

МЕХАНИЗАЦИЯ / MECHANIZATION

УДК 631.314:612

doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.48-56

Теоретические предпосылки к бионическому обоснованию параметров рабочих органов пружинного выравнивателя почвы*

© 2019. **Л.Ф. Бабицкий, И.В. Соболевский, В.А. Куклин**

Академия биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация

*В системе мероприятий по предпосевной обработке почвы особое значение следует уделять выравниванию почвы, обеспечивающему повышение равномерности заделки семян по глубине, оказывающему существенное влияние на увеличение урожайности. Основным решением данной проблемы является совершенствование конструкции выравнивателей с использованием механико-бионического подхода для аналитического описания оптимальных форм и параметров их рабочих органов. Предлагается конструкция рабочего органа пружинного выравнивателя почвы, режущие кромки подрезающих крыльев которого имеют выступы и впадины по форме логарифмической кривой с положительной выпуклостью кривизны во внутрь впадин, разработанная по бионическому прототипу медведки (*Gryllotalpa*). С использованием методов земледельческой механики определены теоретические зависимости рациональной глубины хода рабочих органов и величины тягового сопротивления пружинного выравнивателя почвы от скорости движения, конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы, которые подтверждаются результатами экспериментальных исследований на черноземе южном карбонатном среднесуглинистом. Экспериментальный пружинный выравниватель почвы обеспечивал снижение тягового сопротивления на 7...8% (40...49 Н) и имел лучшую устойчивость хода по глубине в среднем в 1,5 раза ($\pm 0,5$ см) в сравнении с серийной моделью рабочих органов выравнивателя ВПН-5,6А.*

Ключевые слова: выравнивающие устройства, биологический прототип, гребни, впадины, мощность, тяговое сопротивление, рабочий орган

Для цитирования: 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; 20(1):48-56. DOI: 10.30766/2072-9081.20.1.48-56.

Theoretical prerequisites for the bionic substantiation of spring soil leveler working bodies parameters*

© 2019. **L.F. Babitsky, I.V. Sobolevsky, V.A. Kuklin**

Academy of Bioresources and Environmental Management (Academic Unit) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation

*In the system of measures for pre-sowing tillage, special attention should be given to leveling the soil, ensuring an increase in the uniformity of seeding in depth, which has a significant impact on increasing yields. The main solution to this problem is to improve the design of aligners using a mechanical-bionic approach for the analytical description of the optimal forms and parameters of their working bodies. The design of the working body of the spring soil leveler is proposed, the cutting edges of the undercutting wings of which have ridges and hollows in the form of a logarithmic curve with a positive convexity of curvature inside the depressions, developed by the bionic prototype of the mole cricket (*Gryllotalpa*). Using the methods of agricultural mechanics, the theoretical dependence of the rational depth of the working bodies and the value of the tractive resistance of spring soil leveler on the travel speed, design parameters and physical-mechanical soil properties, which are proved by the results of experimental research on the south carbonated middle loamy black earth have been established. The experimental spring soil leveler provided the reduction of traction resistance by 7...8% (40...49 N) and had the best stability of motion in depth by an average of 1.5 times (± 0.5 cm) in comparison with the serial model of the working bodies of the leveler VPN-5.6 A.*

Key words: leveling devices, biological prototype, ridges, hollows, power, traction resistance, working body

For citation: Babitsky L.F., Sobolevsky I.V., Kuklin V.A. Theoretical prerequisites for the bionic substantiation of spring soil leveler working bodies parameters. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(1):48-56. (In Russ.). DOI :10.30766/2072-9081.2019.20.1.48-56.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования, науки и молодежи Республики Крым в рамках научного проекта № 18-48-910001.

Введение. При эксплуатации существующих выравнивающих устройств почвообрабатывающих агрегатов была выявлена их громоздкость и повышенные энергозатраты [1]. Испытания почвообрабатывающего агрегата АКП-5 показали, что образуются борозды в стыках смежных проходов. Не обеспечивается достаточная выровненность поверхности по всей ширине захвата.

Также возникают технологические отказы на почвах с высокой влажностью более 20%. В связи с этим, особое внимание следует уделить процессу выравнивания почвы. Существующие конструкции серийных выравнивающих устройств почвообрабатывающих агрегатов не могут обеспечить требуемое качество выравнивания поверхности почвы, особенно в почвенно-климатических зонах с недостаточным количеством осадков. Основным решением данной проблемы является совершенствование выравнивателей с использованием методов земледельческой механики¹ и механико-бионического подхода для аналитического описания оптимальных форм и параметров их рабочих органов [2, 3, 4].

Обоснование типа рабочих органов и их параметров, позволяющих улучшить качество выравнивания микрорельефа, снизить энергозатраты, расширить диапазон почвенных условий для их безотказной работы является актуальной задачей [3, 5].

