

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРУЖИННО-ВОЛНОВОГО КАТКА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Прошкин Вячеслав Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

Курдюмов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

Прошкин Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»

Богатский Роман Владимирович, студент 2 курса инженерного факультета
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, дом 1; тел.: 89279871088; e-mail: veproshkin1993@gmail.com

Ключевые слова: поверхностная обработка, почва, прикатывание, пружинно-волновой каток, усилие сжатия, плотность, урожайность, коэффициент соответствия эталону.

Поверхностная обработка почвы очень важна в сельском хозяйстве, поскольку благодаря ей повышаются количество и качество урожая. Одним из видов поверхностной обработки почвы является прикатывание. Оно осуществляется для улучшения контакта семян с почвой, а также для создания оптимальной пористости почвы, при которой поры содержат необходимое количество воды и воздуха для хорошего развития растения. Нами предложена принципиально новая конструкция пружинно-волнового катка, способного обеспечить прикатывание почвы с соблюдением агротехнических требований. В результате выполненных полевых исследований пружинно-волнового катка получены математические модели процесса прикатывания и соответствующие поверхности отклика. При этом качество прикатывания почвы оценено с позиции соответствия оптимальным значениям ее плотности. Выявлено, что максимальное значение коэффициента соответствия эталону по плотности $k_{пл} = 0,91$ достигается при скорости движения пружинно-волнового катка $v = 11$ км/ч и суммарном усилии, создаваемом пружинами, $C = 1750$ Н. При этом зона оптимума занимает более 38,5 % площади двумерного сечения поверхности отклика, что говорит о качественной работе катка в достаточно широком диапазоне изменения его режимов работы. Для обеспечения базы для сравнения на экспериментальном участке также выполнили прикатывание почвы серийным кольчато-зубчатым катком ККЗ-6 с отбором проб почвы по аналогичной методике. После обработки экспериментальных данных выявлено, что коэффициент соответствия эталону $k_{пл}$ на участке поля, прикатанным кольчато-зубчатым катком, составил 0,72. Дополнительно выявлено значительно большее значение дисперсии полученных результатов, что свидетельствует о наличии как переуплотненных, так и недоуплотнённых участков поля. Проведенная оценка качества прикатывания с помощью коэффициента соответствия эталону по плотности показала на 26,4 % лучший результат, достигаемый пружинно-волновым катком по сравнению с серийным кольчато-зубчатым катком.

Работа выполняется в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-5360.2022.4

Введение

Прикатывание после посева используют повсеместно на территории нашей страны. Проведенный анализ известных технологий поверхностной обработки почвы показал, что один из видов такой обработки почвы, а именно, прикатывание играет большую роль в прорастании семян и последующем развитии сельскохозяйственных культур за счет улучшения контакта почвы с семенами. Анализ показал, что всхожесть семян культурных растений с применением прикатывания увеличивается на 5...15 %, а если сравнивать с посевом по стерне, то данный показатель может превысить 30 % [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Нами выполнен анализ агрегатов для при-

катывания почвы, а также выявлены их основные особенности конструкции, которые оказывают наибольшее влияние на качество прикатывания почвы. В результате выявлено, что для обеспечения качества прикатывания почвы, которое гарантированно будет соответствовать основным агротехническим требованиям, катки часто оснащают такими дополнительными элементами, как молотки, шипы, дебалансы и т.д.

