

УДК 631.319

DOI: 10.5281/zenodo.7898510

EDN HFFDBB

Соболевский И. В.¹, Куклин В. А.^{1,2}, Калафатов И. И.¹

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ВЫРАВНИВАТЕЛЯ ДЛЯ СТЕРНЕВОГО КУЛЬТИВАТОРА

¹ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»;

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

Реферат. В современном сельском хозяйстве важное место при обработке почвы занимает выровненность поверхности почвенного пласта. Оптимально выровненная поверхность поля дает возможность заделки на требуемую глубину от 64 до 72 % высеянных семян зерновых культур, при этом не выровненная поверхность снижает эти показатели до 29–35 %. Использование секции упругих выравнивателей в конструкции комбинированного почвообрабатывающего технического средства позволяют повысить качество крошения и выравнивания микрорельефа благодаря равномерному распределению почвенных агрегатов по всей его ширине захвата перед секцией катков. Цель исследований – теоретически обосновать основные конструктивные параметры рабочих органов упругих выравнивателей. Теоретические исследования проведены в отделе механизации производства и разработки новых образцов оборудования ФГБУН «НИИСХ Крыма» в 2022 г. При обосновании параметров рабочих органов упругих выравнивателей использовались основные положения теоретической механики, теории колебаний и удара, движения тела по фрикционной плоскости, о механическом подобии земледельческой механики. Для предложенной конструкции секции упругих выравнивателей применительно к рыхлительным рабочим органам с учетом физико-механических свойств почвы и режимов её обработки получены теоретические зависимости для определения высоты установки выравнивателей Δh , угла раствора крыльев γ , длины крыла $l_{кр}$ и угла наклона крыла выравнивателя α . Анализ полученной теоретической зависимости для тягового сопротивления показал, что наиболее существенное влияние на технологический процесс оказывает показатель гребнистости $H_{гр}$ и величина рабочей скорости $V_{раб}$. При работе на скоростях 10–12 км/ч и при показателе гребнистости 0,1 м значение тягового сопротивления секции выравнивателей составит около 200 Н.

Ключевые слова: гребнистость, стерневой культиватор, рабочий орган выравнивателя, тяговое сопротивление.

Для цитирования: Соболевский И. В., Куклин В. А., Калафатов И. И. Обоснование конструктивных параметров рабочих органов выравнивателя для стерневого культиватора // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 104–112. DOI: 10.5281/zenodo.7898510. EDN: HFFDBB.

For citation: Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Kalafatov I. I. Justification of design parameters of working bodies of the leveler for stubble cultivator // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 1(33). P. 104–112. DOI: 10.5281/zenodo.7898510. EDN: HFFDBB.

Введение

В современном сельском хозяйстве важное место при обработке почвы занимает выровненность поверхности почвенного пласта. Микрорельеф почвы оказывает значительное влияние на её структуру, распыление, водный режим, рост и развитие растений. Оптимально выровненная поверхность поля дает возможность

заделки на требуемую глубину от 64 до 72 % высеянных семян зерновых культур, при этом не выровненная поверхность снижает эти показатели до 29–35 % [1].

Как показывает анализ существующих технических средств сельскохозяйственного машиностроения и их рабочих органов, используемых для выравнивания поверхности микрорельефа почвы, основное применение нашли рабочие органы, имеющие такой характер движения как: вращательный, вибрационный, комбинированный, поступательный. При этом в полном объеме не изучены рабочие органы почвообрабатывающих технических средств поступательного движения [2].

В работах зарубежных ученых, таких как Francisco P. F. [3], Michael H. [4] при анализе исследования воздействия выравнивающих рабочих органов на почву в качестве начального требования принято обязательное перемещение почвенных агрегатов по рабочей поверхности. Такой анализ динамики перемещения почвенных агрегатов позволяет более точно описать исследуемый процесс оптимальной деформации выравниваемого микрорельефа почвенного профиля на гребнях и бороздах. Дополнительно должны быть учтены исходные характеристики обрабатываемого почвенного пласта при взаимодействии с исследуемым рабочим органом. Дальнейшее обоснование энергетических и качественных показателей позволит обосновать рациональные конструктивные параметры и режимы работы рабочего органа при проведении почвенной обработки [5].

