

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО КАТКА

Шаронов Иван Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

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

Егоров Алексей Сергеевич, аспирант кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, д. 1; тел.: 8 (8422) 55-95-35; e-mail: ugsha@yandex.ru

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

Цель исследования – повышение качества поверхностной обработки почвы при посеве зерновых культур на основе разработки и внедрения почвообрабатывающего катка и, как следствие, повышение их урожайности. Разработан эксцентрикковый почвообрабатывающий каток, обеспечивающий требуемое качество обработки почвы и повышение урожайности возделываемых культур. В ходе теоретических исследований определили динамическую силу, повышающую интенсивность крошения почвенных комков. Установлено, что требуемое качество прикатывания и, соответственно, максимальное значение коэффициента соответствия эталону $k_{\text{э}} = 0,86$ достигается при скорости движения агрегата $v = 11,7$ км/ч, массе балласта $m_6 = 126$ кг, а также эксцентриситете $e = 61$ мм. При этих параметрах и режимах работы структура почвы полностью соответствует агротребованиям, а плотность почвы в зоне расположения семян составляет 1202 кг/м³. После обработки эксцентрикковым катком коэффициент выровненности поверхности поля k_8 составил $0,99$, что на $8,1\%$ и $11,2\%$ больше по сравнению с участками, обработанными кольчато-шпоровыми катками и кольчатymi каточками сеялки соответственно. Выявлено, что после обработки катками сеялки коэффициент соответствия эталону $k_{\text{э}} = 0,68$, на участке, обработанном кольчато-шпоровым катком, $k_{\text{э}} = 0,71$, а на участке после обработки предлагаемым эксцентрикковым катком коэффициент соответствия эталону $k_{\text{э}} = 0,86$, что значительно выше по сравнению с серийными катками. При оптимальных параметрах разработанный эксцентрикковый каток качественно выравнивает поверхность почвы, обеспечивая равномерность заделки семян по глубине, а также повышает урожайность возделываемых культур на $10...13\%$ по сравнению с серийными катками. При этом экономический эффект от внедрения предложенного катка достигает $2910...3900$ рублей на 1 га посевов яровой пшеницы.

Введение

Одной из главных задач сельского хозяйства, решение которой обеспечивает продовольственную безопасность страны, является увеличение производства зерна. С ростом объемов производства зерна в сельском хозяйстве издержки производства возрастают, причем этот разрыв в темпах роста постоянно увеличивается [1]. При этом важной научной проблемой является повышение полевой всхожести возделываемых культур, которая значительно ниже лабораторной (всхожесть семян озимых культур меньше лабораторной на $17...18\%$, яровых – до 25%). Это приводит к недополучению урожая возделываемых культур в среднем на $0,5...1,1$ т/га, что снижает прибыль до $3000...6600$ руб./га. Причиной этого является низкое качество посева и послепосевной обработки почвы, что обусловлено несовершенством конструкции посевных машин и почвообрабатывающих орудий. Кроме того, увеличение сроков выполне-

ния весенне-полевых работ снижает урожайность возделываемых культур из-за появления временных разрывов между технологическими операциями. Это связано с недостатком у сельскохозяйственных товаропроизводителей высокоэффективных ресурсосберегающих средств механизации посева и обработки почвы.

Поэтому разработка орудий и их рабочих органов, обеспечивающих требуемое качество обработки почвы и посева с низкими эксплуатационными затратами, интенсифицирующих эти процессы с учетом энерго-, ресурсосбережения, а также экологических требований, является актуальной и важной научно-технической проблемой [2].

Объекты и методы исследований

Объектом исследований является процесс формирования уплотненного посевного слоя почвы эксцентрикковым катком при посеве зерновых культур.

