

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО КАТКА

Шаронов И.А., Егоров А.С., Курдюмов В.И.

Разработан эксцентриковый почвообрабатывающий каток, который позволяет обеспечить требуемое качество обработки почвы и повысить урожайность возделываемых культур. Основное преимущество предложенного эксцентрикового катка состоит в том, что в процессе его перекачивания по поверхности почвы создается дополнительная динамическая сила, повышающая степень уплотнения почвы и интенсивность разрушения почвенных комков при одной и той же массе катка. В результате теоретических исследований процесса поверхностной обработки почвы с использованием предложенного катка, получено выражение для определения динамической силы в зависимости от конструктивно-режимных параметров катка. Кроме того, установлены взаимосвязь тягового усилия от его конструктивных параметров, что позволяет определить направления снижения энергоемкости процесса поверхностной обработки.

Ключевые слова: прикатывание, плотность почвы, эксцентриковый каток, коэффициент соответствия эталону, экспериментальные исследования.

Введение

В настоящее время почвообрабатывающие катки играют важную роль при обработке почвы. Они выравнивают и уплотняют ее поверхностный слой, дробят и разрушают почвенные комки, что существенно повышает не только всхожесть семян, но и равномерность всходов, увеличивая урожай. Однако современные катки имеют ряд недостатков [1, 2, 3]: неоднородность плотности почвы по поверхности поля, низкое качество крошения комков почвы, сложность конструкции и, в результате, высокая металлоемкость.

Объекты и методы исследований

На основе анализа конструкций катков [4, 5], с целью улучшения дробления комков почвы и равномерности плотности прикатывания по поверхности поля, нами создан инновационный эксцентрико-

вый каток [6, 7, 8, 9, 10], который сочетает в себе преимущества разнохарактерного воздействия его рабочих органов на одни и те же участки поверхности почвы. Каток (рисунок 1) содержит раму 1 и установленные на ней друг за другом одинаковые пустотелые цилиндры 2 и 3. Цилиндры 2 и 3 установлены на раме 1 на осях 4. На осях 4 цилиндров 2 и 3 с одной стороны установлены звездочки 5, соединенные цепью 6, натяжение которой регулируется звездочкой 7. Оси 4 цилиндров 2 и 3 установлены эксцентрично и смещены от горизонтальных осей симметрии цилиндров на одинаковые расстояния, при этом ось цилиндра 2 смещена от его горизонтальной оси симметрии в сторону, противоположную направлению смещения оси цилиндра 3. Рама 1 катка оснащена прицепным устройством 8.

Эксцентриковый почвообрабатывающий каток работает следующим образом. При вращении пустотелых цилиндров 2 и 3 эксцентрично установленная относительно оси 4 часть цилиндра 2,