Изучением процесса выравнивания и обоснованием параметров выравнивающих устройств занимались М.М. Севернев, А.И. Анохин, О.М. Мацепуро, Ю.И. Кузнецов, П.Н. Бурченко, П.М. Василенко, А.Ф. Жук, В.П. Мармалюков, Н.В. Даценко, Н.Ю. Матяшин, А.В. Шубин [3], А.Н. Гудков² и ряд других исследователей [6, 7, 8].

Анализируя рабочие процессы используемых для выравнивания поверхности почвы сельскохозяйственных машин [9, 10], можно отметить, что, как указывал А.Н. Гудков, при механическом воздействии рабочих органов на почву в недостаточной степени учитываются свойства почвы, растений и характер их поведения как живой материи в сочетании с окружающей средой. Обоснование рациональных форм и параметров рабочих органов – выравнивателей почвы без учета всей специфики

агроценоза не позволяет использовать постулаты общей теории систем и основные положения бионики. В этой связи остаётся нерешённым вопрос создания рабочих органов-выравнивателей по принципу биологических аналогов и придания им некоторых свойств и характеристик живых организмов.

Цель исследований – разработка теоретических предпосылок к бионическому обоснованию оптимальных параметров рабочих органов пружинного выравнивателя почвы.

Материал и методы. При бионических исследованиях использовали методы теоретической механики, общей теории систем, механики сплошной среды.

Исследования проводили в научно-исследовательской лаборатории бионической агроинженерии кафедры механизации и технического сервиса в АПК на почвенном канале с тензостанцией ZETLAB ZET 017-T8, видео- и фотофиксацией в сентябре-октябре 2018 г.

Объектом теоретического исследования являлся технологический процесс взаимодействия рабочих органов пружинного выравнивателя с почвой.

Результаты и их обсуждение. Поискные исследования существующих биологических прототипов животных землероев показали, что особое внимание заслуживает процесс ударного воздействия в сочетании с многоконттактными рабочими органами, который приводит к принципу многоконттактно-ударного действия на почву [11, 12, 13].

В соответствии со вторым постулатом общей теории систем об их организации, для периодического сжатия и скалывания блока почвы рабочий орган пружинного выравнивателя почвы обеспечивает реализацию основных реологических особенностей на основе реологической модели тела Шведова и выполняет вибрационно-импульсное перемещение по поверхности почвы, разрушая при этом почвенные агрегаты.

Особый интерес совершенства зубчатых роющих органов насекомых-землероев, адаптированных к вибрационно-импульсному перемещению по верхнему слою почвы, представляет медведка (*Gryllotalpa*) (рис. 1, а). Основные функции рыхания у медведки выполняют передние конечности.

¹Горячкин В.П. Собрание сочинений: в 3-х т. М.: Колос, 1965. Т.1. 720 с.; Т. 2. 459 с.

²Гудков А.Н. Теоретические основы построения рабочих процессов сельскохозяйственных машин с учетом характера живой материи растений, животных, почвы. Кн.: Земледельческая механика. М.: Машиностроение, 1966. Т. 9. С. 86-97.

У медведки сильно видоизменены передние конечности, которые хорошо приспособлены к копанию и передвижению в почвенном слое. Зубцы шириной $2a$ расположены на ноге с шагом S (рис. 1, в) [13]. Обитая в почве, медведка делает проходы глубиной до

одного метра. Как показывает анализ кинематики процесса рыхления почвы конечностью медведки, лапка за счет массивного бедра выполняет одновременно два вида движения: возвратно-поступательное и полукруговое (рис. 1, б) [13].

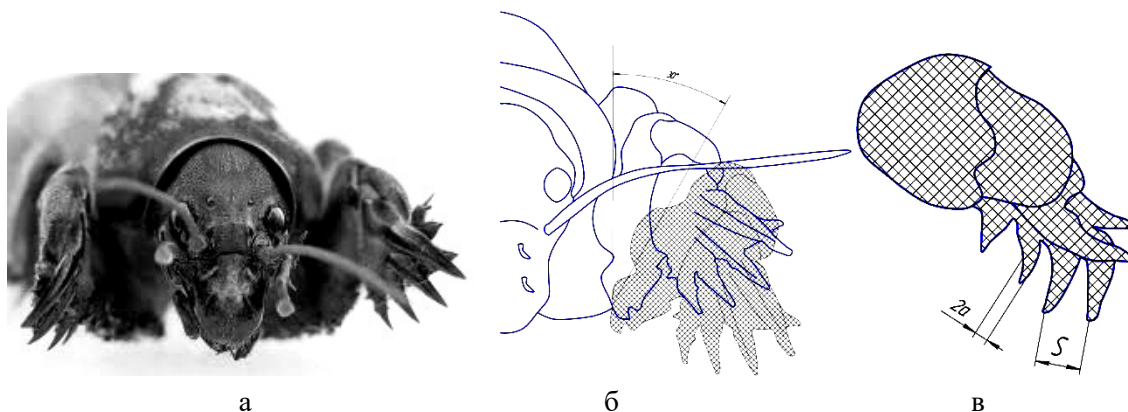


Рис. 1. Общий вид медведки (*Gryllotalpa*): а) фото медведки;

б) продольная проекция движения роющей конечности медведки; в) роющая конечность

Fig. 1. General view of the mole cricket (*Gryllotalpa*): а) photo of the mole cricket;

б) the longitudinal projection of the movement of the digging extremity of the mole cricket; в) digging limb

Такое физическое явление позволило адаптировать элементы строения роющих конечностей медведки с развитыми рыхлительными способностями в обосновании конструкции рабочего органа пружинного выравнивателя почвы для поверхностной обработки почвы.