Основной показатель качества прикатывания почвы – это плотность. Но даже при обеспечении оптимальной плотности необходимо создать рыхлый верхний слой почвы и уплотнить ее нижний слой (подсеменное ложе). В результате снижаются потери влаги и ветровая эрозия,

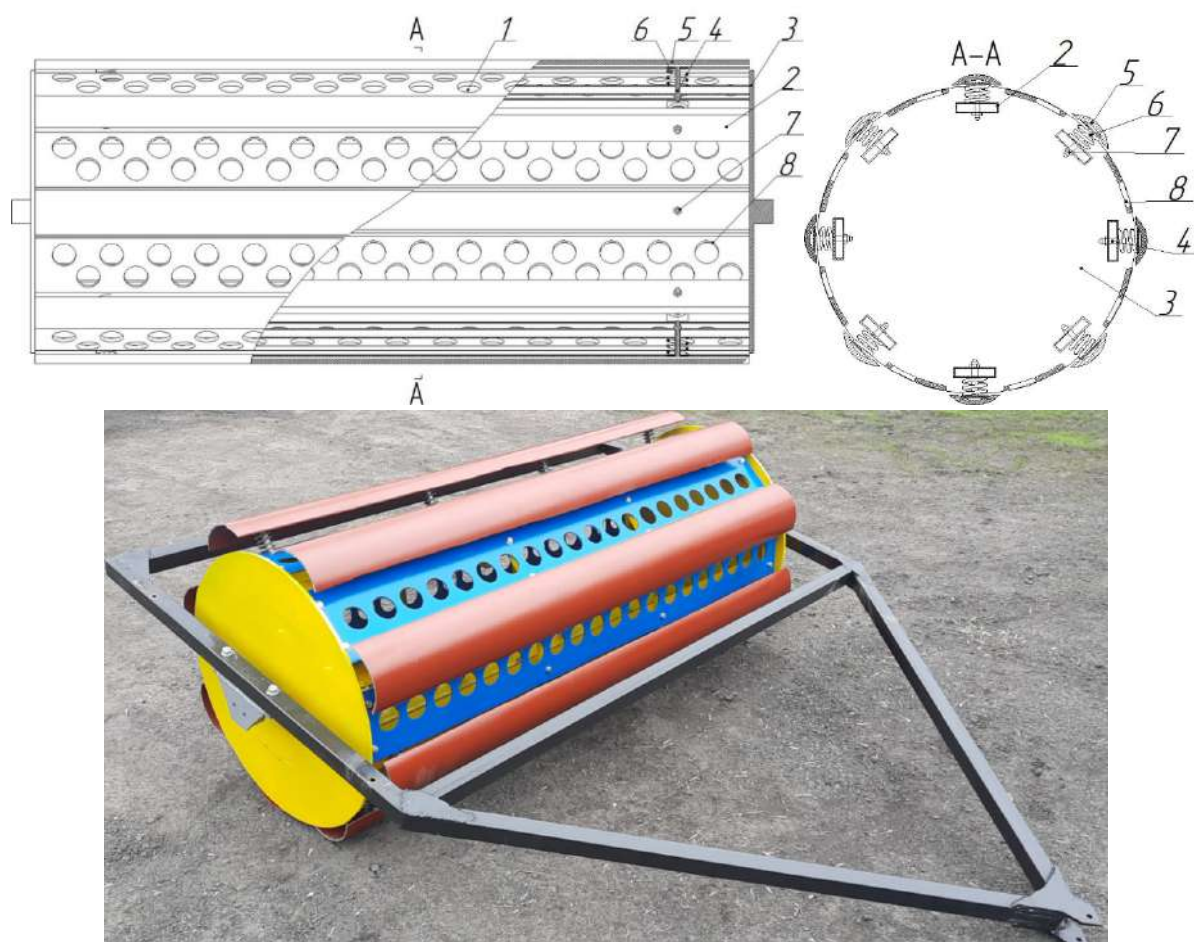


Рис. 1 – Пружинно-волновой каток: 1 - пластины образующей цилиндра; 2 - ребра; 3 - вертикальные диски; 4 - шпильки; 5 - уплотнители; 6 – пружины сжатия; 7 - самоконтрящиеся гайки; 8 - отверстия

