

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СИЛЫ ДЕЙСТВИЯ ВИБРОКАТКА НА ПОЧВУ

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

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

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

**Диков Владислав Вадимович**, 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:** вибрационное действие, послепосевное прикатывание, каток, вибрация, центр масс, дебалансы, поверхностная обработка, почва, прикатывание, параметры, удельное давление.

В результате анализа почвообрабатывающих катков выявлено, что основной особенностью их конструирования является обеспечение требуемого удельного давления на почву, для чего приходится увеличивать массу катка, приходящуюся на 1 м ширины захвата, а это приводит к росту металлоемкости орудия. На основе полученных данных нами разработана принципиально новая конструкция виброкатка, применение которого позволит обеспечить выполнение агротехнических требований по плотности почвы при минимальной металлоемкости 70 кг/м. Качественная обработка почвы виброкатком обеспечивается за счет наличия пассивного привода дебалансов, установленных на оси пустотелого цилиндра. Для определения центра масс дебалансов применяли программу КОМПАС 3D v 20, которая позволяет получить искомый результат с точностью до 0,000001 мм. В ходе теоретического исследования выявлено, что за счет смещения дебалансов относительно оси виброкатка они создают колебания с амплитудой 0,00008...0,0011 м при частоте вращения 800 мин<sup>-1</sup>. Также в результате выявлено, что при смещении дебалансов относительно оси катка положение их центра тяжести изменяется примерно на эту же величину. При этом удельное давление виброкатка на почву при смещении дебалансов относительно оси виброкатка до максимального значения  $a = 20$  мм изменяется с 732,81 Н/м до 1275,28 Н/м, увеличиваясь на 74 %. Исследования предлагаемого катка в полевых условиях показали, что качество прикатывания почвы предлагаемым виброкатком с оптимизированными параметрами и режимами работы лучше, чем у наиболее распространенных катков ЗКВГ-1,4 и ЗККШ-6.

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

### Введение

Применение современных технологий при выполнении сельскохозяйственных работ призвано обеспечить должное качество обработки почвы и посева, что необходимо для получения дружных всходов и, как следствие, хорошего урожая [1, 2, 3].

Ежегодно ученые и конструкторы разрабатывают новые орудия для аграрного производства или совершенствуют уже имеющиеся. Однако конструктивной доработке орудий, направленной на улучшение качества их работы, уделяется недостаточное внимание, поскольку в настоящее время основным направлением развития машин и орудий, как правило, является их оснащение современными электронным оборудованием и преобразователями.

Одним из необходимых видов обработки почвы является прикатывание, которое напря-

мую влияет как на качество посева, так и на последующий рост и развитие растений [4, 5, 6].

В большинстве случаев главной особенностью конструирования почвообрабатывающих катков является обеспечение требуемого удельного давления на почву, для чего приходится увеличивать массу катка, приходящуюся на 1 м ширины захвата. Это приводит к росту металлоемкости орудия. Например, минимальное удельное давление известных и наиболее распространенных почвообрабатывающих катков ЗКВГ-1,4 и ЗККШ-6 соответственно составляет  $P_{гв} = 2300$  Н/м и  $P_{ккш} = 2700$  Н/м [7, 8, 9, 10, 11, 12].

При использовании почвообрабатывающих катков с низким удельным давлением (менее 1100 Н на 1 м ширины захвата) качество обработки почвы ухудшается до 50 %, что резко снижает полевую всхожесть семян, а это, в свою



**Рис. 1 – Экспериментальный образец виброкатка**

очередь, негативно влияет на урожайность возделываемых культур.

#### **Материалы и методы исследований**

После выполненного анализа конструкций известных катков целью проводимых исследований поставили обеспечение качественного прикатывания почвы при небольшой металлоемкости почвообрабатывающего катка. На конечном этапе эвристического подхода к решению поставленной задачи нами предложена совершенно новая конструкция виброкатка (рис.1), который за счет пассивного привода дебалансиров, установленных на оси пустотелого цилиндра, обеспечивает качественную обработку почвы при низкой металлоемкости [13].

При перекачивании виброкатка по поверхности почвы создаваемая им вибрация обеспечивает уменьшение трения между частицами почвы, и в результате снижается их сопротивление сдвигу (что снижает несущую способность почвы и обеспечивает ее качественное уплотнение) [14, 15, 16, 17].