Предлагаемая конструкция рабочего органа пружинного выравнивателя почвы, разработанная по бионическому прототипу медведки (*Gryllotalpa*), состоит из рамы 1 с рабочими органами 2 на С-образной пружинной стойке 3, жёстко соединённой с рамой [13]. С-образная пружинная стойка 3 в нижней части имеет два болтовых крепления 4 со швеллером 5, имеющим по два правых 6 и левых 7 болтовых соединений (рис. 2, а) со стойками 8 рабочих органов 2, выполненных в виде правосторонней 9 и левосторонней 10 плоскорежущих лап с продольными треугольными выступами 11 (рис. 2, б).

Режущие кромки 12 плоскорежущих лап 9 и 10 имеют выступы 13 и впадины 14 (рис. 3) по форме логарифмической кривой с положительной выпуклостью кривизны во внутрь впадин. Во внутренней полости швеллера 5 имеется ось 15 (рис. 3), на которой закреплены нижний ударник 16, регулируемый по длине рычага 17 (рис. 2,б) со стопорным болтом 18, и верхний ударник 19 (рис. 3) с рычагом 20 (рис. 2,б), расположенным на втулке 21 (рис. 2, в), имеющей паз 22 и стопорные болты 23, при этом верхний ударник 19 имеет

верхний боек 24, закреплённый на упругой стойке, а нижний ударник 16 имеет нижний боек 25, закреплённый в пазу 26 (рис. 2, а) швеллера 5 посредством болтового соединения 27.

Для теоретического обоснования основных параметров рабочего органа пружинного выравнивателя необходимо определить условия его работы [14, 15]. Качественному выравниванию почвы способствует анализ гребней и впадин образованных предыдущей почвообработкой. Ширину гребней определяли по формуле:

$$e_z = B''B = \frac{2h_z}{\operatorname{tg}\psi} = \frac{2k_{zp} \cdot H_z}{\operatorname{tg}\psi}, \quad (1)$$

где $B''B$ – отрезок основания гребня; h_z – высота гребня; $\operatorname{tg}\psi$ – угол внутреннего трения почвы; k_{zp} – коэффициент гребнистости, $k_{zp} = \frac{h_z}{H_z}$; H_z – гребнистость.

Ширина впадин определится по следующему выражению:

$$e_{en} = BC = L_z - e_z = L_z - \frac{2k_{zp} \cdot H_z}{\operatorname{tg}\psi}, \quad (2)$$

где L_z – расстояние между вершинами гребней.

Для качественного выравнивания почвы должно соблюдаться равенство объёма срезаемых гребней V_{zp} к объёму заполняемых впадин V_{en} :

