УДК 631.314.1

DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-32-12-17

**В. И. Курдюмов, Е. Н. Прошкин, И. А. Шаронов, С. А. Сутягин,
В. Е. Прошкин**Kurdyumov V. I., Proshkin E. N., Sharonov I. A., Sutyagin S. A.,
Proshkin V. E.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО КАТКА

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF TILLAGE RINK

Разработан почвообрабатывающий каток, обеспечивающий прикатывание почвы при полном соблюдении агротехнических требований. Выполнено теоретическое обоснование параметров почвообрабатывающего катка, которое позволило получить уравнение взаимодействия внутреннего цилиндра с комком почвы. По полученным данным экспериментальных исследований было определено, что максимальное значение критерия оптимизации $k_{cs} = 0,79$ достигается при скорости агрегата $v = 10,4$ км/ч, расстоянии между поверхностью прутков и поверхностью гладкого цилиндра $l = 9,16$ мм, а также массе балласта во внутреннем цилиндре $m = 14$ кг. Производственные исследования предлагаемого катка показали, что послепосевное прикатывание посевов озимой пшеницы, яровой пшеницы и ячменя предложенным почвообрабатывающим катком увеличивает урожайность этих культур соответственно на 10,9; 3,9 и 9 % (на 5,17; 1,73 и 4,17 ц/га) по сравнению с урожайностью этих же культур после посевного прикатывания кольчато-шпоровым катком. Годовой экономический эффект, определенный по результатам исследования предложенного катка в производственных условиях, составил 880474, 243774 и 418574 руб. соответственно при прикатывании озимой пшеницы, яровой пшеницы и ячменя на площадях по 200 га. При этом срок окупаемости затраченных средств при возделывании указанных выше сельскохозяйственных культур с использованием разработанного принципиально нового катка для прикатывания и уплотнения почвенного слоя соответственно составил 0,06; 0,22 и 0,13 года.

Ключевые слова: каток, внутренний цилиндр, поверхностная обработка, прикатывание, плотность почвы, структурный состав, посев.

Developed tillage rink, providing consolidation of the soil in full compliance with agrotechnical requirements. The theoretical substantiation of the parameters of the soil-cultivating roller, which allowed to obtain the equation of the interaction of the inner cylinder with the soil lump. According to the findings of experimental studies, it was determined that the maximum value of the optimization criterion of the $CSP = 0.79$, which is achieved by the aggregate speed $v = 10.4$ km/h, the distance between the surface of bars and the surface of the smooth cylinder $l = 9.16$ mm and the weight of the ballast in the inner cylinder is $m = 14$ kg. Production studies of the proposed roller showed that the post-sowing rolling of winter wheat, spring wheat and barley crops by the proposed soil-cultivating roller increases the yield of these crops by 10.9 %, 3.9 % and 9 %, respectively (by 5.17 C/ha, 1.73 C/ha and 4.17 C/ha) compared to the yield of these crops after sowing rolling with a ring-spur roller. The annual economic effect, determined by the results of the study of the proposed rink in production conditions, amounted to 880474 rubles, 243774 rubles and 418574 rubles accordingly, when winter wheat, spring wheat and barley are rolled on the areas of 200 hectares, the payback period of the spent funds in the cultivation of the above crops using the developed fundamentally new roller for rolling and compaction of the soil layer was 0.06, 0.22 and 0.13 years, respectively.

Key words: roller, inner cylinder, surface treatment, rolling, soil density, structural composition, sowing.

Курдюмов Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой агротехнологий, машин и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет» г. Ульяновск
Тел.: 8(8422)55-95-95
E-mail: vik@ugsha.ru

Прошкин Евгений Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации мобильных машин и технологического оборудования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет» г. Ульяновск
Тел.: 8-902-582-06-14
E-mail: Proshkin1921@mail.ru

Шаронов Иван Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры агротехнологий, машин

Kurdyumov Vladimir Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Agricultural Technology, Machinery and Life Safety FSBEI HE «Ulyanovsk State Agricultural University» Ulyanovsk
Tel.: 8(8422)55-95-95
E-mail: vik@ugsha.ru

Proshkin Eugene Nikolaevich – Ph.D of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation of Mobile Machines and Technological Equipment FSBEI HE «Ulyanovsk State Agricultural University» Ulyanovsk
Tel.: 8-902-582-06-14
E-mail: Proshkin1921@mail.ru

