil crumbling

The authors declare no conflict of interest.

For citation: *Anderzhanova N. N., Yunusov G. S., Mayorov A. V. Parameters and operating modes of a small-sized tillage unit with a slat-spiral roller. Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics", 2023, vol. 9, no. 3, pp. 255–263. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-3-255-263>*

Введение

Одним из основных элементов механизации полевых работ на малых сельскохозяйственных предприятиях являются мотоблоки. В связи с ограниченностью площади, на которой производятся работы, мотоблоки представляют собой наиболее оптимальный выбор для выполнения многих агротехнических операций. Важным аспектом при эксплуатации мотоблоков является соответствие параметров качества и сроков выполнения работ агротехническим требованиям. Для эффективного использования мотоблоков необходимо учитывать тесные условия работы и особенности каждого сельскохозяйственного участка. Правильно выбранный мотоблок, удобный и безопасный в использовании, а также обеспечивающий высокое качество выполнения работ, способен значительно повысить эффективность работы малых сельскохозяйственных предприятий.

Действительно, мотоблоки являются универсальными механизмами и широко применяются на различных объектах. Они могут быть использованы для выполнения множества задач и работ благодаря возможности установки на них разнообразных насадок и дополнительного оборудования. Кроме того, мотоблоки обладают компактностью,

маневренностью и экономичностью, что делает их особенно привлекательными для использования в ограниченных пространствах и условиях, например на малых сельскохозяйственных предприятиях или на приусадебных участках.

Комбинированные агрегаты являются перспективным направлением в развитии сельского хозяйства, так как они способны существенно увеличить производительность труда и сократить затраты на механизацию. Они также позволяют снизить негативное воздействие на почву и окружающую среду. Применение комбинированных агрегатов имеет большой потенциал для улучшения производительности сельскохозяйственного производства, сокращения затрат на механизацию и снижения негативного влияния на окружающую среду. Однако для широкого внедрения таких агрегатов необходимы дополнительные исследования, разработка и адаптация технологий и оборудования [7].

Для достижения **целей исследования** необходимо провести работу, направленные на определение наиболее эффективных приемов механического воздействия на почву, а также определение оптимальной конструкции и параметров комбини-

рованных почвообрабатывающих орудий. Для этого можно провести эксперименты на специальных испытательных участках, где будут сравниваться различные приемы и орудия по эффективности обработки почвы и снижению ее уплотнения. Также можно провести моделирование в компьютерных программах, что позволит быстрее определить оптимальную конструкцию и параметры орудий. Результаты исследований могут быть использованы для разработки новых комбинированных почвооб-

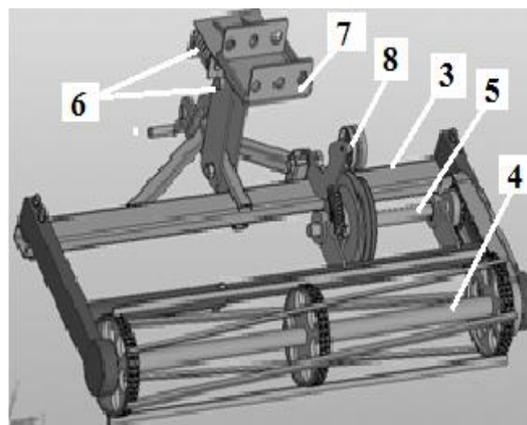
рабатывающих орудий к мотоблокам, что повысит эффективность сельскохозяйственных работ и сократит трудозатраты¹ [6; 7].

Материалы и методы исследования

В Марийском государственном университете была разработана конструкция комбинированного малогабаритного почвообрабатывающего агрегата с активным планчато-спиральным катком (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Активный планчато-спиральный каток: а – общий вид агрегата; б – конструктивная схема прикатывающего катка: 1 – сегментная фреза; 2 – мотоблок; 3 – рама катка; 4 – рабочий орган; 5 – привод катка; 6 – балансирующие пружины; 7 – прицепное устройство; 8 – натяжное устройство привода катка / Fig. 1. Active slat-spiral roller: a – general view of the unit; b – design scheme of the rolling roller: 1 – segment milling cutter; 2 – tiller; 3 – roller frame; 4 – working body; 5 – roller drive; 6 – balancing springs; 7 – trailer device; 8 – roller drive tensioner