улучшается прогрев почвы [7, 8, 9, 10, 11]. Прикатывание способствует улучшению контакта высеянных семян с почвой, что оказывает положительный эффект на последующий рост и развитие растений. На весеннее развитие озимых культур также положительно влияет образование в период их посева разноуровневого рельефа поверхности почвы. Такой рельеф позволяет обеспечить разницу в прогревании и освещенности растений с разных боковых частей выступов и впадин, что увеличивает различие в развитии растений в период осенней подготовки к зиме. Это способствует их выживанию растений в зимний период, а также ускорению их роста и развития в последующий теплый период года [12, 13, 14, 15, 16, 17]. Однако не все выпускаемые серийно промышленностью катки способны обеспечить выполнение указанных выше требований. Следовательно, разработка катка, который обеспечит выполнение агротехнических требований с образованием на поверхности поля волнового рельефа, является актуальной и важной задачей.

Материалы и методы исследований

Нами предложен новый пружинно-волновой каток (рис. 1), главное конструктивное отличие которого заключается в наличии подпружиненных уплотняющих элементов, установленных параллельно образующей катка. Благодаря суммарному усилию, создаваемого пружинами, установленными на одном уплотнителе, в зоне контакта уплотнителя с почвой создается переменная по величине плавно увеличивающаяся сила, за счет которой поверхность почвы уплотняется до требуемого агротехнического интервала с формированием на ней волнового рельефа.

Для определения основных конструктивных параметров предлагаемого катка мы выполнили подбор пружин соответствующей жесткости. Для этого были проведены исследования усилия, создаваемого конкретной пружиной сжатия с помощью прибора «МИП–100–2», а затем полученные значения сравнивали с характеристиками предварительно спроектированной в программе «КОМПАС 3D» аналогичной

пружины. В процессе исследования на приборе «МИП–100–2» (рис. 2) были получены данные, которые были занесены в таблицу 1.



Рис. 2 – Исследование пружины сжатия

Таблица 1
Усилие сжатия пружины в зависимости от ее деформации

Деформация пружины Δl, мм	Усилие сжатия С, Н
0	0
25	252
50	842

Поскольку на каждом уплотнителе установлено по 4 пружины сжатия, следовательно, усилия сжатия составят соответственно 0, 1008 Н, 3368 Н.

Также с помощью программы «КОМПАС 3D» были определены основные физические характеристики выбранной пружины сжатия (рис. 3). Усилие сжатия пружины в данной программе обозначено как «Сила пружины при рабочей деформации».

Проверочный расчет по геометрическим параметрам пружины сжатия ГОСТ 13765-86	
Наименование параметра	Значение
Материал пружины по ГОСТ: Проволока 60С2А-Н-2-ХН4 ГОСТ 14963-78	
Класс пружины	— 3
Разряд пружины	— 2
Относительный инерционный зазор	δ 0,39
Наружный диаметр пружины, мм	D1 36
Диаметр проволоки, мм	d 4
Число рабочих витков	n 9
Полное число витков	n1 10,5
Число поджатых витков с одной стороны	n2 0,75
Число обработанных витков с одной стороны	n3 0,75
Сила пружины при предварительной деформации, Н	F1 -
Сила пружины при рабочей деформации, Н	F2 273
Сила пружины при максимальной деформации, Н	F3 451

Рис. 3 – Физические характеристики пружины

Разница в полученных значениях (F2 – С = 273 – 252 = 21 Н) в ходе исследования разными способами объясняется усталостью материала пружины. Однако разница в результатах не превышает 10 %, что вполне допустимо для выбранной методики исследований.

Результаты исследования

Данные, собранные в ходе эксперимента, были занесены в таблицу программы STATISTICA 10. Эта программа является универсальной интегрированной системой, предназначенной для статистического анализа и визуализации данных, управления базами данных и разработки пользовательских приложений и содержит широкий набор процедур анализа для применения в научных исследованиях.

Для интерпретации полученных результатов исследования была применена система кодирования факторов, которая позволила выполнить качественный анализ полученных уравнений регрессии и определить значимость каждого параметра этих уравнений [18, 19. 20].