Для качественной оценки работы виброкатка необходимо исследовать влияние на процесс прикатывания составляющих главную особенность данной конструкции элементов, а именно, дебалансиров (рис.2), установленных на оси пустотелого цилиндра.

Дебалансир выполнен с возможностью изменения положения оси катка с помощью регулировочных болтов, поэтому в качестве одного из действующих независимых факторов процесса было принято положение центра масс дебалансира относительно оси катка. Для опре-



**Рис. 2 – Общий вид дебалансира**

деления центра масс дебалансира использовали программу КОМПАС 3D v 20.

Главной задачей при проектировании дебалансира – обеспечение нахождения его центра массы на заданном расстоянии от оси симметрии катка с учетом технологических ограничений и плотности выбранного металла. В итоге расхождение масс реального дебалансира и полученной 3D модели было менее 2 %, что свидетельствует о хорошем качестве выполненной работы.

При настройке виброкатка фиксировали три положения регулировочных болтов: без смещения дебалансира относительно центра оси, а также со смещением дебалансира относительно центра оси на 10 мм и на 20 мм.

#### **Результаты исследований**

Из полученных результатов (табл.1) следует, что при смещении дебалансиров относительно оси катка положение их центра тяжести изменяется примерно на эту же величину [13, 14].

Для определения статического момента  $M_d$ , Н·м, дебалансиров применим формулу:

$$M_d = k_d g m_d a, \quad (1)$$

где  $k_d$  – количество дебалансиров, установленных на оси виброкатка, шт.;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $m_d$  – масса дебалансира, кг;  $a$  – расстояние от центра оси катка, на которой установлен дебалансир, до центра тяжести дебалансира, м.

Определим амплитуду колебаний  $A_k$ , м, виброкатка при установке дебалансиров в одинаковом положении [15]:

$$A_x = \frac{M_\delta}{G_\delta + G_x}, \quad (2)$$

где  $G_\delta$  – сила тяжести дебалансиров,  $G_\delta = k_D g m_\delta$ , Н;  $G_x$  – сила тяжести виброкатка,  $G_x = g m_k$ , Н, где  $m_k$  – масса виброкатка, кг.

Выполнив соответствующие подстановки, после преобразования формулы 2 получим:

$$A_x = \frac{k_\delta m_\delta a}{k_\delta m_\delta + m_k}. \quad (3)$$

Также необходимо определить возмущающую силу  $P_\delta$ , Н, создаваемую дебалансирами, установленными на оси почвообрабатывающего катка:

$$P_\delta = k_D m_\delta \omega_\delta^2 a, \quad (4)$$

где  $\omega_\delta$  – угловая скорость вращения дебалансирами виброкатка, рад/с.

$$\omega_\delta = \frac{\pi n_\delta}{30}, \quad (5)$$

где  $n_\delta$  – частота вращения дебалансиров катка, мин<sup>-1</sup>.

Рассчитаем удельное давление,  $P_k$ , Н/м, создаваемое виброкатком на почву:

$$P_k = \frac{P_\delta + G_\delta + G_x}{l_k}, \quad (6)$$

где  $l_k$  – ширина виброкатка, м.

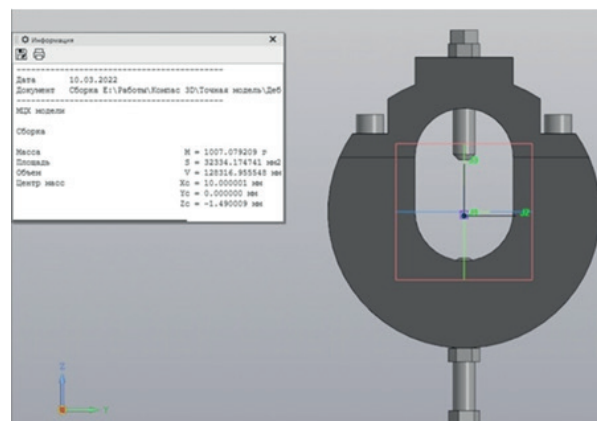
Подставив в формулу 6 выражения 4 и 5, получим уравнение следующего вида:

$$P_k = \frac{k_\delta \cdot m_\delta \cdot \left(\frac{\pi n_\delta}{30}\right)^2 a + k_D g m_\delta + g m_k}{l_k}. \quad (7)$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 1.