$$V_{zp} = V_{en}. \quad (3)$$

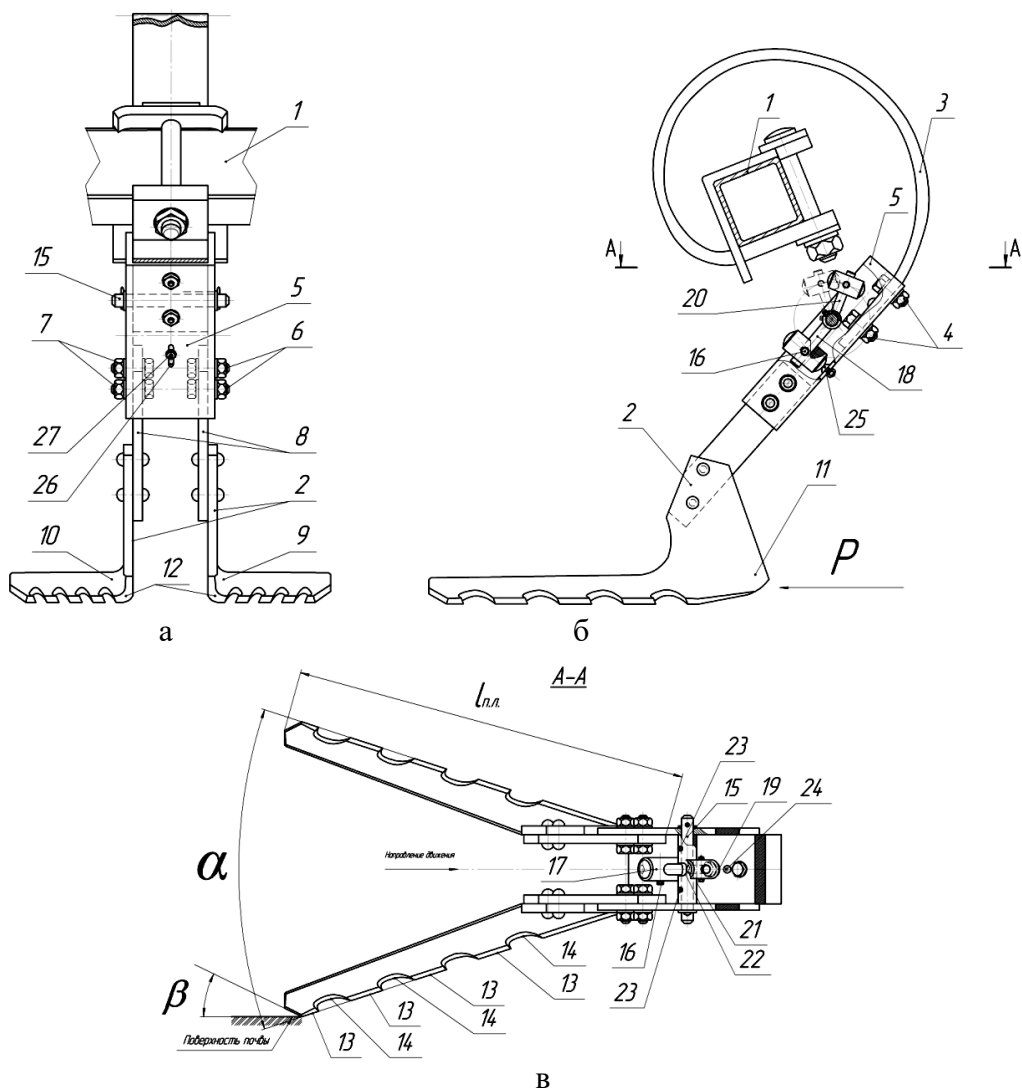


Рис. 2. Общий вид рабочего органа пружинного выравнивателя почвы:
а) вид спереди; б) вид сбоку; в) вид сверху

Fig. 2. General view of the working body of the spring soil leveler:
a) front view; b) side view; c) top view

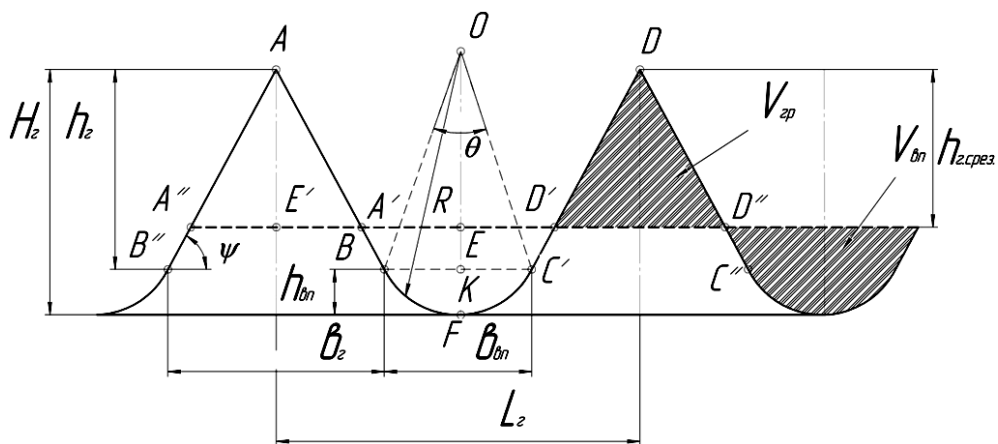


Рис. 3. Функциональная схема поперечного сечения гребней и впадин
поверхности обработанной почвы перед выравниванием

Fig. 3. Functional diagram of the cross section of the ridges and hallowes
of the surface of the tilled soil before leveling

Это выражение эквивалентно равенству площадей сечений срезаемого выравнивателем гребня S_{zp} и впадины $S_{\text{вн}}$. Рассмотрим вариант, когда гребень в сечении выполнен по форме равнобедренного треугольника $\Delta A''A'A'$. Согласно рисунку 3, площадь $\Delta A''A'A'$ равна:

$$S_{zp} = S_{\Delta A''A'A'} = \frac{1}{2} \cdot A''A' \cdot AE', \quad (4)$$

где $A''A'$ – ширина основания срезаемого гребня $A''A' = \frac{2AE'}{\operatorname{tg}\psi}$.

В результате получим:

$$S_{zp} = \frac{(AE')^2}{\operatorname{tg}\psi} = \frac{h_{z.\text{срез.}}^2}{\operatorname{tg}\psi}, \quad (5)$$

где $h_{z.\text{срез.}}$ – высота срезаемого гребня.