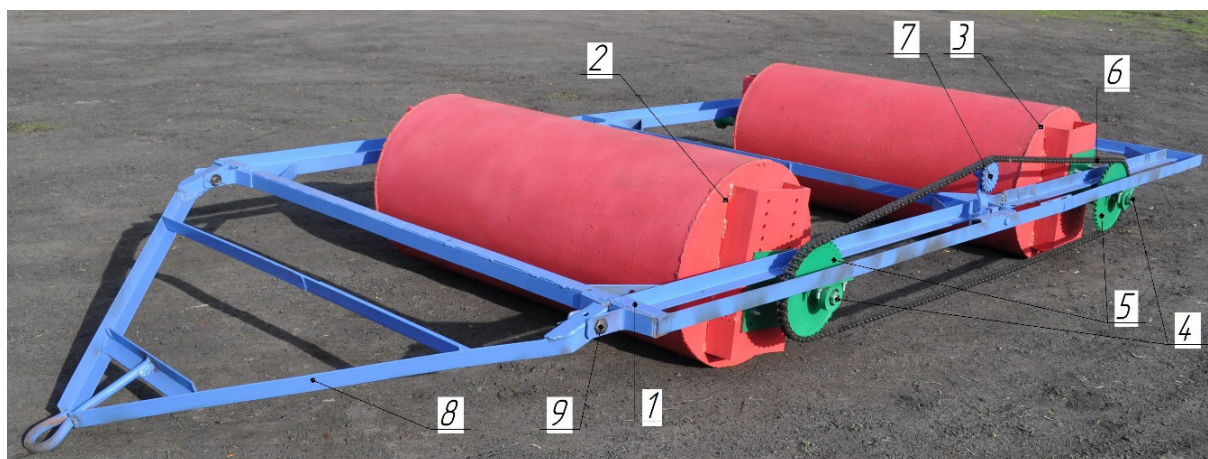


Рис. 1. Эксцентриковый почвообрабатывающий каток: 1 – рама; 2, 3 – пустотелые цилиндры; 4 – оси пустотелых цилиндров; 5 – звездочки; 6 – цепь роликовая; 7 – натяжная звездочка; 8 – прицепное устройство; 9 – шарнир

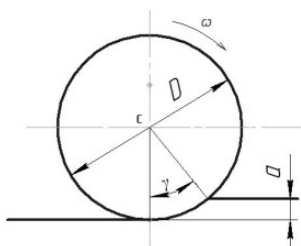


Рис. 2. К обоснованию минимального диаметра цилиндра

имеющая большую массу, перекачивается по одному участку поверхности поля, а часть цилиндра 2, имеющая меньшую массу, перекачивается по следующему участку поверхности поля. Затем эксцентрично установленная относительно оси 4 часть цилиндра 3, имеющая меньшую массу, перекачивается по участку поверхности поля, который предварительно был уплотнен частью цилиндра 2, имеющей большую массу. И наоборот, эксцентрично установленная относительно оси 4 часть цилиндра 3, имеющая большую массу, перекачивается по участку поверхности поля, который был уплотнен частью цилиндра 2, имеющей меньшую массу. При этом достигается более интенсивное крошение комков почвы эксцентрично расположенными относительно своих горизонтальных осей симметрии частями цилиндров 2 и 3.

Смещение оси 4 цилиндра 2 от его горизонтальной оси симметрии в сторону, противоположную направлению смещения оси 4 цилиндра 3 от его горизонтальной оси симметрии позволяет сохранить постоянство плотности почвы после прохода пустотелых цилиндров 2 и 3 катка и обеспечить высокое качество прикатывания почвы и крошения комков. Интенсивность крошения почвенных комков при повышенной их твердости можно дополнительно повысить, увеличив скорость агрегата и величину эксцентриситета.

Результаты и их обсуждение

В ходе аналитического исследования процесса работы эксцентрикового катка была выявлена зависимость динамической силы от массы катка, эксцентриситета и углового ускорения пустотелых цилиндров:

$$F_{\text{дин}} = m_p e / 6, \tag{1}$$

где m_p – масса рамы катка с балластом, кг;
 e – эксцентриситет оси пустотелого цилиндра, м;

φ'' – мгновенное угловое ускорение цилиндра

катка, c^2 .

Мгновенное угловое ускорение цилиндра катка

$$\varphi'' = (F_{\text{тр}} R + S_x e \cos \alpha - S_y e \sin \alpha) / m \rho^2, \tag{2}$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения пустотелого цилиндра о почву, Н;

R – радиус пустотелого цилиндра катка, м;

S_x и S_y – горизонтальная и вертикальная реакции пустотелого цилиндра от воздействия рамы соответственно, Н;

φ – угол поворота эксцентрично

установленной оси пустотелого цилиндра катка относительно вертикальной оси y , град.;

m – масса пустотелого цилиндра катка, кг;

ρ – радиус инерции пустотелого цилиндра катка, м.