**Таблица 1**  
Результаты расчетов параметров виброкатка при оптимизированной частоте вращения дебалансиров 800 мин<sup>-1</sup>

Наименование показателя	Смещение дебалансиров относительно оси виброкатка, мм		
	0	10	20
Смещение центра масс дебалансиры $Y_{цм}$ , мм	1,49001	11,04408	20,69848
Возмущающая сила, создаваемая дебалансирами $P_\delta$ , Н	63,12	467,85	876,83
Амплитуда колебаний виброкатка $A_k$ , м	0,00008	0,0006	0,00113
Удельное давление виброкатка на почву $P_k$ , Н/м	732,81	1002,63	1275,28



**Рис. 3 – Определение центра масс дебалансиры с помощью программы для ПЭВМ КОМПАС 3D v 20**

Исследования предлагаемого катка в полевых условиях показали, что качество прикатывания почвы предлагаемым виброкатком с оптимизированными параметрами и режимами работы лучше, чем у наиболее распространенных катков ЗКВГ-1,4 и ЗККШ-6. Об этом свидетельствуют полученные значения коэффициента соответствия эталону, которые соответственно составляют 0,82, 0,62 и 0,59.

Таким образом, большое влияние на качество прикатывания оказали параметры вибровоздействия катка на почву, несмотря на то, что в работе были задействованы установленные в одном положении только 6 дебалансиров из имеющихся 12. Поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку влияния количества дебалансиров на качество прикатывания почвы с позиции соответствия ее плотности и структурности агротехническим требованиям.

### Обсуждение

В результате расчетов выявлено, что при смещении оси дебалансиры относительно оси виброкатка возмущающая сила дебалансиров, амплитуда колебаний виброкатка и удельное давление катка на почву увеличиваются. Следовательно, при сравнительно небольшой массе катка (105 кг, при ширине  $l = 1,5$  м) его удельное давление на почву при максимальном смещении дебалансиры относительно оси достигает 1275,28 Н/м, увеличиваясь на 74 %. При этом амплитуда колебаний составляет 0,00113 м.

Лучшее качество работы достигается за счет интенсификации процесса прикатывания при вращении дебалансиров с требуемой частотой. В конкретных условиях исследований

качество прикатывания почвы виброкатком повысилось на 32,3 % по сравнению с качеством, которое обеспечивает каток ЗККШ-6. При этом удельная металлоемкость виброкатка и катка ЗККШ-6 соответственно составляют 70 кг/м и 270 кг/м, т.е. удельная металлоемкость катка ЗККШ-6 в 2,86 раза выше, чем у предлагаемого.

#### **Заключение**

По результатам расчетов выявлено, что при смещении дебалансиров относительно оси виброкатка до максимального значения  $a = 20$  мм удельное давление виброкатком на почву изменяется с 732,81 Н/м до 1275,28 Н/м, увеличиваясь на 74 %. Это позволяет при относительно небольшой массе катка качественно прикатать почву, обеспечив соответствие ее плотности и структурности агротехническим требованиям. В результате при в 2,86 раза меньшей удельной металлоемкости виброкатка обеспечивается на 32,3 % лучшее качество обработки почвы, чем у широко применяемого в аграрном производстве катка ЗККШ-6.