Площадь впадин $S_{\text{вн}}$ определим по выражению:

$$\begin{aligned} S_{\text{вн}} &= S_{A'BCD'} + S_{BFC} = \\ &= \frac{1}{2} \left(\left(L_z - \frac{2h_{z.\text{срез.}}}{\operatorname{tg}\psi} \right) + \epsilon_{\text{вн}} \right) \cdot (h_z - h_{z.\text{срез.}}) + \\ &+ \frac{R^2}{2} \left[\arcsin \left(\frac{\epsilon_{\text{вн}}}{2R} \right) - \frac{\epsilon_{\text{вн}}}{2R} \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Так как площади сечений срезаемого выравнивателем гребня S_{zp} и впадины $S_{\text{вн}}$ равны, то выражение (6) будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{h_{z.\text{срез.}}^2}{\operatorname{tg}\psi} &= \frac{1}{2} \left(\left(L_z - \frac{2h_{z.\text{срез.}}}{\operatorname{tg}\psi} \right) + \epsilon_{\text{вн}} \right) \cdot (h_z - h_{z.\text{срез.}}) + \\ &+ \frac{R^2}{2} \left[\arcsin \left(\frac{\epsilon_{\text{вн}}}{2R} \right) - \frac{\epsilon_{\text{вн}}}{2R} \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Определим из выражения (7) высоту срезаемого пласта:

$$h_{z.\text{срез.}} = \frac{h_z(L_z + \epsilon_{\text{вн}}) + R^2 \left(\arcsin \left(\frac{\epsilon_{\text{вн}}}{2R} \right) - \frac{\epsilon_{\text{вн}}}{2R} \right)}{\frac{2h_z}{\operatorname{tg}\psi} + L + \epsilon_{\text{вн}}}. \quad (8)$$

В процессе разравнивания почвы выравнивателем при перемещении срезаемых гребней почвы во впадины совершается работа по преодолению сил трения почвы о почву $A_{mp}^{\text{почва}}$ и сил трения почвы о поверхность плоскорезающих лап выравнивателя $A_{mp}^{\text{н.л.б.}}$:

$$A_{\text{перем.}} = A_{mp}^{\text{почва}} + A_{mp}^{\text{н.л.б.}}. \quad (9)$$

Считая, что гребни на поверхности почвы с шагом L_z , принимаем среднюю величину перемещения разравниваемого массива почвы равной $L_z/2$, а работу трения $A_{mp}^{\text{почва}}$, равной:

$$A_{mp}^{\text{почва}} = f_{mp1} \cdot mg \cdot \frac{L_z}{2}, \quad (10)$$

где f_{mp1} – коэффициент внутреннего трения почвы; m – масса перемещаемого массива почвы; g – ускорение свободного падения.

Учитывая, что среднее расстояние перемещения массива почвы по поверхности плоскорезающих лап выравнивателя равно половине их длины $\frac{l_{\text{н.л.}}}{2}$ (рис. 3), запишем:

$$A_{mp}^{\text{н.л.б.}} = f_{mp2} \cdot mg \cdot \cos \beta \cdot \frac{l_{\text{н.л.}}}{2}, \quad (11)$$

где f_{mp2} – коэффициент трения почвы о поверхность плоскорезающих лап выравнивателя; β – угол наклона плоскорезающих лап к поверхности почвы.

Мощность на осуществление процесса выравнивания определится по выражению:

$$\begin{aligned} N_{\text{выр.}} &= \frac{A_{\text{перем.}}}{t} = \frac{\rho \cdot S \cdot V_{\text{п.в.}} \cdot g}{2t} \cdot \\ &\cdot (f_{mp1} \cdot L_z + f_{mp2} \cdot l_{\text{н.л.}} \cdot \cos \beta), \end{aligned} \quad (12)$$

где ρ – плотность взрыхленной почвы; S – площадь сечения срезанных гребней; $V_{\text{п.в.}}$ – рабочая скорость выравнивателя.

Для полной характеристики энергоёмкости процесса выравнивания почвы необходимо определить тяговое сопротивление рабочих органов выравнивателя:

$$\begin{aligned} F_{\text{тяг.}} &= \frac{N_{\text{выр.}}}{V_{\text{п.в.}}} = \frac{\rho \cdot S \cdot g}{2} \cdot \\ &\cdot (f_{mp1} \cdot L_z + f_{mp2} \cdot l_{\text{н.л.}} \cdot \cos \beta), \end{aligned} \quad (13)$$

Так как площадь сечения S срезаемых гребней зависит от их количества $n_{сп.}$ по ширине захвата рабочего органа выравнивателя $B_{р.сп.}$, то она определится по выражению:

$$S = n_{сп.} \cdot S_{сп.}, \quad (14)$$

где $S_{сп.}$ – площадь сечения одного гребня.