Sharonov Ivan Aleksandrovich – Ph.D of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Technology,

и безопасности жизнедеятельности
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
аграрный университет»
г. Ульяновск
Тел.: 8(8422) 55-95-95
E-mail: ivanshar2009@yandex.ru

Сутягин Сергей Алексеевич –
кандидат технических наук, доцент кафедры
агротехнологий, машин
и безопасности жизнедеятельности
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
аграрный университет»
г. Ульяновск
Тел.: 8(8422)55-95-95
E-mail: Sergeysut@mail.ru

Прошкин Вячеслав Евгеньевич –
ассистент кафедры агротехнологий, машин
и безопасности жизнедеятельности
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
аграрный университет»
г. Ульяновск
Тел.: 8-927-987-10-88
E-mail: veproshkin1993@gmail.com

Machinery and Life Safety
FSBEI HE «Ulyanovsk State Agricultural University»
Ulyanovsk
Tel.: 8(8422)55-95-95
E-mail: ivanshar2009@yandex.ru

Sutyagin Sergei Alekseevich –
Ph.D of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department of Agricultural Technology,
Machinery and Life Safety
FSBEI HE «Ulyanovsk State Agricultural University»
Ulyanovsk
Tel.: 8(8422)55-95-95
E-mail: Sergeysut@mail.ru

Proshkin Vyacheslav Evgenievich –
Assistant of the Department of Agricultural Technology,
Machinery and Life Safety
FSBEI HE «Ulyanovsk State Agricultural University»
Ulyanovsk
Tel.: 8-927-987-10-88
E-mail: veproshkin1993@gmail.com

Важнейшая операция процесса обработки почвы – прикатывание. Качественное прикатывание обеспечивает повышение урожайности возделываемых культур [1]. Его реализуют при обработке всех типов почв и во всех климатических зонах страны с целью обеспечения требуемой плотности и структуры почвы [2]. Прикатывание улучшает поступление влаги к семенам, что повышает всхожесть и способствует одновременному появлению всходов [3]. После прикатывания уплотненный почвенный слой сохраняет до 35 % влаги, а также время его прогрева значительно сокращается [4].

Однако, несмотря на многочисленные исследования ученых и большую работу практиков, существующие катки, предназначенные для прикатывания и уплотнения почвенного слоя, несовершенны. Серийным средствам механизации прикатывания и уплотнения почвы присущи недостатки: повышенная металлоемкость конструкций, неудовлетворительная работа на почвах с повышенной влажностью, плохое крошение комков почвы. Это снижает урожайность и повышает затраты топлива.

Поэтому задача создания почвообрабатывающего катка, обеспечивающего выполнение агротехнических требований при посеве сельскохозяйственных культур, является важной, актуальной и имеющей большое значение для развития страны.

На основе анализа серийных средств механизации прикатывания и уплотнения почвы нами разработана простая конструкция катка, за счёт конструктивных особенностей которого можно равномерно прикатать почву и уплотнить ее в зоне укладки зерен. Предложенный каток для прикатывания и уплотнения почвенного слоя представлен на рисунке 1. Одним из основных его конструктивных элементов явля-

ется цилиндр 1, содержащий прутки 2, которые образуют наружную поверхность цилиндра и связывают между собой вертикальные диски 3, установленные на ось 4 [5]. Также на оси 4 катка с наружной стороны цилиндра 1 установлена рама 5, с помощью которой каток соединяют с почвообрабатывающим агрегатом. В полости цилиндра 1 установлен внутренний цилиндр 6. Ось 7 внутреннего цилиндра 6 установлена на оси 4 цилиндра 1 с помощью поводков 8 и подшипниковых узлов 9 [6].

Разработанный прутковый каток работает по следующему принципу. При движении катка по почве прутки разрушают почвенные комки, лежащие на ее поверхности, и уплотняют почву в слое от 3...6 см. Комки, попавшие между прутков, разбиваются внутренним цилиндром.

При теоретическом обосновании параметров почвообрабатывающего катка получено уравнение взаимодействия внутреннего цилиндра с комком почвы. Для облегчения расчетов представим, что комок почвы в разрезе имеет форму правильного круга. Внутренний цилиндр при движении катка воздействует на поверхность почвенного комка (рис. 2).