В работах отечественных ученых особого внимания заслуживает вклад академика Горячкина В. П., который проанализировал и обосновал технологические режимы работы как полозовидных, так и ротационных рабочих органов, взяв за основу созданную им теорию земледельческой механики [6]. Габаевым А. Х. при обосновании работы заделывающих рабочих органов ротационного типа особое внимание уделено изучению бороздообразующих накладок на рабочей (скользящей) части выравнивателя [7].

При разработке комбинированного почвообрабатывающего технического средства, работающего в условиях ветровой эрозии с сохранением стернового фона и минимального образования эрозионно-опасных частиц, были исключены ротационные зубчатые диски. Их основной функцией являлось выравнивание поверхности и создание мульчированного слоя, при этом происходило полное разрушение стернового фона и формировались эрозионно-опасные частицы [8, 9]. Данные рабочие органы были заменены на упругие выравниватели в виде полозовидных загортачей (рисунок 1).

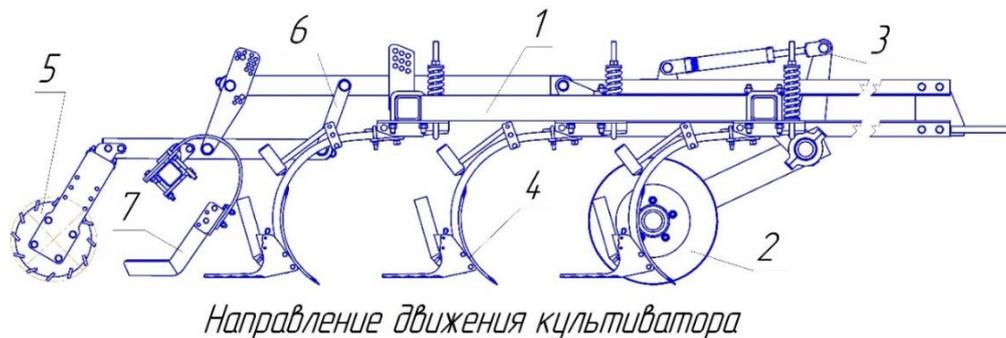


Рисунок 1 – Общий вид комбинированного почвообрабатывающего технического средства: 1 – рама; 2 – колеса; 3 – механизм регулировки глубины обработки; 4 – рыхлительные рабочие органы; 5 – секции катка; 6 – двухбалочная параллелограммная рама; 7 – секция выравнивателей на упругих стойках

Использование секции упругих выравнивателей в конструкции комбинированного почвообрабатывающего технического средства позволяет повысить качество крошения и выравнивания микрорельефа благодаря равномерному распределению почвенных агрегатов по всей его ширине захвата перед секцией катков [10].

Цель исследований – теоретически обосновать основные конструктивные параметры рабочих органов упругих выравнивателей.

Материалы и методы исследований

Теоретические исследования проведены в отделе механизации производства и разработки новых образцов оборудования ФГБУН «НИИСХ Крыма» в 2022 г. При обосновании параметров рабочих органов упругих выравнивателей использовались основные положения теоретической механики, теории колебаний и удара, движения тела по фрикционной плоскости, о механическом подобии земледельческой механики.

Результаты и их обсуждение

В процессе культивации, кроме образования гребнистой поверхности происходит вспушивание почвы и возрастает толщина взрыхленного слоя на величину Δh :

$$\Delta h = H - h_{\text{обр}} = h_{\text{обр}}(k_{\text{вс}} - 1), \quad (1)$$

где $h_{\text{обр}}$ – установленная глубина обработки;

H – фактическая глубина обработки;

$k_{\text{вс}}$ – коэффициент вспушенности почвы, $k_{\text{вс}} = 1,15$.

Установка выравнивателей должна производиться на расстоянии равном Δh относительно уровня необработанной поверхности поля, в этом случае будет обеспечиваться равенство объемов почвы в срезаемых вершинах гребней и пустот впадин и только в этом случае может быть достигнуто равномерное распределение почвенной массы по всей рабочей ширине захвата агрегата.