На основе изучения конструкций катков

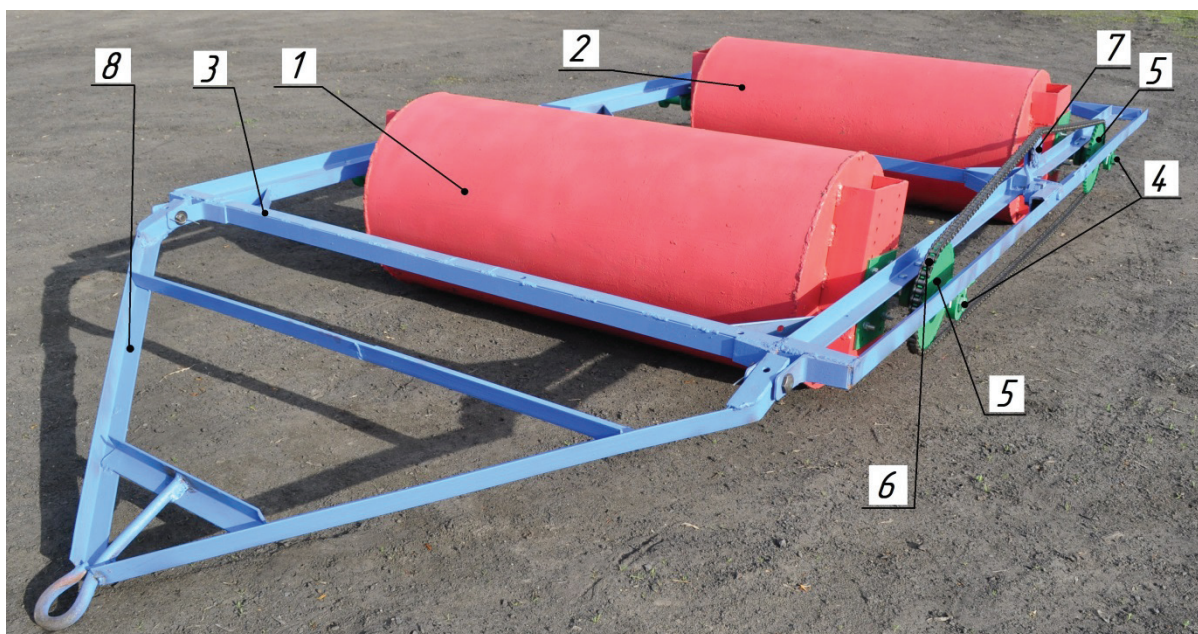


Рис. 1 – Эксцентриковый каток (обозначения в тексте)

[3, 4] с целью повышения качества разрушения крупных почвенных комков и обеспечения равномерности плотности прикатывания при поверхностной обработке почвы нами разработан эксцентриковый каток [5, 6, 7, 8], который сочетает в себе преимущества разнохарактерного воздействия его рабочих органов на одни и те же участки поверхности почвы. Каток (рис. 1) содержит пустотелые цилиндры 1 и 2 равного диаметра, установленные на раме 3. На осях 4 цилиндров 1 и 2 с одной стороны установлены звездочки 5 равного диаметра, соединенные цепью 6, натяжение которой регулируется звездочкой 7. Оси 4 цилиндров 1 и 2 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.

Преимущество эксцентрикового катка по сравнению с существующими катками заключается 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 ходе теоретического описания процесса работы эксцентрикового катка установлена зависимость динамической силы от массы катка, эксцентриситета пустотелых цилиндров и их

углового ускорения:

$$F_{\text{дин}} = m_p e \varphi'' / 6, \quad (1)$$

где m_p – масса рамы катка с балластом, кг; e – эксцентриситет оси пустотелого цилиндра, м; φ'' – мгновенное угловое ускорение цилиндра катка, с^{-2} .

При этом мгновенное угловое ускорение цилиндра катка

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

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; α – угол поворота эксцентрично установленной оси пустотелого цилиндра катка относительно оси y , град.; m – масса пустотелого цилиндра катка, кг; ρ – радиус инерции пустотелого цилиндра, 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, $\text{м}/\text{с}^2$), уравнение (1) примет вид:

$$F_{\text{дин}} = m_p e g \{ [f(m + 0,5m_p)(R + e \cdot \cos \varphi) - 0,5m_p e \cdot \sin \varphi] / 6m \rho^2 \}. \quad (3)$$

В процессе экспериментальных исследований для уточнения сделанных теоретических предположений и оптимизации параметров разработанного катка, а также оценки совместного влияния параметров катка на качество формируемого посевного слоя почвы проведен полно-