При этом количество гребней $n_{сп.}$ определится:

$$n_{сп.} = \frac{B_{р.сп.}}{L_2}. \quad (15)$$

В результате преобразования выражения (13) с учетом (14) и (15) получим:

$$F_{тяг.} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{B_{р.сп.}}{L_2} \cdot \frac{h_{г.спез.}^2}{tg\psi} \cdot g \cdot (f_{мп1} \cdot L_2 + f_{мп2} \cdot l_{н.л.} \cdot \cos\beta), \quad (16)$$

Как показал анализ выражения (16), тяговое сопротивление рабочих органов выравнивателя почвы будет возрастать пропорционально квадрату высоты срезаемых гребней.

Экспериментальная проверка энергетических показателей работы рабочих органов пружинного выравнивателя почвы шириной захвата 0,27 м (рис. 4) в сравнении с серийной моделью рабочих органов выравнивателя ВПН-5,6А, выполненная в условиях экспериментальной лаборатории кафедры «Механизация и технический сервис в АПК», подтвердила целесообразность их использования. Экспериментальный образец выравнивателя почвы шириной захвата 5,6 м содержит 45 рабочих органов при двухрядном их расположении.



Рис. 4. Лабораторные испытания рабочих органов пружинного выравнивателя почвы
Fig. 4. Laboratory tests of the working bodies of the spring soil leveler

На рисунке 5 показаны графические зависимости тягового сопротивления рабочего органа пружинного выравнивателя почвы от скорости движения в сравнении с серийной моделью. Тип выравниваемой почвы – чернозем южный карбонатный среднесуглинистый. При проведении исследований в почвенном канале влажность почвы варьировалась в пределах $W = 13...17\%$.

С увеличением скорости движения тяговое сопротивление сравниваемых выравнивателей почвы линейно возрастает при общем снижении сопротивления экспериментального выравнивателя почвы по сравнению с серийным в среднем на 7...8% (40...49 Н). Устойчивость хода по глубине предлагаемых рабочих органов в среднем в 1,5 раза ($\pm 0,5$ см) выше в сравнении с серийной моделью рабочих органов выравнивателя ВПН-5,6А.

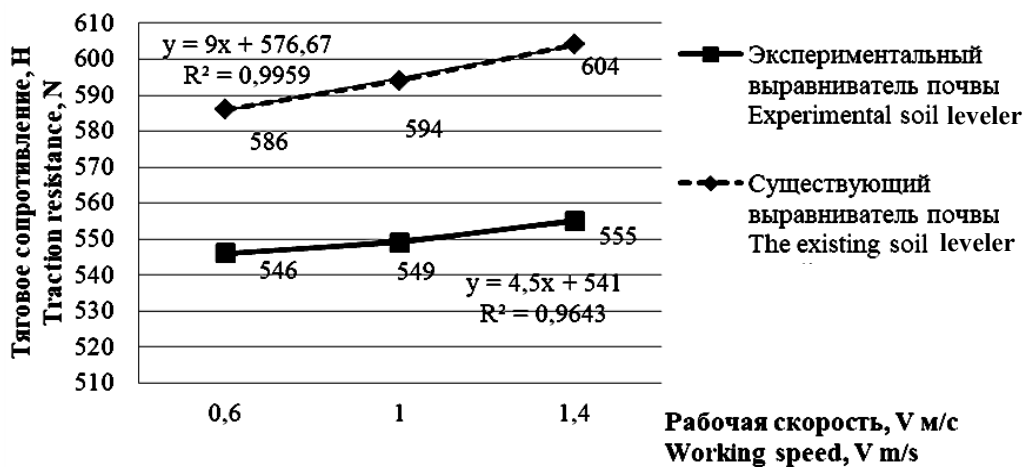


Рис. 5. Графическая зависимость тягового сопротивления пружинного выравнивателя почвы от скорости движения при высоте срезаемых гребней $h_{г.спез.} = 4$ см

Fig. 5. Graphic dependence of the traction resistance of the spring soil leveler on the speed of movement at the height of the ridges being cut off $h_{г.спез.} = 4$ cm

Выводы.

1. В соответствии с биосистемным подходом, а также на основании усовершенствованной в результате теоретических исследований функциональной схемы разработана новая конструкция пружинного выравнивателя почвы (заявка на изобретение РФ № 2016144117).

2. С учетом физико-механических свойств почвы и особенностей технологического процесса выравнивания почвы теоретически обоснована оптимальная высота срезания гребней.

3. Установлены теоретические зависимости тягового сопротивления пружинного выравнивателя почвы от скорости движения, которые подтверждаются результатами экспериментальных исследований.

4. Экспериментальный пружинный выравниватель почвы обеспечивает снижение тягового сопротивления на 7...8% и имеет лучшую устойчивость хода по глубине в среднем в 1,5 раза.