#### **Библиографический список**

1. Семенихина, Ю. А. Исследование вязкоупругого состояния почвы под воздействием активной поверхности почвообрабатывающего катка / Ю. А. Семенихина // Тракторы и сельхозмашины. - 2017. - № 7. - С. 32-36.
2. Полевые исследования почвообрабатывающего катка вибрационного действия / В. Е. Прошкин, Е. С. Зыкин, В. И. Курдюмов, Е. Н. Прошкин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2021. - № 4(56). - С. 6-12.
3. Широкозахватные винтовые катки для прикатывания посевов // АгроСнабФорум. - 2015. - № 1-2(131). - С. 40.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Шаронов, И. А. Результаты исследований цилиндрико-спирального почвообрабатывающего катка / И. А. Шаронов, В. И. Курдюмов, В. Е. Прошкин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. - 2018. - Т. 13, № 4(51). - С. 135-139.
8. Шаронов, И. А. Методика и результаты экспериментальных исследований эксцентрикового катка / И. А. Шаронов, В. И. Курдюмов, А. С. Егоров // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2017. - № 4(40). - С. 199-204.
9. Синеоков, Г. Н. Проектирование почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков. - Москва : Машиностроение, 1965. - 312 с.
10. Зеленин, А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. - Москва : Машиностроение, 1968. - 367 с.
11. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины : учебник / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Колос, 1994. - 751 с. - ISBN 5-10-001744-9 (в пер.)
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. 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.
14. Иванов, А. С. Анализ работы вибрационного культиватора / А. С. Иванов, С. Ю. Трофимов // АгроЭкоИнфо. - 2021. - № 57.
15. Шапарь, М. С. Виброкаток для предпосевного прикатывания / М. С. Шапарь, А. Н. Шишлов, С. А. Шишлов // Сельский механизатор. - 2021. - № 9. - С. 18-19.
16. Патент № 176762 Российская Федерация, МПК А01В 29/04. Почвообрабатывающий каток : № 2017102069 : заявл. 23.01.2017 : опубл. 29.01.2018 / Бабицкий Л.Ф., Куклин В.А. ; патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского». - Бюл. № 4.
17. 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.

18. Методика балансировки дебалансов вибратора на вибропрессовом оборудовании / А.-М. С. Джашеев, А. М. Кидакоев, Ф. А. Акбаева, К. А.-М. Джашеев // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 3. – С. 41-46.

19. Мазитов, М. А. Маятниковый вибратор на почвообрабатывающем орудии / М. А. Мазитов, А. С. Подуруев, С. Н. Дроздов // Сельский механизатор. - 2011. - № 10. - С. 8-9.

20. Яруллин, Р. Б. Автоматический вибратор частотно-регулируемого асинхронного электропривода вибромашины с вертикальной осью вращения дебалансов / Р. Б. Яруллин, А. Р. Мулюков // Электротехнические и информационные комплексы и системы. - 2016. - Т. 12, № 3. - С. 36-43.

## TO SPECIFICATION OF THE FORCE OF A VIBRATORY ROLLER ON THE SOIL

*Kurdyumov V. I., Proshkin V. E., Proshkin E. N., Dikov V. 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.*

**Key words:** vibratory action, post-sowing rolling, roller, vibration, center of mass, unbalancers, surface tillage, soil, rolling, parameters, specific pressure.

As a result of the analysis of tillage rollers, it was revealed that the main design feature is to ensure the required specific pressure on the soil, consequently, it is necessary to increase the roller mass per 1 m of the working width, whereas it leads to metal consumption increase of the tool. Based on the obtained data, we developed a fundamentally new design of the vibratory roller, its application will ensure the fulfillment of agrotechnical requirements for soil density with a minimum metal consumption of 70 kg/m. High-quality tillage with a vibratory roller is ensured by a passive drive of unbalancers installed on the axis of a hollow cylinder. To determine the center of mass of the unbalancers, the KOMPAS 3D v 20 program was used, which allows to obtain the desired result with an accuracy of 0.000001 mm. It was revealed in the course of the theoretical study that the unbalancers create vibrations with an amplitude of 0.00008 ... 0.0011 m at a rotation frequency of 800 min<sup>-1</sup> due to their displacement in relation to the axis of the vibratory roller. Also, it was revealed that when the unbalancers are displaced in relation to the roller axis, the position of their center of gravity changes by approximately the same value. Concurrently, the specific pressure of the vibratory roller on the soil changes from 732.81 N/m to 1275.28 N/m, increasing by 74% in case of displacement of the unbalancers in relation to the axis of the vibratory roller up to the maximum value of  $a = 20$  mm. Field studies of the proposed roller showed that the quality of soil compaction by the proposed vibratory roller with improved parameters and modes of operation is better than that of the most common rollers, namely, ZKVG-1.4 and ZKKSН-6.