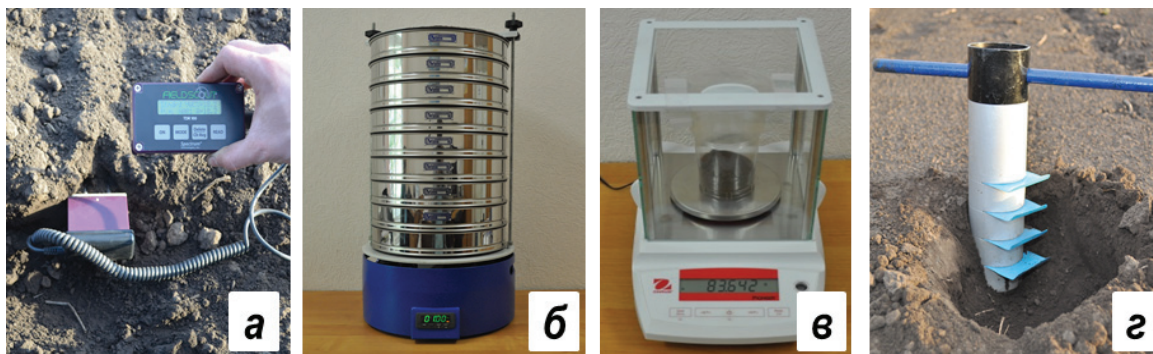


Рис. 2 – Приборы для контроля параметров процесса поверхностной обработки почвы

факторный эксперимент.

В качестве основных независимых факторов, оказывающих непосредственное влияние на процесс поверхностной обработки верхнего слоя почвы предложенным катком, были выбраны: v – скорость движения катка, км/ч; m_6 – масса балласта, кг; e – эксцентриситет оси пустотелого цилиндра, мм. При этом критерием оптимизации выбран коэффициент соответствия эталону по структурности и плотности почвы $k_{сэ}$. Этот критерий характеризует соответствие фракционного состава и плотности почвы агротехническим требованиям и позволяет оценить качество поверхностной обработки почвы. При полном соответствии агротехническим требованиям коэффициент соответствия эталону $k_{сэ} = 1$.

Коэффициент соответствия эталону

$$k_{сэ} = 0,01[1 - (|\rho_{опт} - \rho_3|/\rho_{опт})]C, \quad (4)$$

где $\rho_{опт}$ – оптимальная плотность почвы в зоне расположения семян, установленная агротребованиями, $\text{кг}/\text{м}^3$ ($\rho_{опт} = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$); ρ_3 – плотность почвы в зоне расположения семян после прохода катка, $\text{кг}/\text{м}^3$; C – содержание фракции почвы размером 0,25...10 мм после прохода катка, %.

В процессе полевых исследований эксцентрикового катка при посеве яровой пшеницы сорта «Симбирцит» контролировали качество обработки почвы. При этом определяли ее влажность, плотность, выровненность поверхности, а также ее гранулометрический состав по общепринятым стандартным и частным методикам.

Влажность почвы измеряли влагомером TDR-100 (рис. 2, а). Результаты замеров показали, что влажность почвы на всех участках изменялась в пределах от 19 % до 21 %, что соответствует агротехнически заданному интервалу изменения влажности почвы (17...22 %) при предпосевной обработке и посеве.

При подготовке поля к посеву сельскохозяйственных культур важно обеспечить требуе-

мый фракционный состав почвы. В соответствии с агротребованиями максимальный размер комков почвы на поверхности поля не должен превышать 50 мм [9]. Фракционный состав почвы определяли по общепринятой методике. Отобранные пробы выдерживали в сушильном шкафу в течение 6 часов до воздушно-сухого состояния, а затем просеивали с помощью лабораторных контрольных сит, снабженных виброприводом ВП-30Т, и таймера (рис. 2, б). Фракции взвешивали на весах OHAUS ITEM PA213 (рис. 2, в) с погрешностью 0,001 г, а затем вычисляли массовую долю каждой фракции по отношению к массе всей пробы почвы в процентах.