В соответствии с расчетной схемой, представленной на рисунке 2, и с учетом формулы (1) высота срезаемой верхней части гребня $h_{\text{гр.ср.}}$ составит:

$$h_{\text{гр.ср.}} = h_{\text{гр}} - \Delta h = k_{\text{гр}} H_{\text{гр}} - h_{\text{обр}}(k_{\text{вс}} - 1), \quad (2)$$

где $h_{\text{гр}}$ – высота гребней;

$k_{\text{гр}}$ – коэффициент гребнистости, $k_{\text{гр}} = h_{\text{гр}}/H_{\text{гр}}$;

$H_{\text{гр}}$ – гребнистость почвы.

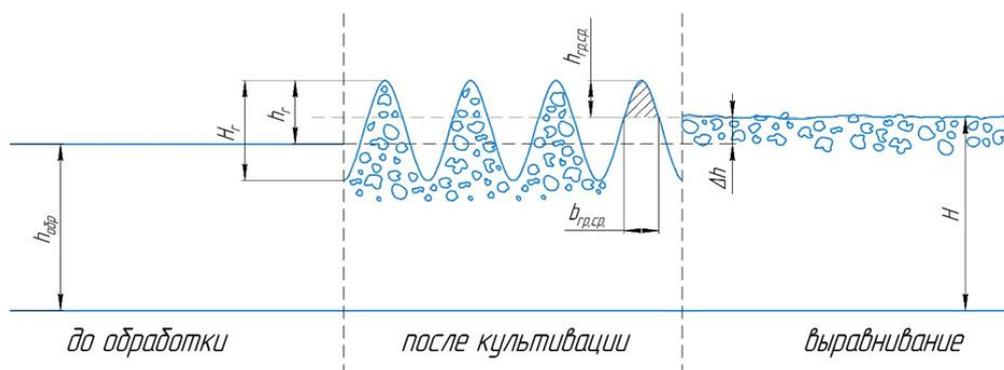


Рисунок 2 – Расчетная схема к обоснованию высоты срезаемой верхней части гребня $h_{\text{гр.ср.}}$

Принимая в первом приближении форму поперечного сечения срезаемого почвенного гребня в виде равнобедренного треугольника найдем его площадь:

$$S_{гр.ср.} = \frac{1}{2} h_{гр.ср.} \cdot b_{гр.ср.} \quad (3)$$

Ширина основания срезаемой части гребня $b_{гр.ср.}$ составит:

$$b_{гр.ср.} = \frac{h_{гр.ср.}}{tg\varphi_2}, \quad (4)$$

где φ_2 – угол при основании равнобедренного треугольника, равный углу внутреннего трения почвы.

Преобразовав формулу (3) с учетом зависимостей (2) и (4), получим итоговую зависимость для определения площади поперечного сечения срезаемой части гребня:

$$S_{гр.ср.} = \frac{[k_{гр}H_{гр} - h_{обп}(k_{вс} - 1)]^2}{2tg\varphi_2}. \quad (5)$$

Равномерное распределение почвы по всей ширине зоны обработки будет достигаться в том случае, когда сгруживание почвы перед рабочими органами выравнителя отсутствует. В соответствии с расчетной схемой на рисунке 3 условие беспрепятственного схода комка почвы по крылу выравнителя, установленному под углом γ к направлению движения, будет иметь вид:

$$F_d \cos\gamma > F_{тр}, \quad (6)$$

где F_d – сила давления комка почвы на рабочую поверхность крыла выравнителя;

$F_{тр}$ – сила трения почвы о поверхность рабочего органа.

Принимая во внимание, что $F_{тр} = fN = fF_d \sin\gamma$, из формулы (6) получим следующее выражение для предельного значения угла раствора крыльев выравнителя:

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - arctg(f), \quad (7)$$

где f – коэффициент трения почвы о поверхность крыла.

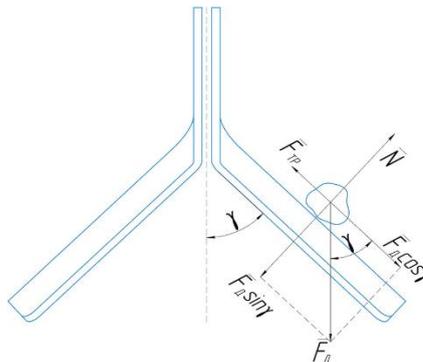


Рисунок 3 – Расчетная схема к обоснованию угла раствора крыльев выравнителя

Чтобы расширить диапазон почвенных условий, на которых возможна работа данных рабочих органов выравнителя, учтем, что при обработке почв повышенной влажности при налипании происходит трение почвы о почву. Поэтому, в качестве расчётного значения коэффициента трения f следует использовать коэффициент внутреннего трения почвы $f = tg\varphi_2$. В результате расчетов получаем предельное значение угла $\gamma = 51,3^\circ$ и округляем его до 50° . Таким образом, угол раствора крыльев выравнителя составит 100° .