Условие надежного защемления комков почвы в почвообрабатывающем катке можно выразить следующим образом:

$$\chi = \arccos \frac{\cos \varphi \cdot x_A + \sin \varphi (y_A + h) - r}{R_1 + r} \leq \varphi_1 + \varphi_2, \quad (1)$$

где φ – вторая полярная координата, отсчитываемая от первой полярной координаты – в нашем случае от оси O_1x до отрезка O_1M , град.;

x_A, y_A – текущие координаты точки A , м;

h – длина перпендикуляра к прямой ME до точки O_1 , м;

r – радиус почвенного комка, расположенного между прутком и гладким цилиндром, м;

Рисунок 1 – Почвообрабатывающий каток (обозначения в тексте)

Рисунок 2 – К определению угла защемления

R_1 – радиус внутреннего цилиндра, м;
 φ_1 – угол трения, отложенный от комком почвы до поверхности внутреннего цилиндра, град.;
 φ_2 – угол трения между поверхностями почвенного комка и прутка, град.

Таким образом, угол заземления почвенного комка зависит от его радиуса, радиуса внутреннего цилиндра, а также от зазора между осью внутреннего цилиндра и прутками [7]. Для расчета критического размера почвенного комка в зависимости от условий заземления рассмотрим рисунок 3.

Из условия подобия прямоугольных треугольников $\triangle MNP$ и $\triangle O_1ED$ (рис. 3) по двум взаимно перпендикулярным сторонам ($O_1E \perp MN$) и ($DE \perp MP$) следует равенство углов $\angle MNP = \angle O_1ED = \angle \chi$. Угол χ определим по теореме косинусов из $\triangle O_1OE$:

$$O_1O^2 = O_1E^2 + OE^2 - 2O_1E \cdot OE \cdot \cos\chi. \quad (2)$$

Из рисунка 3 следует, что $O_1E = R_1 + r$; $OE = R - r$; $O_1O = h_1$, где h_1 – расстояние от оси пустотелого цилиндра до оси гладкого цилиндра, м. Подставив эти значения в формулу (2), получим

$$h_1^2 = (R_1 + r)^2 + (R - r)^2 - 2(R_1 + r) \cdot (R - r) \cdot \cos \chi. \quad (3)$$

Из этого выражения

$$\cos\chi = \frac{(R_1 + r)^2 + (R - r)^2 - h_1^2}{2(R_1 + r) \cdot (R - r)}. \quad (4)$$

Решая уравнение (4) относительно угла защемления для различных радиусов почвенных комков r , получим следующую зависимость (рис. 4).

Теоретически установлено, что при уменьшении угла защемления в случае использования внутреннего цилиндра меньшего радиуса с минимальным расстоянием от его наружной поверхности до внутренней поверхности прутков качество крошения комков почвы улучшается.

Рисунок 3 – Расположение почвенного комка в катке

Для определения конструктивных параметров почвообрабатывающего катка нами проведены исследования в полевых условиях, в ходе которых определяли структурный состав и плотность почвы, а также ее влажность на трех участках поля [8]: 1) на участке без прикатывания, 2) на участке после прикатывания почвы кольчато-шпоровым катком и 3) после прикатывания почвообрабатывающим катком.

Для получения качественных результатов определения влажности почвы мы использовали два влагомера TDR100 и GMH3850 (Greisinger Electronic GmbH, Германия) показатели которых, полученные в результате замеров, сравнивали между собой. Влажность почвы на всем выделенном нам под исследования поле находилась в пределах от 19,2 до 20,5 %, что полностью соответствует агротребованиям к прикатуванию почвы [9].

Для суммарной оценки независимых факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество поверхностной обработки почвы почвообрабатывающим катком с позиции соответствия плотности и структуры почвы агротехническим требованиям, использовали коэффициент соответствия эталону $k_{\text{сэ}}$ [10]:

$$k_{ca} = 0,01[1 - (|\rho_{\text{OUT}} - \rho_{j3}|/\rho_{j\text{OUT}})]C, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{опт}}$ – плотность почвенного слоя, замеченная в зоне укладки семян, кг/м³;
 ρ_3 – экспериментально полученные значения плотности почвы, кг/м³;
 C – содержание в общей пробе агротехнически ценных агрегатов почвы, %.

Были определены факторы, которые имеют наибольшее воздействие на процесс прикатывания почвы катком: v – скорость движения почвообрабатывающего катка, км/ч; l – зазор между внутренним цилиндром катка и его прутками, мм; m – масса балласта в гладком цилиндре, кг.