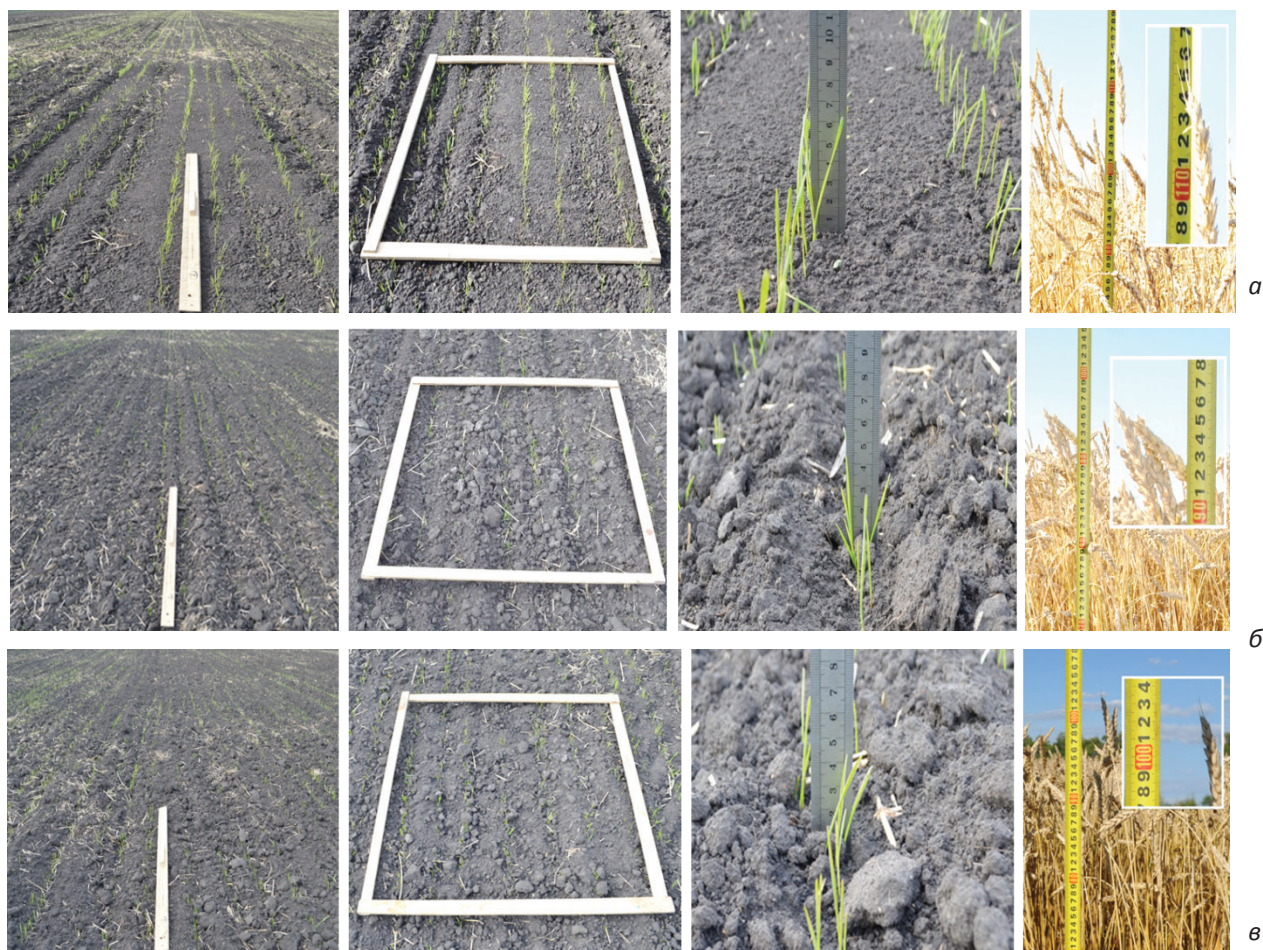
Для определения плотности почвы использовали соответствующее устройство [10]. Его устанавливали вертикально на поверхность поля, затем погружали в почву на требуемую глубину (рис. 2, г). Затем убирали почву около устройства до его нижнего торца, вставляли разделительные заслонки и извлекали устройство из почвы вместе с находящимися в нем пробами. Полученные по каждому слою пробы почвы взвешивали на весах с погрешностью 0,001 г. Для получения достоверных результатов пробы почвы брали в 3-кратной повторности на одинаковом расстоянии друг от друга по всей длине участка.