На схеме (рисунок 4) показано двухрядное расположение рабочих органов стерневого культиватора, после прохода которых вершины образуемых гребней будут располагаться в зоне перекрытия крыльев стрелчатых лап, а расположение впадин будет совпадать с траекторией прохода стоек культиваторных лап.

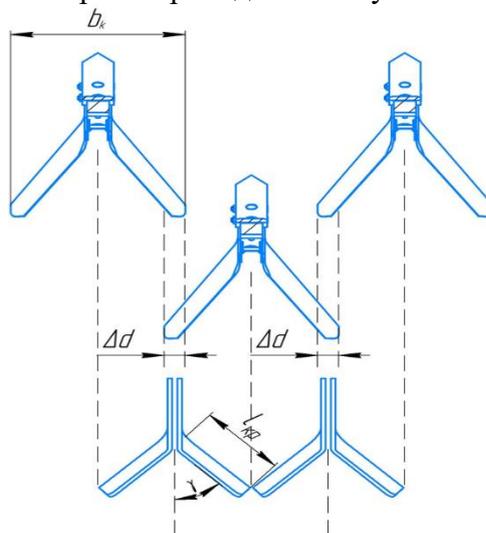


Рисунок 4 – Схема расположения рабочих органов выравнителя

Рациональное значение ширины захвата крыла рабочего органа выравнителя равно:

$$b_{кр} = \frac{b_k - \Delta d}{2} + \Delta b, \quad (8)$$

где b_k – ширина захвата культиваторной лапы;

Δd – перекрытие культиваторных лап, $\Delta d = 0,05$ м;

Δb – величина бокового смещения вершин формируемых при культивации гребней, $\Delta b = 0,03$ м.

Длина крыла выравнителя:

$$l_{кр} = \frac{b_{кр}}{\sin \gamma}. \quad (9)$$

Для обоснования угла наклона крыла α воспользуемся расчетной схемой, изображенной на рисунке 5, и рассмотрим процесс движения почвы по крылу выравнителя в вертикальной плоскости.

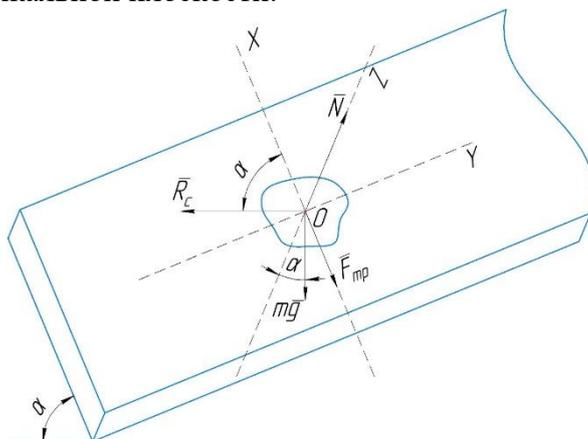


Рисунок 5 – Расчетная схема к обоснованию угла наклона крыла выравнителя α

Спроецируем действующие силы на оси OX и OZ пространственной прямоугольной системы координат XYZ и получим следующие уравнения движения:

$$R_c \cos \alpha - mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = ma, \quad (10)$$

$$N - R_c \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0. \quad (11)$$

Принимая во внимание, что $F_{\text{тр}} = fN$, получим решение системы уравнений 10–11 относительно угла α в следующем виде:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R_c - fmg}{mg + fR_c}. \quad (12)$$

Величину силы сопротивления R_c , зависящую от геометрических размеров призмы волочения, образующейся перед рабочим органом, представим в виде $R_c = kmg$, где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от физико-механических свойств взрыхленной почвы, геометрических характеристик рабочего органа и скорости выравнителя.

С учетом вышеизложенного, выражение (12) можно записать в виде:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{k-f}{k+f} \right). \quad (13)$$

Анализируя выражение (13) отметим, что при возрастании коэффициента пропорциональности k искомый угол α будет стремиться к предельному значению 45° , выше которого скольжение почвы вверх по крылу прекращается.