Рисунок 4 – Зависимость угла защемления χ между поверхностью внутреннего цилиндра и прутка катка от радиуса комков почвы r , радиусов внутреннего цилиндра R_1 и высоты его установки относительно прутков h_2

Рисунок 5 – Зависимость критерия оптимизации от скорости движения катка и расстояния между поверхностью прутков и поверхностью внутреннего цилиндра

Уравнение регрессии, характеризующее влияние скорости движения катка и зазора между внутренним цилиндром катка и его прутками на коэффициент соответствия эталону, имеет вид

$$k_{сэ} = 0,4994 + 0,0525v + 0,001l - 0,0025v^2 - 2,6488 \cdot 10^{-5}vl - 3,9681 \cdot 10^{-5}l^2. \quad (6)$$

Уравнение (6) после кодирования факторов принимает следующий вид:

$$K = 0,7654 - 0,0141x - 0,0255y - 0,0403x^2 - 0,0021xy - 0,0159y^2. \quad (7)$$

Графическая зависимость $k_{сэ}$ от скорости движения катка и расстояния между поверхностью прутков и поверхностью внутреннего цилиндра, описывающая их общее влияние на коэффициент соответствия эталону (рис. 5), выпуклая и имеет вершину в области эксперимента.

Уравнение (7) показывает, что расстояние от поверхности гладкого цилиндра до поверхности прутка оказывает большее влияние на коэффициент соответствия эталону, а скорость движения катка менее значима. Двухмерное сечение поверхности отклика, описываемой формулой (7), представлено на рисунке 6.

Также проведен анализ уравнений регрессий с другими независимыми факторами. В итоге получены следующие результаты: максимальное значение критерия оптимизации составляет $k_{сэ} = 0,79$ при скорости $v = 10,4$ км/ч и зазоре между внутренним цилиндром катка и его прутками $l = 9,16$ мм. Масса балласта во внутреннем цилиндре при этом составила $m = 14$ кг.

С представленными выше конструктивно-режимными параметрами разработанный нами

Рисунок 6 – Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующей влияние на $k_{сэ}$ скорости катка v и расстояния l

почвообрабатывающий каток выполняет обработку почвы, обеспечивая ее плотность в зоне расположения семян 1210 кг/м^3 . При этом структура почвы полностью удовлетворяет агротехническим требованиям. Также определено, что на участке поля с почвой, прикатанной только каточками сеялки, $k_{сэ} = 0,42$. Участок, обработанный кольчато-шпоровым катком, тоже незначительно превосходил предыдущий по качеству обработки, поскольку $k_{сэ} = 0,51$. Гипотетически, при таком различии в качестве обработки почвы урожайность возделываемых культур должна быть выше на участке поля, обработанном предлагаемым почвообрабатывающим катком.

Проведенная нами во время производственных исследований проверка указанного выше предположения показала, что послепосевное прикатывание посевов озимой пшеницы, яровой пшеницы и ячменя почвообрабатывающим катком увеличивает урожайность этих культур соответственно на 10,9; 3,9 и 9 % (на 5,17; 1,73 и 4,17 ц/га) по сравнению с урожайностью этих же культур после посевного прикатывания кольчато-шпоровым катком.

Годовой экономический эффект, определенный по результатам исследования предложенного катка в производственных условиях, составил 880474; 243774 и 418574 руб. соответственно при прикатывании озимой пшеницы, яровой пшеницы и ячменя на площадях по 200 га. При этом срок окупаемости затраченных средств при возделывании указанных выше сельскохозяйственных культур с использованием разработанного принципиально нового катка для прикатывания и уплотнения почвенного слоя соответственно составил 0,06; 0,22 и 0,13 года.