Зная объем пробы почвы V_n , м^3 между разделительными заслонками устройства, рассчитывали плотность n -го слоя почвы по формуле $\rho_n = m/V_n$, где m – масса пробы почвы, кг.

Для оценки качества прикатывания посевов определяли коэффициент выровненности поверхности почвы. Для определения этого коэффициента на участках поверхности почвы определенной длины с помощью профиломера строили профилограмму. Затем рассчитывали коэффициент выровненности по формуле:

$$k_b = 1 - (l_{кт}/l_{пп}), \quad (5)$$

где $l_{кт}$ – расстояние между крайними точка-



а – после обработки эксцентриковым катком; б – после обработки каточками сеялки; в – после обработки кольчато-шпоровым катком

Рис. 3 – Растения яровой пшеницы на контрольных делянках

ми участка, мм; $l_{\text{пн}}$ - длина линии, описывающей профиль поверхности почвы, мм.

Результаты исследований

Обработав результаты полнофакторного эксперимента, мы получили адекватные математические модели процесса работы предлагаемого эксцентрикового катка. После анализа этих моделей оказалось, что коэффициент соответствия эталону $k_{\text{сэ}} = 0,86$ максимален при скорости агрегата $v = 11,7$ км/ч, массе балласта $m_6 = 126$ кг, а также эксцентриситете $e = 61$ мм. При этих технологических параметрах структура почвы полностью соответствует агротребованиям, а плотность почвы на глубине заделки семян составляет 1202 кг/м³. Данные, полученные в результате исследований, обрабатывали с помощью лицензионных программ «Excel», «Statistica» и «Derive». В результате была подтверждена их достоверность и воспроизводимость.

Оценка выровненности поверхности поля показала, что после обработки эксцентриковым

катком коэффициент $k_{\text{в}}$ составил 0,99, что на 8,1 % и 11,2 % больше по сравнению с участками, обработанными кольчато-шпоровыми катками и кольчатymi каточками сеялки соответственно.

Апробацию предложенного эксцентрикового катка в производственных условиях проводили на опытном поле Ульяновского ГАУ. В результате исследований выявлена высокая эффективность его использования. Плотность почвы на глубине заделки семян находилась в пределах $1196...1230$ кг/м³, а комки почвы размером более 50 мм на поверхности отсутствовали, тогда как после обработки серийными почвообрабатывающими катками такие комки оставались на поверхности не разрушенными. Это свидетельствует о том, что качество поверхностной обработки почвы эксцентриковым катком полностью отвечает агротехническим требованиям по плотности почвы на глубине заделки семян и ее фракционному составу. Кроме того, обработка почвы при посеве предложенным катком обеспечивает равномерность глу-

бины заделки семян, в то время как после обработки почвы кольчато-шпоровыми катками и каточками сеялки погрешность глубины заделки семян превышала установленные агротехническими требованиями пределы, что негативно отразилось на развитии яровой пшеницы.

При полевых исследованиях выявлено, что всходы яровой пшеницы после обработки предложенным катком появились на 1 день раньше и развивались быстрее по сравнению с контрольными участками, где прикатывание осуществляли кольчато-шпоровыми катками и каточками сеялки (рис. 3). На участке после посева и обработки эксцентриковым катком на 11-ый день высота растений пшеницы была больше на 17...20 % по сравнению с участками, обработанными серийными катками. При этом отмечена требуемая равномерность всходов и повышение полевой всхожести семян пшеницы после прикатывания почвы эксцентриковым катком, что не было обеспечено кольчато-шпоровым катком и каточками сеялки на контрольных участках.

После обработки результатов производственных исследований выявлено, что урожайность яровой пшеницы после поверхностной обработки почвы эксцентриковым катком оказалась на 10,3 % и 13,8 % больше урожайности этой культуры соответственно после прикатывания кольчато-шпоровым катком и каточками сеялки (рис. 4).

Выводы

После обработки почвы катками сеялки коэффициент соответствия эталону $k_{\text{сэ}} = 0,68$, на участке, обработанном кольчато-шпоровым катком, $k_{\text{сэ}} = 0,71$, а на участке, обработанном предлагаемым эксцентриковым катком, коэффициент соответствия эталону $k_{\text{сэ}} = 0,86$. Это свидетельствует о лучшем качестве поверхностной обработки почвы эксцентриковым катком по сравнению с серийными катками.