С учетом выражения (2) и того, что $F_{\text{тр}} = fN = fg(m + 0,5m_p)$; $S_x = T = F_{\text{тр}} = fg(m + 0,5m_p)$; $S_y = 0,5 m_p g$

где T – сила тяги, Н;

f – коэффициент трения;

g – ускорение свободного падения, m/c^2 ,

уравнение (1) примет вид:

$$F_{\text{дин}} = m_p e g \left\{ \left[\frac{f(m + 0,5m_p)(R + e \cos \alpha) - 0,5m_p e \sin \alpha}{6m\rho^2} \right] \right\}. \tag{3}$$

При оценке эксплуатационных характеристик машинно-тракторного агрегата в процессе обработки почвы важным показателем является мощность P , затрачиваемая на перекачивание катка по полю. Этот критерий определяет расход топливо-смазочных материалов, что влияет на эксплуатационные затраты при обработке почвы.

Уплотняющая способность катка зависит от m_p – массы рамы катка с балластом, кг, и ширины захвата B , м. Уплотняющую способность принято выражать через удельное давление $p_{\text{уд}}$, Н/м, приходящееся на 1 м ширины катка:

$$p_{\text{уд}} = g m_p / B, \tag{4}$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

При перекачивании цилиндра впереди него образуется почвенный валик, высота которого зависит от глубины следа и от диаметра пустотелого цилиндра (рисунок 2). Для нормальной работы катка угол обхвата обода пустотелого цилиндра почвой γ не должен быть больше 20° :

В этом случае почвенный валик перед катком имеет незначительный размер. Как следует из рисунка 2,

$$\cos \gamma = 1 - \frac{2a}{D}, \tag{5}$$

где a – глубина колеи, м;

D – диаметр пустотелого цилиндра, м.

Задаваясь глубиной колеи пустотелого цилиндра и углом обхвата, можно определить минимальный диаметр цилиндра:

$$D \geq \frac{2a}{1 - \cos \gamma}. \tag{6}$$

Тяговое усилие, Н, для перемещения катка по ровной поверхности

$$F_{\text{тяг.}} = \sqrt{\frac{G^4}{KBD^2}}, \quad (7)$$

где G – сила тяжести катка, Н;

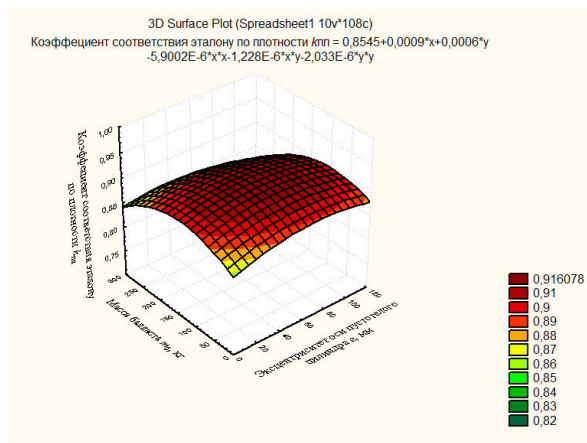
K – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³.

С учетом того, что в конструкции эксцентрикового катка два пустотелых цилиндра, тяговое усилие можно рассчитать по следующей формуле:

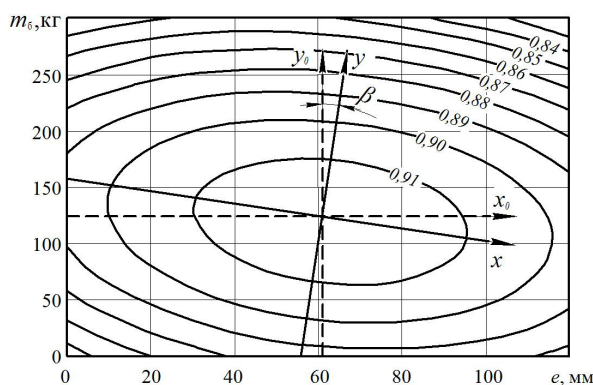
$$F_{\text{тяг.}} = \sqrt{\frac{G_1^4}{K_1BD^2} + \frac{G_2^4}{K_2BD^2}} = \sqrt{\frac{1}{BD^2} \left(\frac{G_1^4}{K_1} + \frac{G_2^4}{K_2} \right)}, \quad (8)$$

где K_1 и K_2 – коэффициент объемного смятия почвы соответственно первым и вторым пустотелым цилиндром, Н/м³.