Исследование конструкции комбинированного малогабаритного почвообрабатывающего агрегата с активным планчато-спиральным катком было проведено в Марийском государственном университете. Данный агрегат предназначен для прикатывания почвы и измельчения ее комков после воздействия фрезы мотоблока. Для того чтобы каток лучше копировал поверхность почвы, он связан с рамой мотоблока подпружиненными шарнирами в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Таким образом, разработанный в Марийском государственном университете комбинированный малогабаритный почвообрабатывающий агрегат с активным планчато-спиральным катком является эффективным инструментом для выполнения комплекса агротехнических операций в один проход. Он обеспечивает минимизацию уплотнения почвы, создает благоприятные условия для вегетации растений за счет лучшего ка-

чества ее обработки, сохранения почвенной влаги и снижения трудозатрат (рис. 2, а и б) [1; 5; 7].

Целью нашего исследования было определение оптимальных параметров работы комбинированного малогабаритного почвообрабатывающего агрегата с активным планчато-спиральным катком на дерново-подзолистых среднесуглинистых средней степени окультуренности почвах. Для этого были проведены экспериментальные исследования в Медведевском районе РМЭ и на агробиостанции Марийского государственного университета.

Полевой анализ факторов, влияющих на степень крошения почвы, показал, что глубина обработки, нагрузка на прикатывающий каток и частота вращения ротора катка оказывают наибольшее воздействие на этот показатель

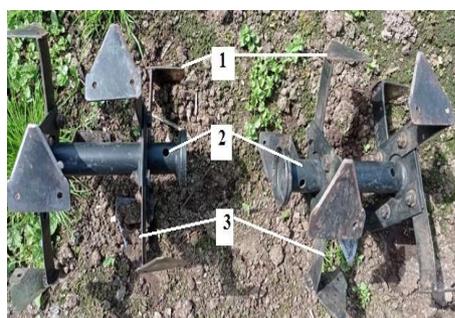
Результаты исследований

Для проведения исследования был выбран ортогональный центральный композиционный план трехфакторного эксперимента, который позволил получить адекватное уравнение для

¹ Маркеев, А. П. Теоретическая механика: учебник для университетов. Москва : ЧеРо, 1999. 572 с.

определения степени крошения почвы в зависимости от факторов. Уровни факторов и интервалы

варьирования были выбраны на основе предварительных исследований (см. табл. 1)¹ [5; 7].



а



б

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 – segmented, b – saber-shaped: 1 – milling cutter knives (segmental, saber-shaped); 2 – milling cutter axes; 3 – milling cutter rack

Таблица 1 / Table 1

Уровни факторов и интервалы варьирования / Factor levels and variation intervals

Обозначения / Designations	Название фактора, единица измерения / Factor name, 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

Действительно, как было указано ранее, результаты исследования показали, что наибольшее воздействие на степень крошения почвы оказывают глубина обработки, нагрузка на прикатывающий каток и частота вращения ротора катка. После реализации плана эксперимента и

обработки результатов получено уравнение регрессии, проверенное на адекватность по F_{0,95}-критерию Фишера (ф-ла 1).

Для изучения влияния факторов на критерий оптимизации Y использовали трехмерные поверхности отклика (рис. 3–5).

$$Y = -56,4192 + 12,4018X_1 + 0,2311X_2 + 0,3858X_3 - 0,0025X_1X_2 + 0,0043X_1X_3 + 0,0004X_2X_3 - 0,3248X_1^2 - 0,0004X_2^2 - 0,0055X_3^2 \quad (1)$$

При глубине обработки X₁=16 см,

$$Y = 58,8608 + 0,1911X_2 + 0,4546 X_3 + 0,0004 X_2X_3 - 0,0004 X_2^2 - 0,0055 X_3^2; \quad (2)$$

При глубине обработки X₁=18 см,

$$Y = 61,5780 + 0,1861 X_2 + 0,4632 X_3 + 0,0004 X_2X_3 - 0,0004 X_2^2 - 0,0055 X_3^2; \quad (3)$$

При глубине обработки X₁= 20 см,

$$Y = 61,6968 + 0,1811X_2 + 0,4718X_3 + 0,0004 X_2X_3 - 0,0004 X_2^2 - 0,0055 X_3^2. \quad (4)$$

Из анализа моделей регрессии (2–4) следует, что повышение нагрузки прикатывающего катка с 30 до 50 Н и частоты вращения ротора катка с 200 до 270 об/мин при фиксированной глубине обработки почвы улучшает степень ее крошения.