При указанных выше параметрах и режимах разработанный эксцентриковый каток также на 10,3...13,8 % повышает урожайность возделываемых культур. При этом экономический эффект от внедрения предложенного катка за счет увеличения урожайности достигает 2910...3900



Рис. 4 – Урожайность яровой пшеницы после обработки катками

рублей на 1 га посевов яровой пшеницы.

Библиографический список

1. All your cultivating needs // Profi. Tractors and farm machinery. – 2005. – № 9. – P. 15.
2. Зыкин, Е.С. Оптимизация режимных параметров катка-гребнеобразователя / Е.С. Зыкин, В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов // Доклады российской академии сельскохозяйственных наук. – 2013. – № 1. – С. 58-60.
3. 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. - Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2015. – 303 с.
4. Падальцин, К.Д. Обоснование вида поверхности почвообрабатывающего катка / К.Д. Падальцин, Н.Е. Руденко // Сборник научных докладов XI Международная научно-практическая конференция, посвященная 65-летию факультета механизации сельского хозяйства, в рамках XVII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2015». - Издательство «АГРУС» (Ставрополь), 2015. – С. 244-246.
5. Патент 2567207 Российская Федерация, МПК А01В 29/02 (2006.01). Орудие для прикатывания почвы / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов, А.С. Егоров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина». - 2014146182/13, заявл. 17.11.2014; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31.
6. Патент 2567208 Российская Федерация, МПК А01В 29/02 (2006.01). Орудие для прика-

тивания почвы / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов, А.С. Егоров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина». - 2014146180/13, заявл. 17.11.2014; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31.

7. Патент 2585075 Российская Федерация, МПК А01В 29/02 (2006.01). Орудие для прикатывания почвы / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов, А.С. Егоров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина». - 2014146145/13, заявл. 17.11.2014; опубл. 27.05.2016 Бюл. № 15.

8. Патент 2582988 Российская Федерация, МПК А01В 29/02 (2006.01). Орудие для прикатывания почвы / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов, А.С. Егоров; заявитель и патентообладатель

ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина». - 2014152584/13, заявл. 24.12.2014; опубл. 27.04.2016 Бюл. № 12.

9. Руденко, Н.Е. Как снизить энергозатраты и повысить качественные показатели при сплошной обработке почвы / Н.Е. Руденко, К.Д. Падальцин // Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – № 1(13). – С. 66-68.

10. Патент 149064 Российская Федерация, МПК G01N 33/24 (2006.01). Устройство для определения плотности почвы / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, И.А. Шаронов, В.В. Курушин, В.Е. Прошкин, А.С. Егоров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина». - 2014130351/15, заявл. 22.07.2014; опубл. 20.12.2014 Бюл. № 35.

PROCEDURE AND RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE ECCENTRIC ROLLER

Sharonov I.A., Kurdyumov V.I., Egorov A.S.
FSBEI HE Ulyanovsk SAU
432017, Ulyanovsk, Noviy Venets bld, 1;
tel. : 8 (8422) 55-95-35 E-mail: ugsha@yandex.ru

Key words: compacting, soil density, eccentric roller, coefficient of conformity to the standard, experimental studies, coefficient of smoothness.

The aim of the study is to improve the quality of soil surface tillage during sowing of grain crops based on the development and introduction of a tillage roller and, as a result, to increase their yield. An eccentric tillage roller is developed, which provides the required quality of soil tillage and increases the yield of cultivated crops. In the course of theoretical studies, a dynamic force was determined that increases the intensity of crumbling of soil lumps. It is stated that the required quality of compacting and, consequently, the maximum value of the coefficient of compliance to the standard $k_{\text{сн}} = 0,86$ is achieved with the speed of the aggregate $v = 11.7 \text{ km/h}$, the weight of the ballast $m_6 = 126 \text{ kg}$, and the eccentricity $e = 61 \text{ mm}$. With these parameters and modes of operation, the soil structure is fully consistent with the agricultural requirements, and the soil density in the seed location is 1202 kg/m^3 . After tillage with an eccentric roller, the coefficient of field smoothness k_6 was 0.99, which is 8.1% and 11.2% higher compared to the sections treated with star-wheeled rollers and annular rollers of the seeder, respectively. It was found out that after the tillage with the seeder rollers the coefficient of conformity to the standard was $k_{\text{сн}} = 0.68$, in the section treated with the star-wheeled rollers it was $k_{\text{сн}} = 0.71$, and after treatment with the proposed eccentric roller the coefficient of conformity to the standard was $k_{\text{сн}} = 0.86$, which is much higher in comparison with the serial rollers. The devised eccentric roller can even the soil surface, ensuring uniformity of seeding - down, and it also increases the yield of cultivated crops by 10 ... 13% compared to commercial rollers. At the same time, the economic effect from introduction of the proposed rink is 2910 ... 3900 rubles per 1 ha of spring wheat sowing.