Литература

1. Мазитов Н. К. Теория реактивных рабочих органов почвообрабатывающих машин. Казань : Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2011. 280 с.
2. Милюткин В. А., Долгоруков Н. В. Почвозащитные сельскохозяйственные технологии и техника для возделывания сельскохозяйственных культур // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 3. С. 37–44.
3. Милюткин В. А., Толпекин С. А., Орлов В. В. Энерго-ресурсо-влагосберегающие технологии в земледелии и рекомендуемые комплексы машин // Стратегические ориентиры инновационного развития АПК в современных экономических условиях : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. / Волгоградский ГАУ. Волгоград, 2016. С. 232–236.
4. Курдюмов В. И., Зыкин Е. С. Обоснование расположения рабочих органов с плоскими дисками по ширине секции гребневой сеялки // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 3 (39). С. 143–147.
5. Пат. 121418 Российская Федерация, МПК А 01 В 29/04. Почвообрабатывающий каток / В. И. Курдюмов, И. А. Шаронов, Е. Н. Прошкин, В. Е. Прошкин ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА». № 2012111780/13 ; заявл. 27.03.2012 ; опубл. 27.10.2012, Бюл. № 30. 5 с.
6. Пат. 2619522 Российская Федерация, МПК А 01 В 29/04. Почвообрабатывающий каток / В. И. Курдюмов, И. А. Шаронов, В. Е. Прошкин, Е. Н. Прошкин, В. В. Курушин, И. М. Линьков ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Ульяновская ГСХА». № 2015148441 ; заявл. 10.11.2015 ; опубл. 16.05.2017, Бюл. № 14. 8 с.
7. Курдюмов В. И., Зыкин Е. С. К обоснованию угла атаки плоского диска рабочего органа гребневой сеялки // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 4 (20). С. 127–130.
8. Шаронов И. А., Курдюмов В. И., Прошкин В. Е. Каток для волнового прикатывания почвы // Аграрный потенциал в системе продовольственного обеспечения: теория и практика : сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. / УГСХА. Ульяновск, 2016. Ч. II. С. 214–219.
9. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A. K. Subaeva, A. A. Zamaidinov, V. I. Kurdyumov, Y. S. Zykin // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2017. 9 (1S). P. 1945–1955.
10. Quality control indicators of soil ridges at sowing cultivated crops / A. K. Subaeva, A. A. Zamaidinov, V. I. Kurdyumov, Y. S. Zykin // International journal of Pharmacy & Technology. 2016, September. Vol. 8, Is. № 3. P. 14965–14972.

References

1. Mazitov N. K. Theory of reactive working bodies of tillage machines. Kazan : publishing «Fen» of Academy of Sciences RT, 2011. 280 p.
2. Milyutkin V. A., Dolgorukov N. B. Soil-protective agricultural technologies and equipment for cultivation of agricultural crops // Proceedings of the Samara state agricultural Academy. 2014. № 3. P. 37–44.
3. Milyutkin V. A., Tolpekin S. A., Orlov V. V. Energy-resource-saving technologies in agriculture and recommended complexes of machines // Strategic guidelines of innovative development of agriculture in modern economic conditions : collection of scientific works of the International scientific-practical conference / Volgograd SAU. Volgograd, 2016. P. 232–236.
4. Kurdyumov V. I., Zykin E. S. Justification of the location of the working bodies with flat discs on the width of the section of the comb seeder // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2014. № 3 (39). P. 143–147.
5. Patent 121418 the Russian Federation, IPC A 01 B 29/04. Tillage rink / V. I. Kurdyumov, I. A. Sharonov, E. N. Proshkin, V. E. Proshkin ; applicant and patent holder FSBEI HPE «Ulyanovsk State Agricultural Academy». № 2012111780/13 ; declared. 27.03.2012 ; publ. 27.10.2012, Bull. № 30. 5 p.
6. Patent 2619522 Russian Federation, IPC A 01 B 29/04. Tillage rink / V. I. Kurdyumov, I. A. Sharonov, V. E., Proshkin, E. N. Proshkin V. V. Kurushin, I. M. Linkov ; FSBEI HE «Ulyanovsk State Agricultural Academy». № 2015148441 ; declared. 10.11.2015 ; publ. 16.05.2017, Bul. № 14. 8 p.
7. Kurdyumov V. I., Zykin E. S. To the substantiation of the angle of attack of the flat disk of the working body of the comb seeder // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2012. № 4 (20). P. 127–130.
8. Sharonov I. A., Kurdyumov V. I., Proshkin V. E. Wave roller for compacting soil // Agricultural potential in the food supply system: theory and practice : collection of scientific works of the All-Russian scientific-practical conference / Ulyanovsk State Agricultural Academy. Ulyanovsk, 2016. Part II. P. 214–219.
9. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A. K. Subaeva, A. A. Zamaidinov, V. I. Kurdyumov, Y. S. Zykin // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2017. 9 (1S). P. 1945–1955.
10. Quality control indicators of soil ridges at sowing cultivated crops / A. K. Subaeva, A. A. Zamaidinov, V. I. Kurdyumov, Y. S. Zykin // International journal of Pharmacy & Technology. 2016, September. Vol. 8, Is. № 3. P. 14965–14972.