Запишем условие не пересыпания почвы через крыло рабочего органа:

$$\Delta h + h_{\text{кр}} \cdot \sin \alpha \geq H_{\text{Г}}^{\max}. \quad (14)$$

Откуда получим рациональное значение угла наклона крыла α :

$$\alpha = \operatorname{arcsin} \left(\frac{H_{\text{Г}}^{\max} - h_{\text{обр}}(k_{\text{вс}} - 1)}{h_{\text{кр}}} \right). \quad (15)$$

Энергоемкость процесса выравнивания почвы будет зависеть от рельефа поверхности поля, образованного в результате предшествующей операции, геометрических характеристик выравнивающих рабочих органов и выбранного режима обработки.

Применим закон сохранения импульса для блока почвы массой m перемещаемого рабочим органом:

$$(F_{\text{вырав}} - F_{\text{сопр}}) \cdot \Delta t = m_{\text{почвы}} \cdot (V_{\text{кон}} - V_0), \quad (16)$$

где $F_{\text{вырав}}$ – усилие, воздействующее на срезаемый гребень со стороны рабочего органа выравнителя;

$F_{\text{сопр}}$ – сила сопротивления, возникающая при перемещении гребней во впадины.

Принимая во внимание, что начальная скорость почвы $V_0 = 0$, а значение конечной скорости, перед сходом с рабочего органа, приближается к значению рабочей скорости почвообрабатывающего агрегата $V_{\text{кон}} \approx V_{\text{раб}}$, и учитывая, что $\Delta t = \frac{L_{\text{эф.}}}{V_{\text{раб}}}$, а масса $m_{\text{почвы}} = \rho \cdot S_{\text{гр.ср.}} \cdot L_{\text{эф.}}$, преобразуем выражение (16) к следующему виду:

$$F_{\text{вырав}} = F_{\text{сопр}} + \rho \cdot S_{\text{гр.ср.}} \cdot V_{\text{раб}}^2. \quad (17)$$

Сила сопротивления почвенной массы обусловлена в значительной степени трением между частицами почвы $F_{\text{сопр}} \approx f \cdot N = f \cdot m_{\text{почвы}} \cdot g$.

После преобразований, из выражения (17) с учетом формулы (5) получим выражение для определения тягового сопротивления одного рабочего органа выравнителя:

$$F_{\text{вырав}} = \rho \cdot \frac{[k_{\text{гр}} H_{\text{гр}} - h_{\text{обр}}(k_{\text{вс}} - 1)]^2}{2tg\varphi_2} \cdot (f \cdot g \cdot L_{\text{эф.}} + V_{\text{раб}}^2), \quad (18)$$

где $L_{\text{эф.}}$ – эффективная длина перемещаемого рабочим органом блока почвы,

$$L_{\text{эф.}} = \frac{h_{\text{гр.ср.}}}{tg\varphi_2} \cdot \cos \gamma;$$

g – ускорение свободного падения.

Как показал анализ теоретической зависимости (18), наиболее существенное влияние на тяговое сопротивление оказывает показатель гребнистости $H_{гр}$ и величина рабочей скорости обработки $V_{раб}$ (рисунок 6).

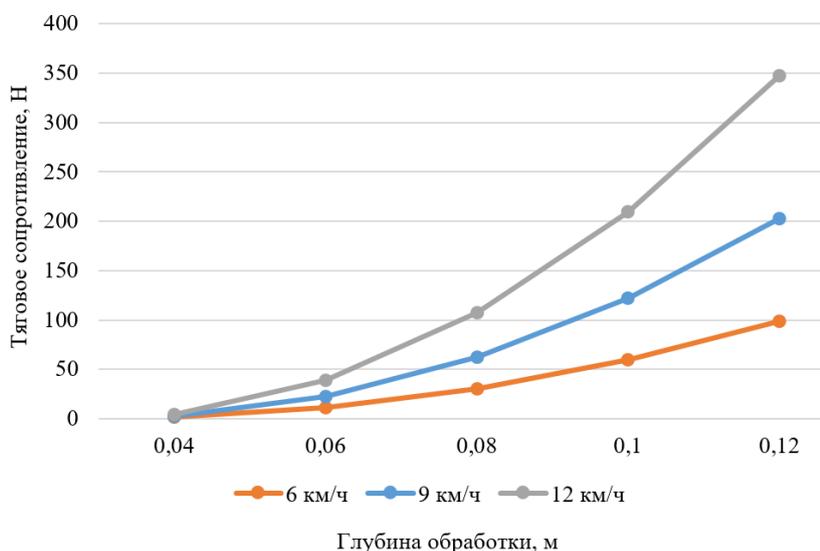


Рисунок 6 – Теоретическая зависимость тягового сопротивления выравнителя от гребнистости почвы