Bibliography

1. All your cultivating needs // Profi. Tractors and farm machinery. - 2005. - No. 9. - P. 15.
2. Zykin E.S. Improvement of the regime parameters of the ridge-roller / E.S. Zykin, V.I. Kurdyumov, I.A. Sharonov // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. - 2013. - No 1. - P. 58-60.
3. Semenikhina Yu.A. Analysis of rotational devices for soil smoothening and compaction // Increasing the efficiency of resource usage in production of agricultural products - new technologies and new generation technology for crop production and animal breeding: Collection of scientific reports of the XVIII International scientific and practical conference. - Tambov: Publishing house Pershina R.V., 2015. - 303 p.
4. Padaltsin K.D. Substantiation of the surface of the tillage roller / K.D. Padaltsin, N.E. Rudenko // Collected scientific reports of XI International scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of the Faculty of Agricultural Mechanization, within the framework of the XVII International Agro-Industrial Exhibition «Agrouniversal 2015». - Publishing house «AGRUS» (Stavropol), 2015. - P. 244-246.
5. Patent 2567207 Russian Federation, IPC A01B 29/02 (2006.01). A tool for soil compacting/ V.I. Kurdyumov, I.A. Sharonov, A.S. Egorov; applicant and patent holder of the FSBEI HPE «Ulyanovsk State Agricultural Academy named after. P.A. Stolypin. « - 2014146182/13, appl. 11/17/2014; publ. 10.11.2015, Bul. № 31.
6. Patent 2567208 Russian Federation, IPC A01B 29/02 (2006.01). A tool for soil compacting/ V.I. Kurdyumov, I.A. Sharonov, A.S. Egorov; applicant and patent holder of the FSBEI HPE «Ulyanovsk State Agricultural Academy named after. P.A. Stolypin. « - 2014146180/13, appl. 11/17/2014; publ. 10.11.2015, Bul. № 31.
7. Patent 2585075 Russian Federation, IPC A01B 29/02 (2006.01). A tool for soil compacting / V.I. Kurdyumov, I.A. Sharonov, A.S. Egorov; applicant and patent holder of the FGBOU HPE «Ulyanovsk State Agricultural Academy named after. P.A. Stolypin. « - 2014146145/13, appl. 11/17/2014; publ. 05/07/2016 Bul. № 15.
8. Patent 2582988 Russian Federation, IPC A01B 29/02 (2006.01). A tool for soil compacting / V.I. Kurdyumov, I.A. Sharonov, A.S. Egorov; applicant and patent holder of the FSBEI HPE «Ulyanovsk State Agricultural Academy named after. P.A. Stolypin. « - 2014152584/13, appl. 12/24/2014; publ. 04/07/2016 Bul. № 12.
9. Rudenko N.E. How to reduce energy costs and improve quality in continuous tillage / N.E. Rudenko, K.D. Padaltsin // Vestnik of the agrarian and industrial complex of Stavropol. - 2014. - No 1 (13). - P. 66-68.
10. Patent 149064 Russian Federation, IPC G01N 33/24 (2006.01). Device for determining the soil density / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, I.A. Sharonov, V.V. Kurushin, V.E. Proshkin, A.S. Egorov; applicant and patent holder of the FSBEI HPE «Ulyanovsk State Agricultural Academy named after. P.A. Stolypin. « - 2014130351/15, appl. 07/22/2014; publ. 12/20/2014 Bul. № 35.