Список литературы

1. Морозов П.В., Голубев В.В. Анализ конструкций выравнивателей // Конкурентоспособность и инновационная активность АПК регионов: Сб. научн. тр. по материалам Междунар. научн.-практ. конф. 2018. С. 205-208. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35178732>.

2. Бабицкий Л.Ф., Москалевич В.Ю., Соболевский И.В., Куклин В.А. Обоснование комплекса бионически подобных малоэнергоёмких почвообрабатывающих рабочих органов // Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского: Материалы III научн.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых. Симферополь, 2017. С. 128-129. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32276620>.

3. Шубин А.В. Обоснование параметров V-образных выравнивателей комбинированных агрегатов // Труды ВИМ. Т. 134. Ч. II. М.: ВИМ, 2001. С. 47-57.

4. Абдрахманов Р.К., Булгариев Г.Г., Калимуллин М.Н., Хамитов Р.Р. Широкозахватный выравниватель поверхности почвы // Устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях глобальных рисков: Материалы научн.-практ. конф. Казань: Казанский ГАУ, 2016. С. 127-130. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32526544>.

5. Мансуров М.Т., Расулов А.Д. Теоретическое обоснование параметров выравнивателя-уплотнителя комбинированной машины по системе PUSH-PULL для предпосевной обработки почвы // Молодой ученый. 2016. № 8 (112). С. 256-258. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/112/>.

6. Рзалиев А.С., Грибановский А.П., Голобородько В.П., Бекмухаметов Ш.Б., Сопов Ю.В., Суюндуков А.А. Определение оптимальных типов и параметров рабочих органов рыхлителя-выравнивателя почвы РВП-4 // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 2. С. 43-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32703891>.

7. Никифоров М.В., Фирсов А.С., Андреев А.Н., Кудрявцев А.В., Голубев В.В. Результаты полевого опыта выравнивателя почвы при возделывании льна-долгунца // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 3 (20). С. 91-96. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36308936>.

8. Никифоров М.В. Совершенствование конструкции выравнивающих рабочих органов для предпосевной обработки почвы под мелкосеменные культуры // Вестник НГИЭИ. 2018. № 12(91). С. 30-39. Режим доступа: <https://yadi.sk/i/oQFAgECg5-6tMQ>.

9. Казаков В.И., Казаков И.В. Аналитические исследования процесса выравнивания поверхности почвы в лесных питомниках // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 2-2 (7-2). С. 93-99. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21359355>.

10. Никифоров М.В., Морозов П.В., Голубев В.В. Влияние режимов работы выравнивателя на шероховатость почвенного профиля // Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах: Материалы Междунар. научн.-практ. конф., приуроченной к 65-летию кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского ГАУ. Ставрополь: ООО «СЕКВОЙЯ», 2018. С. 355-358.

11. Берестов В.П. Повышение эффективности предпосевной обработки почвы // Вклад молодых ученых в аграрную науку: Материалы Междунар. научн.-практ. конф. Кинель: Самарская ГСХА, 2017. С. 190-193.

12. Jianqiao L., Yunpeng Y., Benard C., Xuejiao W., Zhaoliang W., Meng Z. «Bionic Design for Reducing Adhesive Resistance of the Ridger Inspired by a Boar's Head» Applied Bionics and Biomechanics. Vol. 2017. Article ID 8315972. 2017. 10 p. Режим доступа: <https://www.hindawi.com/journals/abb/2017/8315972/>.

13. Соболевский И.В., Мыськив И.И. Обоснование параметров рабочих органов пружинного выравнивателя почвы по бионическому подобию // Молодая наука: сборник научных трудов научно-практической конференции для студентов и молодых ученых. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2016. С. 267-269.

14. Chirende B, Li J Q, Wen L G, Simalenga T E. Effects of bionic non-smooth surface on reducing soil resistance to disc ploughing. Sci China Tech Sci. 2010. 53: 2960-2965. DOI: 10.1007/s11431-010-4128-8.

15. Liu R., Yao J.H., Zhang Q.L., Collier R. Sliding wear and solid-particle erosion resistance of a novel high-tungsten Stellite alloy, Wear 322–323 (2015) 41-50.

Сведения об авторах:

Бабицкий Леонид Федорович, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой механизации и технического сервиса в АПК Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», п. Аграрное, г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, 295492, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8540-7229>, e-mail: rectorat@abip.cfuv.ru,

Соболевский Иван Витальевич, кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры механизации и технического сервиса в АПК Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», п. Аграрное, г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, 295492, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1338-9065>, e-mail: rectorat@abip.cfuv.ru,

Куклин Владимир Алексеевич, кандидат техн. наук, доцент кафедры механизации и технического сервиса в АПК Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», п. Аграрное, г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, 295492, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6692-9523>, e-mail: rectorat@abip.cfuv.ru.