Таблица 2
Варьирование конструктивно-режимных параметров в натуральных и кодированных значениях

Параметры	Значения параметров:		
	натуральные / кодированные		
Скорость движения пружинно-волнового катка, км/ч	7 / -1	12 / 0	15 / +1
Усилие сжатия пружин, установленных на уплотнителях, Н	0 / -1	1008 / -0,599	3368 / +1

В качестве критерия, оценивающего качество формирования уплотненного посевного слоя почвы почвообрабатывающими катками, был принят коэффициент соответствия эталону по плотности кпл, который характеризует качество прикатывания почвы с позиции соответствия плотности почвы эталонным значениям, установленными агротехническими требованиями:

$$k_{nl} = 1 - \frac{|\rho_{om} - \rho_z|}{\rho_{om}}, \quad (1)$$

где ρ_{om} – плотность почвы на глубине заделки семян в соответствии с агротребованиями к возделыванию конкретной культуры, кг/м³; ρ_z – экспериментально полученные значения плотности почвы, кг/м³.

После обработки данных были получены адекватные уравнения регрессии в натуральных

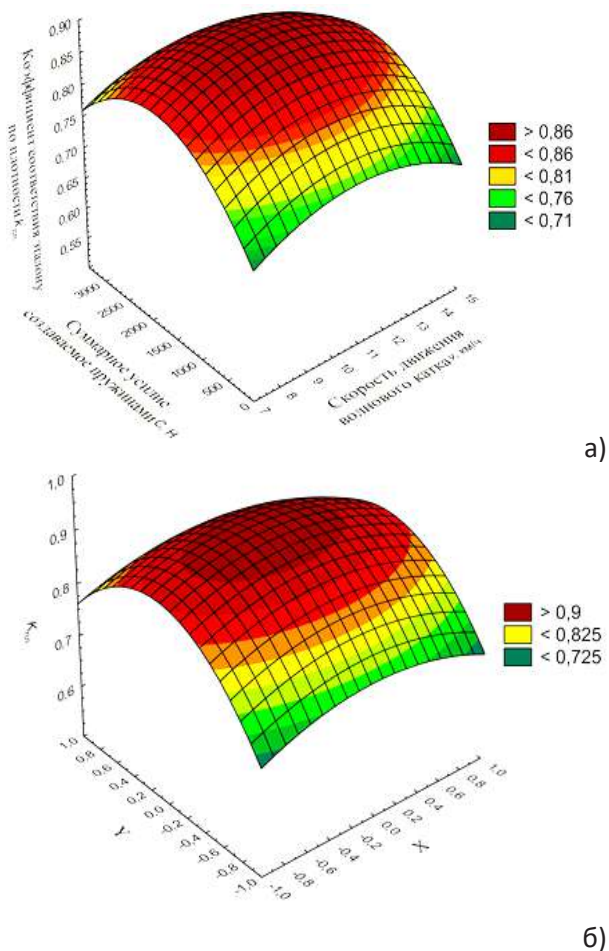


Рис. 4 –3D-модели процесса прикатывания почвы пружинно-волновым катком в натуральных а) и кодированных б) значениях параметров

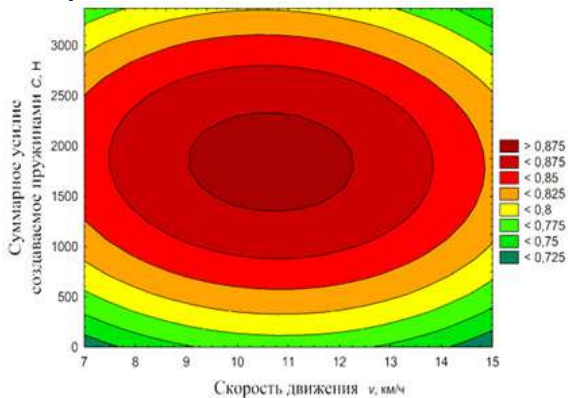


Рис. 5 - 2D-модель процесса прикатывания почвы пружинно-волновым катком в натуральных значениях параметров