Следовательно, усилие на перемещение катка зависит от его массы, ширины и диаметра цилиндров, а также от свойств почвы.



а)



б)

Рис. 3. Поверхность отклика (а) и ее двухмерное сечение (б) от взаимодействия массы балласта m_6 и эксцентриситета e и их совместного влияния на коэффициент соответствия эталону k_p

На процесс обработки почвы эксцентриковым катком влияет множество различных факторов, из которых были выбраны следующие независимые факторы: v – скорость движения катка, км/ч; m_6 – масса балласта, кг; e – эксцентриситет оси пустотелого цилиндра, мм. В качестве критерия оптимизации принят коэффициент соответствия эталону k_p [11, 12], который характеризует качество прикатывания с позиции соответствия плотности почвы агротехническими требованиями:

$$k_p = 0,01[1 - (|\rho_{\text{опт}} - \rho_3| / \rho_{\text{опт}})], \quad (9)$$

где $\rho_{\text{опт}}$ – оптимальная плотность почвы на глубине заделки семян, установленная в соответствии с агротребованиями, кг/м³;

ρ_3 – плотность почвы, полученная после проведения эксперимента [13, 14, 15], кг/м³.

При полном соответствии плотности посевного слоя почвы агротехническим требованиям $k_p = 1$.

После обработки результатов проведенных опытов получены адекватные математические модели процесса прикатывания почвы почвообрабатывающим катком в натуральных значениях факторов [16]. Уравнение регрессии, характеризующее влияние m_6 и эксцентриситета e на коэффициент соответствия эталону, имеет следующий вид:

$$k_p = 0,8545 - 0,000006e^2 - 0,000002m_6^2 + 0,0009e + 0,0006m_6 - 0,0000012em_6, \quad (10)$$

Графическое изображение поверхности отклика и ее двухмерное сечение представлено на рисунке 3.

После обработки результатов экспериментальных исследований, было выявлено, что после прохода предлагаемого нами эксцентрикового катка коэффициент соответствия эталону $k_p = 0,99$ ($\rho_3 = 1211$ кг/м³), что полностью удовлетворяет агротехнически заданному пределу $k_p = 0,92 \dots 1$, при котором плотность почвы ρ на глубине заделки семян находится в пределах 1100...1300 кг/м³. Такое значение k_p достигается при скорости движения агрегата $v = 11,7$ км/ч, массе балласта $m_6 = 126$ кг и эксцентриситете $e = 61$ мм.

Выводы

В результате теоретических исследований процесса работы эксцентрикового катка выявлено, что при его движении возникает динамическая сила, которая повышает интенсивность крошения почвенных комков и обеспечивает дополнительное уплотнение семенного слоя почвы. Экспериментальные исследования эксцентрикового катка позволили определить его оптимальные параметры, при которых коэффициент соответствия эталону $k_p = 0,99$, что по сравнению с наиболее часто применяемым кольчато-шпоровым катком 3 ККШ-6 лучше на 24 % ($k_p = 0,75$).