Выводы

На основании предложенной схемы расстановки обоснованы основные геометрические параметры рабочих органов секции выравнителей почвы в составе комбинированного почвообрабатывающего технического средства. С учетом физико-механических свойств почвы и режимов обработки получены теоретические зависимости для определения высоты установки выравнителей Δh , угла раствора крыльев γ , длины крыла $l_{кр}$ и угла наклона крыла выравнителя α . Анализ полученной теоретической зависимости для тягового сопротивления показал, что наиболее существенное влияние на технологический процесс оказывает показатель гребнистости $H_{гр}$ и величина рабочей скорости $V_{раб}$. При работе на скоростях 10–12 км/ч и при показателе гребнистости 0,1 м значение тягового сопротивления секции выравнителей составит около 200 Н.

Литература

1. Никифоров М. В., Голубев В. В. Выравнитель почвы для возделывания льна-долгунца // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 3 (32). С. 141–145.
2. Шапарь М. С., Шишлов А. Н. К обоснованию кинематических параметров движения шпору виброкатка // Материалы Межвузовской научно-практической конференции «Молодые учёные – агропромышленному комплексу Дальнего Востока» и 48-й студенческой научной конференции. Вып. 12. Уссурийск: Приморский ГСХА, 2012. С. 22–25.
3. Fontes F. P. Soil and water conservation technology adoption and labour allocation: evidence from Ethiopia // World Development. 2020. Vol. 127. Art. No. 104754. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.104754.
4. Hofbauer M., Bloch R., Bachinger J., Gerke H. H. Effects of shallow non-inversion tillage on sandy loam soil properties and winter rye yield in organic farming // Soil and Tillage Research. 2022. Vol. 222. Art. No. 105435. DOI:10.1016/j.still.2022.105435.
5. Aikins K. A., Antille D. L., Ucgul M., Barr J. B., Jensen T. A., Desbiolles J. M. A. Analysis of effects of operating speed and depth on bentleg opener performance in cohesive soil using the discrete element method // Computers and Electronics in Agriculture. 2021. Vol. 187. Art. No. 106236. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106236.

6. Горячкин В. П. Собрание сочинений в 3-х томах. Т. 2. М.: Колос, 1965. 459 с.
7. Габаев А. Х., Каскулов М. Х. Определение сил сопротивления резанию лезвия бороздообразующего катка // Известия КБГАУ. 2014. № 3. С. 88–91.
8. Патент № 206913 РФ «Выравниватель почвы» // Авторы: Соболевский И. В., Бабицкий Л. Ф., Паштецкий В. С., Калафатов И. И. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». 30.09.2021. Бюл. № 28. 6 с.
9. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Теоретические предпосылки к бионическому обоснованию параметров рабочих органов пружинного выравнивателя почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. № 1. С. 48–56. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.48-56.
10. Заявка №2023100866/10(001691) РФ «Комбинированный культиватор» // Авторы: Соболевский И. В., Калафатов И. И., Куклин В. А. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (RU); дата подачи 16.01.2023. 1 с.