(1) и кодированных (2) значениях конструктивно-режимных параметров пружинно-волнового катка. Благодаря этим уравнениям можно выявить параметр, оказывающий большее влияние на коэффициент соответствия эталону:

$$k_{nl} = 0,3614 + 0,073v + 0,0001C - 0,0033v^2 -$$

$$-9,3825 \cdot 10^{-7}vC - 3,6647 \cdot 10^{-8}C^2; \quad (2)$$

$$K = 0,9206 - 0,0093X + 0,0187Y - 0,0535X^2 - 0,008XY - 0,1418Y^2, \quad (3)$$

где k_{nl} и K - коэффициенты соответствия эталону, выраженные соответственно в натуральных и кодированных значениях параметров: v , км/ч и X - скорость движения пружинно-волнового катка соответственно в натуральных и кодированных значениях; C , Н, и Y - суммарное усилие, создаваемое пружинами, в натуральных и кодированных значениях соответственно.

В результате анализа полученных уравнений регрессии можно сделать вывод, что более значимым параметром является суммарное усилие, создаваемое пружинами, а скорость движения оказывает примерно в два раза меньшее влияние на критерий оптимизации.

Для обеспечения наглядной картины влияния суммарного усилия сжатия пружин и скорости движения катка на коэффициент соответствия эталону нами были построены 2D и 3D графики (рис. 4 и 5).

Анализ 3D и 2D моделей процесса показал, что при скорости движения пружинно-волнового катка 9...12,5 км/ч и усилия сжатия пружин 1250...2250 Н коэффициент соответствия эталону наиболее близок к единице, что указывает на достижение максимально возможного качества прикатывания при использовании разработанной конструкции катка.

Обсуждение

Для сравнения полученных при исследовании предлагаемого пружинно-волнового катка данных на экспериментальном участке одновременно выполнили прикатывание почвы серийным кольчато-зубчатым катком с отбором проб почвы по аналогичной методике. Благодаря проведенным исследованиям доказана большая эффективность работы пружинно-волнового катка, так как плотность почвы находилась в интервале агротехнических требований ($k_{nl} = 0,91$). После обработки экспериментальных данных выявлено, что коэффициент соответствия эталону k_{nl} на участке поля, прикатанного кольчато-зубчатым катком, не превысил 0,72. Вследствие этого урожайность ячменя на участках поля, обработанных пружинно-волновым катком, увеличилась на 12,4 % (до 47,2 ц/га) по сравнению с участками поля, прикатанными катком ККЗ-6 [20].

Заключение

Вследствие проделанной работы было выявлено, что максимальное значение коэффициента соответствия эталону по плотности $k_{пл}$ при использовании предлагаемого катка составляет 0,91. Такой $k_{пл}$ достигается при скорости движения пружинно-волнового катка $v = 11$ км/ч и суммарном усилии, создаваемым пружинами, $C = 1750$ Н. При этом зона оптимума занимает более 38,5 % двухмерной проекции сечения поверхности отклика, что говорит о качественной работе катка в достаточно широком диапазоне изменения режимов его работы.

Анализ качества прикатывания почвы пружинно-волнового катка показал его высокую эффективность, поскольку коэффициент соответствия эталону по плотности выше на 26,4 % по сравнению с серийным кольчато-зубчатым катком.