Однако при дальнейшем увеличении этих параметров, то есть нагрузки прикатывающего катка

¹ Никитин Н. Н. Курс теоретической механики: учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов. 5-е изд. Москва : Высшая школа, 1990. 607 с.

с 50 до 70 Н и частоты вращения ротора катка с 270 до 340 об/мин, наблюдается снижение степени комковатости при всех значениях глубины обработки почвы. Максимальное значение степени крошения почвы, равное 95,4 % при глубине обработки $X_1=16$ см (рис. 3, а), достигается при частоте вращения ротора катка $X_2=260$ об/мин и нагрузке прикатывающего катка $X_3=50$ Н. Аналогично, максимальное значение степени кроше-

ния почвы, равное 97,4 % при глубине обработки $X_1=18$ см (рис. 3б), достигается при частоте вращения ротора катка $X_2=260$ об/мин и нагрузке прикатывающего катка $X_3=50$ Н, а максимальное значение степени крошения почвы, равное 96,4 % при глубине обработки $X_1=20$ см (рис. 3в), достигается при частоте вращения ротора катка $X_2=250$ об/мин и нагрузке прикатывающего катка $X_3=52$ Н [4; 7; 9].

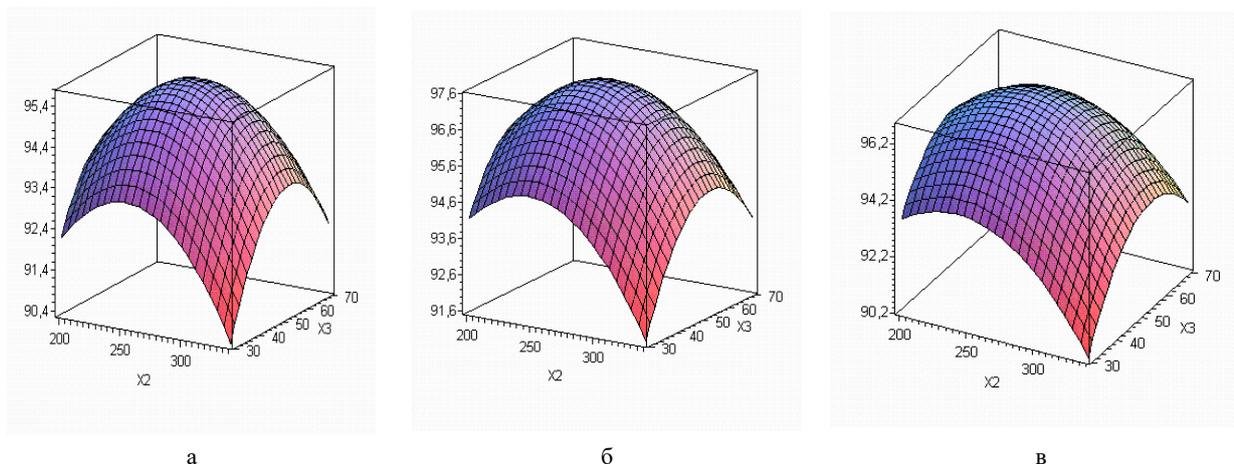


Рис. 3. Анализ влияния частоты вращения ротора и нагрузки на степень крошения почвы при постоянной глубине обработки показал следующую зависимость: а) $X_1=16$ см, $X_2=200-340$ об/мин; $X_3=30-70$ Н; б) $X_1=18$ см, $X_2=200-340$ об/мин; $X_3=30-70$ Н; в) $X_1=20$ см, $X_2=200-340$ об/мин; $X_3=30-70$ Н /
Fig. 3. Analysis of the influence of the rotor speed and load on the degree of soil crumbling at a constant depth of treatment showed the following dependence: 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