Список литературы

- [1] Зыкин Е.С. Оптимизация режимных параметров катка-гребнеобразователя [Текст] / Е.С. Зыкин, В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов // Доклады российской академии сельскохозяйственных наук. – 2013. – № 1. – С. 58-60.
- [2] Семенихина Ю.А. Анализ ротационных устройств для выравнивания и уплотнения почвы // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XVIII Международной научно-практической конференции, 23 – 24 сентября 2015 года, Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2015. – 303 с.
- [3] Курдюмов В.И. К обоснованию расположения оси колец катка-гребнеобразователя [Текст] / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов // Нива Поволжья. – 2010. – № 1. – С.49-53.
- [4] Курдюмов В.И. Оптимизация конструктивных параметров гребнеобразователя пропашной сеялки [Текст] / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, И.А. Шаронов // Известия международной академии аграрного образования. – 2013. – № 17. – С. 55-59.
- [5] Курдюмов В.И. Оптимизация параметров прикатывающего устройства комбинированного посевного агрегата [Текст] / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов, Е.С. Зыкин, Е.Н. Прошкин, В.Е. Прошкин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 1. – С. 34-37.
- [6] Курдюмов В.И., Шаронов И.А., Егоров А.С. Орудие для прикатывания почвы. Патент RU № 2564486. Оpubл. 10.10.2015, Бюл. № 28.
- [7] Курдюмов В.И., Шаронов И.А., Егоров А.С. Орудие для прикатывания почвы. Патент RU № 2567207. Оpubл. 10.11.2015, Бюл. № 31.
- [8] Курдюмов В.И., Шаронов И.А., Егоров А.С. Орудие для прикатывания почвы. Патент RU № 2567208. Оpubл. 10.11.2015, Бюл. № 31.
- [9] Курдюмов В.И., Шаронов И.А., Егоров А.С. Орудие для прикатывания почвы. Патент RU № 152307. Оpubл. 20.05.2015, Бюл. № 14.
- [10] Курдюмов В.И., Шаронов И.А., Егоров А.С. Орудие для прикатывания почвы. Патент RU № 152380. Оpubл. 27.05.2015, Бюл. № 15.
- [11] Курушин В.В. Определение конструктивных параметров катка-гребнеобразователя [Текст] / В.В. Курушин, И.А. Шаронов, В.И. Курдюмов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 131-135.
- [12] Курдюмов В.И. Экспериментальные исследования почвообрабатывающего катка [Текст] / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов, В.Е. Прошкин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 2. – С. 141-145.
- [13] Курдюмов В.И. Экспериментальные исследования универсального катка-гребнеобразователя [Текст] / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, И.А. Шаронов, В.П. Зайцев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 4. – С. 107-112.
- [14] Курдюмов В.И., Зыкин Е.С., Шаронов И.А., Курушин В.В., Прошкин В.Е., Егоров А.С. Устройство для определения плотности почвы. Патент на полезную модель RU № 149064. Оpubл. 20.12.2014, Бюл. № 35.
- [15] Курдюмов В.И., Зыкин Е.С. Технология и средства механизации гребневого возделывания пропашных культур. - Ульяновск: Вега-МЦ, 2017. – 320 с.
- [16] Анализ процесса движения воздуха внутри кожуха ботвоудаляющего рабочего органа с обоснованием оптимального угла наклона ножей / Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.Е. Каширин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2015. № 4 (28). С. 67–72.

RESEARCH RESULTS OF THE SOFTWARE

Kurdyumov V.I., Sharonov I.A., Egorov A.S.

An eccentric soil-cultivating skating rink has been developed, which allows to provide the required quality of soil cultivation and increase the yield of cultivated crops. The main advantage of the proposed eccentric roller is that during its rolling over the surface of the soil an additional dynamic force is created, increasing the degree of compaction of the soil and the intensity of the destruction of soil lumps at the same mass of the rink. As a result of theoretical studies of the process of surface tillage using the proposed roller, an expression was obtained for determining the dynamic force as a function of the structural and operating parameters of the roller. In addition, a relationship is established between the power required to roll the roller and the dependence of the tractive effort on its design parameters, which makes it possible to

determine the directions for reducing the energy intensity of the surface treatment process.