### *Bibliography:*

1. Semenikhina, Yu. A. Study of the viscoelastic state of the soil under the influence of active surface of the tillage roller / Yu. A. Semenikhina // Tractors and agricultural machines. - 2017. - № 7. - P. 32-36.
2. Field studies of a soil-cultivating vibratory roller / V. E. Proshkin, E. S. Zykin, V. I. Kurdyumov, E. N. Proshkin // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2021. - № 4(56). - P. 6-12.
3. Wide screw compactors for rolling of crops // AgroSnabForum. - 2015. - № 1-2 (131). - P. 40.
4. Kuzminykh, A. N. The system of presowing tillage and yield of spring barley / A. N. Kuzminykh // Vestnik of Mari State University. Series: Agricultural sciences. Economic sciences. - 2020. - V. 6, № 1(21). - P. 32-39.
5. Shishlov, S. A. Pre-sowing soil preparation with a vibratory roller for soybeans in the conditions of the Primorsky Territory / S. A. Shishlov, A. N. Shishlov, M. S. Shapar // Agrarian Vestnik of Primoriye. - 2017. - № 3(7). - P. 57-59.
6. Rudenko, N. E. How to reduce energy costs and improve quality parameters in case of solid tillage / N. E. Rudenko, K. D. Padaltsin // Vestnik of the AIC of Stavropol. - 2014. - № 1 (13). - P. 66-68.
7. Sharonov, I. A. Research results of a cylindrical-spiral soil-cultivating roller / I. A. Sharonov, V. I. Kurdyumov, V. E. Proshkin, // Vestnik of Kazan State Agrarian University. - 2018. - V. 13, № 4 (51). - P. 135-139.
8. Sharonov, I. A. Methods and results of experimental studies of an eccentric roller / I. A. Sharonov, V. I. Kurdyumov, A. S. Egorov // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2017. - № 4(40). - P. 199-204.
9. Sineokov, G. N. Designing of tillage machines / G. N. Sineokov. - Moscow: Mashinostroenie, 1965. - 312 p.
10. Zelenin, A. N. Fundamentals of soil destruction by mechanical methods / A. N. Zelenin. - Moscow: Mashinostroenie, 1968. - 367 p.
11. Klenin, N. I. Agricultural and reclamation machines: textbook / N. I. Klenin, V. A. Sakun. - 3rd ed., revised. and add. - Moscow: Kolos, 1994. - 751 p. – ISBN 5-10-001744-9 ( translated)
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. Patent № 2752988 Russian Federation, IPC A01B 29/04. Tillage roller : № 2020137977 : Appl. 18.11.2020: publ. 11.08.2021 / Kurdyumov V. I., Proshkin V. E., Proshkin E. N., Dikov V. V.; Patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. - Bull. № 23.
14. Ivanov, A. S. Analysis of operation of a vibratory cultivator / A. S. Ivanov, S. Yu. Trofimov, // AgroEcolInfo. - 2021. - № 57.
15. Shapar, M. S. Vibratory roller for pre-sowing rolling / M. S. Shapar, A. N. Shishlov, S. A. Shishlov / Rural machine operator. - 2021. - № 9. - P. 18-19.
16. Patent № 176762 Russian Federation, IPC A01B 29/04. Tillage roller : № 2017102069 : Appl. 23.01.2017: publ. 29.01.2018 / Bobitskiy L.F., Kuklin V.A. ; Patent holder Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Crimean Federal University named after V.I. Vernadskiy". - Bull. № 4.
17. Application of mulching rollers in design of combined tillage machines / S. I. Kambulov, G. G. Parkhomenko, Yu. A. Semenikhina, I. V. Bozhko // Tavricheskiy Vestnik of Agrarian Science. - 2020. - № 3(23). - P. 113-121.
18. Method of balancing of vibrator unbalances on vibropress equipment / A.-M. S. Dzhashheev, A. M. Kidakoev, F. A. Akbaeva, K. A.-M. Dzhashheev // Modern science-intensive technologies. - 2018. - № 3. - P. 41-46.
19. Mazitov, M. A. Pendulum vibrator on a soil-cultivating tool / M. A. Mazitov, A. S. Poduruev, S. N. Drozdov // Rural machine operator. - 2011. - № 10. - P. 8-9.
20. Yarullin, R. B. Automatic vibrator of a frequency-controlled asynchronous electric drive of a vibrator with a vertical axis of rotation of unbalances / R. B. Yarullin, A. R. Mulyukov // Electrotechnical and information complexes and systems. - 2016. - V. 12, № 3. - P. 36-43.