По результатам исследования можно заключить, что оптимальными параметрами обработки почвы при использовании планчато-спирального катка являются глубина обработки $X_1=18$ см, так как при этом достигается наибольшая степень крошения почвы (97,4 %). Математические моде-

ли регрессии (5–7) надежно описывают экспериментальные данные о зависимости степени крошения почвы от глубины обработки и нагрузки прикатывающего катка при постоянной частоте вращения ротора. При установленной частоте вращения ротора планчато-спирального катка

$$X_2 = 200 \text{ об/мин}, Y = -26,1992 + 11,9018X_1 + 0,4658X_3 + 0,0043X_1X_3 - 0,3248X_1^2 - 0,0055 X_3^2; \quad (5)$$

При $X_2 = 270$ об/мин,

$$Y = -23,1822 + 11,7268 X_1 + 0,4938 X_3 + 0,0043 X_1X_3 - 0,3248 X_1^2 - 0,0055 X_3^2; \quad (6)$$

При $X_2 = 340$ об/мин,

$$Y = -24,0852 + 11,5518X_1 + 0,5218X_3 + 0,0043 X_1X_3 - 0,3248 X_1^2 - 0,0055 X_3^2. \quad (7)$$

Из исследования моделей регрессии (5–7) следует, что увеличение нагрузки прикатывающего катка с 30 до 50 Н и глубины обработки почвы с 16 до 18 см при постоянной частоте вращения ротора катка приводит к повышению степени крошения почвы. Однако при дальнейшем увеличении этих параметров до 50–70 Н и 18–20 см соответственно, наблюдается снижение степени крошения при лю-

бых значениях частоты вращения ротора катка. Максимальное значение степени крошения почвы, равное 96,0 %, достигается при частоте вращения ротора катка $X_2=200$ об/мин (рис. 4а) при глубине обработки $X_1=18,6$ см и нагрузке прикатывающего катка $X_3=50$ Н.

При глубине обработки почвы $X_1=18,2$ см и различных значениях нагрузки прикатывающего

катка X_3 максимальные значения степени крошения почвы были достигнуты при частоте вращения ротора катка $X_2=270$ об/мин (рис. 4б). Для других значений частоты вращения ротора ($X_2=340$ об/мин, рис. 4в) максимальное значение степени крошения составляло 95,0 %. Эти результаты позволяют сделать вывод о том, что оптимальной частотой вращения ротора планча-

то-спирального катка является $X_2=270$ об/мин, так как при этом достигается наибольшая степень крошения почвы (97,4 %). Зависимость степени крошения почвы от глубины обработки и частоты вращения ротора катка при постоянной нагрузке прикатывающего катка достоверно описывается уравнениями регрессии (8–10) [3; 7; 8].