Keywords: *packing, soil density, eccentric roller, coefficient of conformity to the standard, experimental studies.*

References

- [1] Zykin, E. S. Optimization of operating parameters of the rink forming ridges of soil [Text] / E. S. Zykin, V. I. Kurdyumov, I. A. Sharonov // Reports of Russian Academy agricultural Sciences. – 2013. – No. 1. – P. 58-60.
- [2] Semenikhina Yu. A. Analysis of the rinks devices for leveling and compaction soil // improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products – new technologies and a new generation of technology for crop production and animal husbandry: Collection of scientific papers of the XVIII International scientific and practical conference, 23 – 24 September 2015, Tambov: Publishing house Pershin R. V., 2015. – 303 p.
- [3] Kurdyumov V. I. To justify the location of the axis of rinks to forming ridges of soil [Text] / V. I. Kurdyumov, I. A. Sharonov // Niva Povolzhya. – 2010. – No. 1. – P. 49-53.
- [4] Kurdyumov V. I. Optimization of the design parameters of the device for the formation of ridges of soil cultivator drill [Text] / V. I. Kurdyumov, E. S. Zykin, I. A. Sharonov // Proceedings of the international Academy of agrarian education. – 2013. – No. 17. – P. 55-59.
- [5] Kurdyumov V. I. Optimization of parameters of the rink combined sowing unit [Text] / V. I. Kurdyumov, I. A. Sharonov, E. S. Zykin, E. N. Proshkin, V. E. Proshkin, // Agricultural machinery and technologies. – 2014. – No. 1. – S. 34-37.
- [6] Kurdyumov V. I., Sharonov I. A., Egorov A. S. Rink for reconsolidation of the soil. Patent for invention RU № 2564486. Publ. On 10.10.2015, Bulletin No. 28.
- [7] Kurdyumov V. I., Sharonov I. A., Egorov A. S. Rink for reconsolidation of the soil. Patent for invention RU № 2567207. Publ. On 10.11.2015, Bulletin No. 31.
- [8] Kurdyumov V. I., Sharonov I. A., Egorov A. S. Rink for reconsolidation of the soil. Patent for invention RU № 2567208. Publ. On 10.11.2015, Bulletin No. 31.
- [9] Kurdyumov V. I., Sharonov I. A., Egorov A. S. Rink for covering soil. Patent for useful model RU № 152307. Publ. 20.05.2015, Bulletin No. 14.
- [10] Kurdyumov V. I., Sharonov I. A., Egorov A. S. Rink for covering soil. Patent for useful model RU № 152380. Publ. 27.05.2015, Bulletin No. 15.
- [11] Kurushin, V. V. Determination of design parameters of the rinks for the formation of ridges of soil [Text] / V. V. Kurushin, I. A. Sharonov, V. I. Kurdyumov // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural Academy. – 2015. – No. 3. – P. 131-135.
- [12] Kurdyumov V. I. Experimental studies of tillage rink [Text] / V. I. Kurdyumov, I. A. Sharonov, V. E., Proshkin // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural Academy. – 2014. – No. 2. – P. 141-145.
- [13] Kurdyumov V. I. Experimental studies of the universal rink for the formation of ridges of soil [Text] / V. I. Kurdyumov, E. S. Zykin, I. A. Sharonov, Yu // Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural Academy. – 2011. – No. 4. – P. 107-112.
- [14] Kurdyumov V. I., Zykin E. S., Sharonov I. A., Kurushin V. V., Proshkin V. E., Egorov A. S. Device for determining the density of the soil. Patent for useful model RU № 149064. Publ. 20.12.2014, Bulletin No. 35.
- [15] Kurdyumov V.I., Zykin E.S. Tekhnologiya i sredstva mekhanizatsii grebnevoogo vozdeleyvaniya propashnykh kul'tur. - Ul'yankovsk: Vega-MTs, 2017. – 320 p.
- [16] Analiz protsessy dvizheniya vozdukh vnutri kozhukha botvoudalyayushchego rabochego organa s obosnovaniem optimal'nogo ugla naklona nozhei / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.E. Kashirin // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. 2015. № 4 (28). S. 67–72.