Библиографический список

1. Зеленин, А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. – Москва : Машиностроение, 1968. - 367 с.
2. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины : учебник для вузов / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. – Москва : Колос, 1994. - 751 с. – ISBN 5-10-001744-9 (В пер.).
3. Влияние конструкции шпоры катка для сплошного прикатывания на рыхление и уплотнение почвы / Д. Н. Раднаев, Ю. А. Сергеев, А. А. Абидуев, С. С. Калашников // Дальневосточный аграрный вестник. - 2022. - Т. 16, № 4. - С. 114-121.
4. Обоснование рациональных параметров прикатывающего катка комбинированного сошника при посеве зерновых культур / Д. Н. Раднаев, С. С. Калашников, Д. Ц. Б. Бадмацыренов, Б. Е. Дамбаева // Дальневосточный аграрный вестник. - 2022. - № 2(62). - С. 158-167.
5. Конструкция сошника с заделывающим устройством борозды для зерновой сеялки / Н. П. Ларюшин, С. В. Бричков, А. В. Шуков, Т. А. Кирюхина // Нива Поволжья.- 2021.- №1 (58). С. 127-131.
6. Машков, С.В. Повышение энергоэффективности обработки почвы тягово-приводным почвообрабатывающим орудием / С. В. Машков, М. А. Петров, В. А. Шахов, П. А. Ишкин // Известия самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2021.- № 4. - С.37-47
7. Широкозахватные винтовые катки для прикатывания посевов // АгроСнабФорум. - 2015. - № 1-2(131). - С. 40.
8. Кузьминых, А. Н. Система предпосевной обработки почвы и урожайность ярового ячменя / А. Н. Кузьминых // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. - 2020. - Т. 6, № 1(21). - С. 32-39.
9. Петроченко, Н. О. Сохрани почвенную влагу сегодня - получи богатый урожай завтра! / Н. О. Петроченко // Наше сельское хозяйство. - 2023. - № 5(301). - С. 4-14.
10. Кузьминых, А. Н. Влияние способов предпосевной обработки почвы на засоренность посевов и урожайность ярового ячменя / А. Н. Кузьминых, Г. И. Пашкова // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. - 2019. - № 21. - С. 34-37.
11. Синеоков, Г. Н. Проектирование почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков. – Москва : Машиностроение, 1965. - 312 с.
12. Определение металлоемкости орудий при их проектировании / Р. С. Рахимов, И. Р. Рахимов, Ф. Ф. Касымов, А. С. Невзоров, Г. В. Ружьева // АПК России. - 2015. - Т. 74. - С. 110-117.
13. Ефимов, А. Г. Механические приёмы ухода за посевами / А. Г. Ефимов, В. Г. Калюжный // Соя: биология и технология возделывания / под редакцией В. Ф. Баранова, В. М. Лукомца. – Краснодар, 2005. – С. 246–251.
14. Применение комбинированного сельскохозяйственного агрегата на щелевании и прикатывании в условиях Амурской области / Р. О. Сурин, М. С. Соколов, С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов // Journal of Advanced Research in Technical Science. - 2023. - № 35. - P. 88-92.
15. Патент № 2752988 Российская Федерация, МПК А01В 29/04. Почвообрабатывающий каток : № 2020137977 : заявл. 18.11.2020 : опубл. 11.08.2021 / Курдюмов В. И., Прошкин В. Е., Прошкин Е. Н., Диков В. В. ; патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. – Бюл. № 23.
16. Использование мульчирующих катков в конструкции комбинированных почвообрабатывающих агрегатов / С. И. Камбулов, Г. Г. Пархоменко, Ю. А. Семенихина, И. В. Божко // Таврический вестник аграрной науки. - 2020. - № 3(23). - С. 113-121.
17. Петровец, В. Р. Влияние прикатывающих катков сошников на плотность почвы семенного ложа / В. Р. Петровец, В. А. Гайдуков // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. - 2022. - № 1(21). - С. 5-9.
18. Шишлов, С. А. Предпосевная подготовка почвы под сою виброкатком в условиях Приморского края / С. А. Шишлов, А. Н. Шишлов, М. С. Шапарь // Аграрный вестник Приморья. - 2017. - № 3(7). - С. 57-59.

19. Analysis of the structural composition of the soil during field studies of a soil-cultivating vibratory roller / V. I. Kurdyumov, V. E. Proshkin, E. S. Zykin, E. N. Proshkin, I. A. Sharonov // Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science : IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. II International scientific and practical conference. - 2022. - P. 012106.