References

1. Nikiforov M. V., Golubev V. V. Soil leveler for flax cultivation // Vestnik VIESH. 2018. No. 3 (32). P. 141–145.
2. Shapar M. S., Shishlov A. N. To substantiate the kinematic parameters of the movement of the spur of the vibratory roller // Proceedings of the Interuniversity scientific and practical conference “Young scientists – the agro-industrial complex of the Far East” and the 48th student scientific conference. Iss. 12. Ussuriysk: Primorskaya State Agricultural Academy, 2012. P. 22–25.
3. Fontes F. P. Soil and water conservation technology adoption and labor allocation: evidence from Ethiopia // World Development. 2020. Vol. 127. Art. No. 104754. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.104754.
4. Hofbauer M., Bloch R., Bachinger J., Gerke H. H. Effects of shallow non-inversion tillage on sandy loam soil properties and winter rye yield in organic farming // Soil and Tillage Research. 2022. Vol. 222. Art. No. 105435. DOI:10.1016/j.still.2022.105435.
5. Aikins K. A., Antille D. L., Ucgul M., Barr J. B., Jensen T. A., Desbiolles J. M. A. Analysis of effects of operating speed and depth on bentleg opener performance in cohesive soil using the discrete element method // Computers and Electronics in Agriculture. 2021. Vol. 187. Art. No. 106236. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106236.
6. Goryachkin V. P. Collected works in 3 volumes. Vol. 2. Moscow: Kolos, 1965. 459 p.
7. Gabaev A. Kh., Kaskulov M. Kh. Determination of the forces of cutting resistance cutting blades furrowforming rink // Izvestia of KBSAU. 2014. No. 3. P. 88–91.
8. Patent RF No. 206913. Soil leveler // Authors: Sobolevsky I. V., Babitsky L. F., Pashtetsky V. S., Kalafatov I. I. Patentee: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. 30.09.2021. Bull. No. 28. 6 p.
9. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Theoretical prerequisites for the bionic substantiation of spring soil leveler working bodies parameters // Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East. 2019. Vol. 20. No. 1. P. 48-56. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.48-56.
10. Application No. 2023100866/10(001691) RF “Combined cultivator” // Authors: Sobolevsky I.V., Kalafatov I.I., Kuklin V.A. Patentee: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea” (RU); date of filing: 16.01.2023. 1 p.

UDC 631.319

Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Kalafatov I. I.

JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF WORKING BODIES OF THE LEVELER FOR STUBBLE CULTIVATOR

Summary. In modern agriculture, one of the main tasks in tilling the land before planting is to level the surface of the fields. An optimally leveled field surface enables 64 to 72 % of the seeds to be sown to the required depth, while non-leveled one reduces this figure to 29–35 %. The use of a section of elastic levelers in the design of a combined soil-cultivating technical tool makes it possible to improve the quality of crushing and leveling the micro relief due to the uniform distribution of soil aggregates over its entire working width in front of the roller section. The purpose of the research was to theoretically substantiate the main design parameters of the working bodies of elastic levelers. Theoretical studies were carried out in 2022 at the Department of Mechanization of Production and Development of New Types of Equipment (FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”). The basic principles of theoretical mechanics, theory of vibrations and impact, theory of motion of a body on a

friction plane and theory of mechanical similarity of agricultural mechanics were used to justify the parameters of elastic levelers. For the proposed design of the section of elastic levelers, in relation to loosening working bodies, taking into account physical and mechanical properties of the soil and the modes of its processing, theoretical dependencies were obtained to determine the installation height of the levelers Δh , the opening angle of the wings γ , the length of the wing l_{len} and the angle of inclination of the leveler wing α . An analysis of the obtained theoretical dependence for traction resistance showed that the most significant influence on the technological process is provided by the ridge index H_{rid} and the value of the operating speed V_{work} . When operating speed is equal to 10–12 km/h and ridge index reaches 0.1 m, the value of the traction resistance of the section of levelers will be about 200 N.

Keywords: rowing, stubble cultivator, working body of the leveler, traction resistance.

Соболевский Иван Витальевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий отделом механизации производства и разработки новых образцов техники, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail sobolevskii-ivan@mail.ru.

Куклин Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»; 295007, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Вернадского, 4; e-mail: kuklin-va@mail.ru.

Калафатов Ильяс Идрисович, заведующий лабораторией основ сельскохозяйственной агроинженерии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ikalafatov@mail.ru.

Sobolevsky Ivan Vitalievich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor, head of the Department of mechanization of production and development of new types of equipment, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: sobolevskii-ivan@mail.ru.

Kuklin Vladimir Alekseevich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor of the Department of technical systems in agribusiness, V.I. Vernadsky Crimean Federal University; 4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russia; e-mail: kuklin-va@mail.ru.

Kalafatov Ilyas Idrisovich, head of the Laboratory of fundamentals of agricultural agroengineering, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: ikalafatov@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 20.01.2023.

Дата принятия к печати – 03.03.2023.