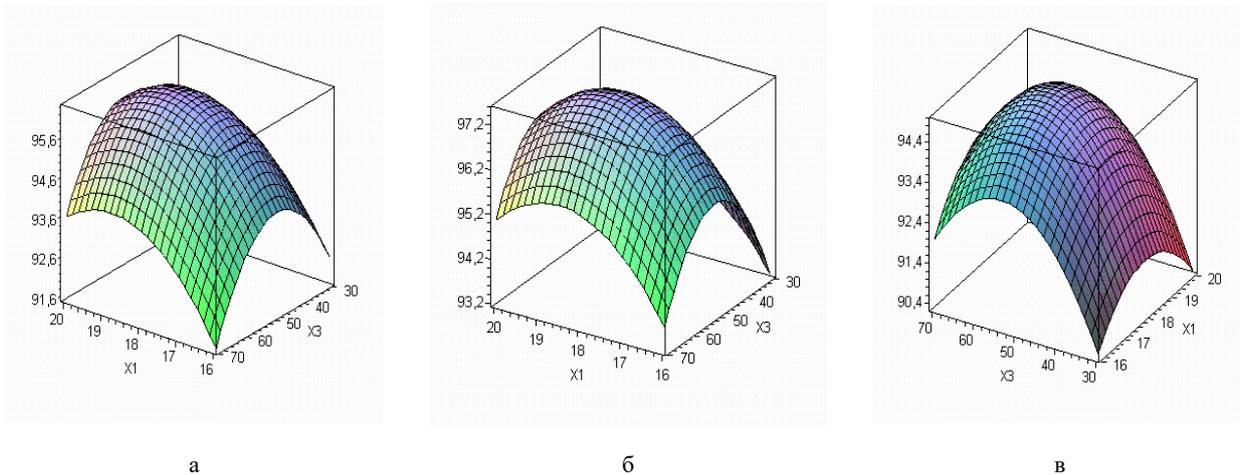


Рис. 4. Анализ показал, что степень крошения почвы зависит от глубины обработки и нагрузки прикатывающего катка при фиксированной частоте вращения ротора. Эту зависимость можно описать уравнениями регрессии, которые описывают экспериментальные значения степени крошения почвы при разных глубинах обработки и нагрузках прикатывающего катка 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. Dependence of the degree of soil crumpling 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

При прикатывании с использованием нагрузки катка $X_3=30$ Н,

$$Y = -49,7952 + 12,5308X_1 + 0,2431X_2 - 0,0025X_1X_2 - 0,3248X_1^2 - 0,0004X_2^2; \quad (8)$$

При $X_3 = 50$ Н,

$$Y = -50,8792 + 12,6168X_1 + 0,2511X_2 - 0,0025X_1X_2 - 0,3248X_1^2 - 0,0004X_2^2; \quad (9)$$

При $X_3 = 70$ Н,

$$Y = -56,3632 + 12,7028X_1 + 0,2591X_2 - 0,0025X_1X_2 - 0,3248X_1^2 - 0,0004X_2^2. \quad (10)$$

Путем анализа моделей регрессии (8–10) было установлено, что увеличение частоты вращения ротора катка от 200 до 270 об/мин и глубины обработки почвы от 16 до 18 см при неизменной нагрузке прикатывающего катка приводит к повышению степени крошения почвы [2; 7; 10].

При увеличении глубины обработки почвы с 18 до 20 см и частоты вращения ротора катка с 270 до 340 об/мин при постоянной нагрузке прикатывающего катка наблюдается уменьшение

степени крошения почвы. Однако максимальные значения степени крошения почвы достигаются при глубине обработки 18,4 см, частоте вращения ротора катка 250 об/мин и различных значениях нагрузки прикатывающего катка. В частности, максимальное значение степени крошения почвы равно 94,8 % при нагрузке прикатывающего катка 30 Н (рис. 5, а) и 97,4 % при нагрузке прикатывающего катка 50 Н (рис. 5б).

При использовании нагрузки прикатывающего катка $X_3=70$ Н (рис. 5в), максимальное значение

степени крошения почвы составляет 95,6 %, достигается при глубине обработки $X_1=18,4$ см и частоте вращения ротора катка $X_2=270$ об/мин. Следовательно, наиболее эффективным вариан-

том является использование нагрузки $X_3=50$ Н, так как в этом случае наблюдается максимальное значение степени крошения почвы (97,4 %) [1; 7].