20. К определению силы воздействия вибротракта на почву / В. И. Курдюмов, В. Е. Прошкин, Е. Н. Прошкин, В. В. Диков // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2022. - № 2(58). - С. 13-17.

21. Field studies of the wave roller / V. I. Kurdyumov, V. E. Proshkin, V. V. Kurushin, E. N. Proshkin, R. V. Bogatsky // II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023). - 2023. - P. 02030.

RESEARCH OF THE SPRING-WAVE ROLLER IN FIELD CONDITIONS

Proshkin V. E., Kurdyumov V. I., Proshkin E. N., Bogatskiy R. V.

**Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ulyanovsk State Agrarian University
432017, Ulyanovsk, Novyi Venets boulevard, building 1; tel.: 89279871088; e-mail: veproshkin1993@gmail.com.**

Keywords: surface tillage, soil, rolling, spring-wave roller, compression force, density, yield, coefficient of compliance with the standard.

Surface tillage is very important in agriculture because it increases the quantity and quality of the crop. One of the types of surface tillage is rolling. It is carried out to improve the contact of seeds with the soil, as well as to create appropriate soil porosity, when the pores contain the necessary amount of water and air for good plant development. We have proposed a fundamentally new design of a spring-wave roller, capable of ensuring soil compaction in compliance with agrotechnical requirements. As a result of field studies of a spring-wave roller, mathematical models of the rolling process and the corresponding response surfaces were obtained. In this respect, the quality of soil compaction was assessed from the standpoint of compliance with the appropriate values of its density. It was revealed that the maximum value of the coefficient of compliance with the standard in terms of density $k_{\text{dens}} = 0.91$ is achieved at the speed of movement of the spring-wave roller of $v = 11$ km/h and the total force created by the springs $C = 1750$ N. Concurrently, the optimum zone occupies more than 38.5% of the area of the two-dimensional section of the response surface, which indicates a high-quality operation of the roller in a sufficiently wide range of changes in its operation modes. To provide a basis for comparison in the experimental area, the soil was also rolled with a serial ring-toothed roller KKZ-6 with soil sampling of a similar method. After processing the experimental data, it was found that the coefficient of compliance with the standard k_{dens} was 0.72 in the field section rolled with a ring-toothed roller. Additionally, a significantly greater value of dispersion of the obtained results was revealed, which indicates the presence of both overcompacted and undercompacted sections of the field. The rolling quality assessment using the coefficient of compliance with the density standard showed a 26.4% better result achieved by a spring-wave roller compared to a serial ring-toothed roller.

Bibliography:

1. Zelenin, A.N. Fundamentals of soil destruction by mechanical methods / A.N. Zelenin - M.: Mashinostroenie, 1968. - 367 p.
2. Klenin, N.I. Agricultural and reclamation machines / N.I. Klenin, V.A. Sakun. - M.: Kolos. 1994. - 751 p.
3. Influence of the design of the roller heel for continuous rolling on soil loosening and compaction / D.N. Radnaev, Yu.A. Sergeev, A.A. Abiduev, S.S. Kalashnikov // Far Eastern Agrarian Vestnik. 2022. - V. 16. - № 4. P. 114-121.
4. Substantiation of rational parameters of the combined coulter packer when sowing grain crops / D.N. Radnaev, S.S. Kalashnikov, D.Ts.B. Badmatsyrenov, B.E. Dambaeva // Far Eastern Agrarian Vestnik. - 2022. - № 2 (62). - P. 158-167.
5. Improving energy efficiency of soil treatment using traction driven tillage implement / S. V. Mashkov, M. A. Petrov, V. A. Shakhov, P. A. Ishkin // Bulletin Samara State Agricultural Academy. - 2021. - № 4. - P. 37-47. doi: 10.12737/46335.
6. Design of the seeding unit of a grain seeder with inclined ribs and grooves and sectional roller groove dividers / N.P. Laryushin, A.Yu. Vershigov, A. V. Shukov, T.A. Kiryukhina // Volga Region Farmland. - 2021. - № 1 (58). - P. 127-131. doi 10.36461/NP.2021.58.1.017
7. Wide-cut screw rollers for rolling of crops // AgroSnabForum. 2015. № 1-2 (131). P. 40.
8. Kuzminykh, A.N. The system of pre-sowing tillage and productivity of spring barley / A.N. Kuzminykh // Vestnik of the Mari State University. Series: Agricultural sciences. Economic sciences. - 2020. - V. 6. - № 1 (21). - P. 32-39.
9. Petrochenko, N.O. Save soil moisture today - get a rich harvest tomorrow! / N.O. Petrochenko // Our agriculture. - 2023. - № 5 (301). - P. 4-14.
10. Kuzminykh, A.N. Influence of methods of pre-sowing tillage on weediness of crops and yield of spring barley / A.N. Kuzminykh, G.I. Pashkova // Current issues of improvement of the technology of production and processing of agricultural products. 2019. - № 21. - P. 34-37.
11. Sineokov, G.N. Design of tillage machines. - M.: Mashinostroenie, 1965. - 312 p.
12. Specification of metal consumption of tools during their design / R.S. Rakhimov, I.R. Rakhimov, F.F. Kasymov, A.S. Nevzorov, G.V. Ruzhieva // AIC of Russia. 2015. - V. 74. - P. 110-117.
13. Efimov, A.G. Mechanical methods of crop care / A.G. Efimov, V.G. Kalyuzhnyi // Soy bean: biology and technology of cultivation; ed. by V.F. Baranova and V.M. Lukomets - Krasnodar, 2005. - 434 p. - P. 246-251.
14. Usage of a combined agricultural machine for slotting and rolling in the conditions of the Amur Region / R.O. Surin, M.S. Sokolov, S.V. Shchitov, E.E. Kuznetsov // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2023. - № 35. - P. 88-92.
15. Patent № 2752988 Russian Federation, IPC A01B 29/04. Soil-cultivating roller / V.I. Kurdyumov, V.E. Proshkin, E.N. Proshkin, V.V. Dikov; Patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. - № 2020137977; appl. 18.11.2020; publ. 11.08.2021, Bull. № 23.
16. Usage of mulching rollers in design of combined tillage units / S.I. Kambulov, G.G. Parkhomenko, Yu.A. Semenikhina, I.V. Bozhko // Tauride Vestnik of Agrarian Science. 2020. № 3 (23). P. 113-121.
17. Petrovets, V.R. Influence of coulter rollers on soil density of the seed bed / V.R. Petrovets, V.A. Gaidukov // Design, usage and reliability of agricultural machines. - 2022. - № 1 (21). - P. 5-9.
18. Shishlov, S.A. Pre-sowing soil preparation for soybean with a vibrating roller in the conditions of the Primorsky Krai / S.A. Shishlov, A.N. Shishlov, M.S. Shapar // Agrarian Vestnik of Primorye. - 2017. - № 3 (7). - P. 57-59.
19. Analysis of the structural composition of the soil during field studies of a soil-cultivating vibratory roller / V.I. Kurdyumov, V.E. Proshkin, E.S. Zykin, E.N. Proshkin, I.A. Sharonov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. II International scientific and practical conference "Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science". - 2022. - P. 012106.
20. To specification of the force of impact of the vibratory roller on the soil / V.I. Kurdyumov, V.E. Proshkin, E.N. Proshkin, V.V. Dikov // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2022. - № 2 - (58). - P. 13-17.
21. Field studies of the wave roller / V.I. Kurdyumov, V.E. Proshkin, V.V. Kurushin, E.N. Proshkin, R.V. Bogatsky // II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023), 2023. P. 02030.