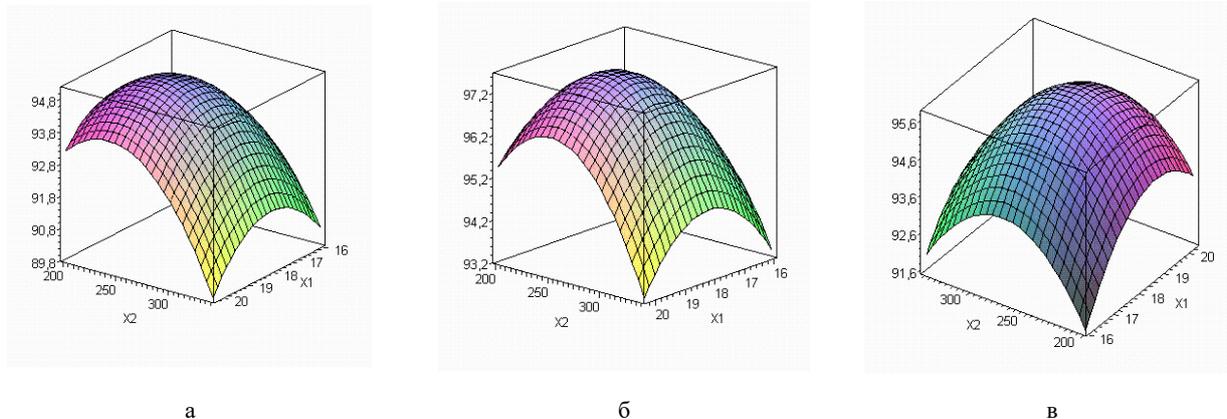


Рис. 5. График зависимости степени крошения почвы от глубины обработки и частоты вращения ротора катка при постоянной нагрузке прикатывающего катка показывает, как эти параметры влияют на процесс крошения почвы: а) $X_3=30$ Н, $X_1=16-20$ см; $X_2=200-340$ об/мин; б) $X_3=50$ Н, $X_1=16-20$ см; $X_2=200-340$ об/мин; в) $X_3=70$ Н, $X_1=16-20$ см; $X_2=200-340$ об/мин / Fig. 5. The graph of the dependence of the degree of soil crumbling on the depth of processing and the speed of rotation of the roller rotor at a constant load of the rolling roller shows how these parameters affect the process of soil crumbling: 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 проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что при глубине обработки почвы 18 см, частоте вращения ротора катка 270 об/мин и нагрузке прикатывающего катка 50 Н, планчато-спиральный каток работает

наиболее эффективно. Такие параметры обеспечивают максимальную степень крошения почвы, что позволяет соответствовать агротехническим требованиям при проведении посева и посадки сельскохозяйственных культур.

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> (дата обращения: 20.03.2023).

2. Андержанова Н. Н. Обоснование конструкции и параметров малогабаритных почвообрабатывающих орудий к мотоблоку. Йошкар-Ола, 2022. 225 с.

3. Артизанов 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: 29.03.2023).

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: 10.04.2023).

5. Валиев А. Р., Ибяттов 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. Ибяттов и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2014. № 3 (33). С. 78–85. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22671392> (дата обращения: 25.03.2023).

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: 27.03.2023).

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 19.07.2023 г.; одобрена после рецензирования 22.08. 2023 г.; принята к публикации 13.09.2023 г.

Об авторах

Андержанова Нурия Нургалиевна

студент, 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 Сибятулович

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_maiorov@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 20.03.2023). (In Russ.).

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

3. Artizanov A. V., Fattakhova O. V., Volkov A. I. Obespechennost' agrarnogo proizvodstva sel'skokhozyaistvennymi 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 29.03.2023). (In Russ.).

4. Valiev A. R., Yarullin F. F. Opredelenie optimal'nykh parametrov vzaimnogo raspolozheniya konicheskikh rabochikh organov na rame pochvoobrabatyvayushchego orudiya [Determination the optimal parameters of the conical working parts' relative position on the tillage frame]. *Vestnik Kazanskogo GAU = Vestnik of Kazan State Agrarian University*, 2012, no. 3 (25), pp. 68–73. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17993504> (accessed 10.04.2023). (In Russ.).

5. Valiev A. R., Ibyatov R. I., Yarullin F. F. Obosnovanie parametrov konicheskogo pochvoobrabatyvayushchego rabocheho 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 of 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 Kazan State Agrarian University*, 2014, no. 3 (33), pp. 78–85. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22671392> (accessed 25.03.2023). (In Russ.).

7. Volkov A. I., Artizanov A. V., Sivandaev M. V. Analiz konstruktsionnykh osobennostei sovremennykh pochvoobrabatyvayushchikh agregatov [Analysis of structural features of modern tillage aggregates]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktii 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 27.03.2023). (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 rabochego 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 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 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 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 19.07.2023; approved after reviewing 22.08.2023; accepted for publication 13.09.2023.

About the authors

Nuriya N. Anderzhanova

student, 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.