References

1. Morozov P.V., Golubev V.V. *Analiz konstruktivnykh vyrovnyvateley*. [Analysis of the structures of levelers]. *Konkurentosposobnost' i innovatsionnaya aktivnost' APK regionov: Sb. nauchn. tr. po materialam Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [Competitiveness and innovative activity of the agro-industrial complex of the regions: Collection of scientific papers on the materials of the International Scientific and Practical Conference]. 2018. pp. 205-208. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35178732>.

2. Babitskiy L.F., Moskalevich V.Yu., Sobolevskiy I.V., Kuklin V.A. *Obosnovanie kompleksa bionicheski podobnykh maloenergoemkikh pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov*. [Substantiation of a set of bionically similar low-power soil-cultivating working bodies]. *Dni nauki KFU im. V.I. Vernadskogo: Materialy III nauchn.-prakt. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, studentov i molodykh uchennykh*. [The Days of science of Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky: Proceedings of the III scientific and practical Conference of the teaching staff, postgraduates, students and young scientists]. Simferopol, 2017. pp. 128-129. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32276620>.

3. Shubin A.B. *Obosnovanie parametrov V-obraznykh vyrovnyvateley kombinirovannykh agregatov*. [Substantiation of the parameters of V-shaped combined units levelers]. *Trudy VIM*. Vol. 134. Part. II. Moscow: VIM, 2001. pp.47-57. (In Russ.).

4. Abdrakhmanov R.K., Bulgariev G.G., Kalimullin M.N., Khamitov R.R. *Shirokozakhvatnyy vyrovnyvatel' poverkhnosti pochvy*. [Wide-span soil leveling device]. *Ustoychivoe razvitie sel'skogo khozyaystva v usloviyakh global'nykh riskov: Materialy nauchn.-prakt. konf.* [Sustainable development of agriculture in the context of global risks: Proceedings of the scientific and practical Conference]. Kazan': Kazanskiy GAU, 2016. pp. 127-130. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32526544>.

5. Mansurov M.T., Rasulov A.D. *Teoreticheskoe obosnovanie para-metrov vyrovnyvatelya-uplotnitelya kombinirovannoy mashiny po sisteme PUSH-PULL dlya predposevnoy obrabotki pochvy*. [Theoretical substantiation of the parameters of the leveler and compactor of the combined machine using the PUSH-PULL system for pre-sowing tillage]. *Molodoy uchenyy*. 2016. no. 8 (112). pp. 256-258. (In Russ.). URL: <https://moluch.ru/archive/112/>.

6. Rzaliev A.S., Gribanovskiy A.P., Goloborod'ko V.P., Bekmukhametov Sh.B., Sopov Yu.V., Suyundukov A.A. *Opreделение optimal'nykh tipov i parametrov rabochikh organov rykhlytelya-vyrovnyvatelya pochvy RVP-4*. [Determination of the optimal types and parameters of the working bodies of the soil cultivator RVP-4]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018. no. 2. pp. 43-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32703891>.

7. Nikiforov M.V., Firsov A.S., Andreev A.N., Kudryavtsev A.V., Golubev V.V. *Rezultaty polevogo opyta vyrovnyvatelya pochvy pri vozdeystvii l'na-dolguntsa*. [Results of field experience of the soil leveler by cultivation of flax]. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2018. no. 3 (20). pp. 91-96. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36308936>.

8. Nikiforov M.V. *Sovershenstvovanie konstruktivnykh vyrovnyvayushchikh rabochikh organov dlya predposevnoy obrabotki pochvy pod melkosemennye kul'tury*. [Improving the design of leveling working bodies for pre-sowing tillage of small-seed crops]. *Vestnik NGIEI*. 2018. no. 12 (91). pp. 30-39. (In Russ.). URL: <https://yadi.sk/i/oQFagECg5-6tMQ>.

9. Kazakov V.I., Kazakov I.V. *Analiticheskie issledovaniya protsessa vyrovnyvaniya poverkhnosti pochvy v lesnykh pitomnikakh*. [Analytical studies of the process of leveling the soil surface in forest nurseries]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*. [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice]. 2014. Vol. 2. no. 2-2 (7-2). pp. 93-99. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21359355>.

10. Nikiforov M.V., Morozov P.V., Golubev V.V. *Vliyanie rezhimov raboty vyrovnyvatelya na sherokhovatost' pochvennogo profilya*. [The influence of the modes of soil leveler operation on the roughness of the soil profile]. *Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy biogeokhimicheskikh potokov veshchestv v agrolandshaftakh: Sb. nauchn.*

tr. po materialam Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf., priurochennoy k 65-letiyu kafedry agrokhimii i fiziologii rasteniy Stavropol'skogo GAU. [Theoretical and technological bases of biogeochemical matter fluxes in agricultural landscapes: Collection of scientific works on materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of the Department of Agrochemistry and plant physiology in Stavropol GAY]. Stavropol: OOO «SEKVOYYA», 2018. pp. 355-358. (In Russ.).

11. Berestov V.P. *Povyshenie effektivnosti predposevnoy obrabotki pochvy.* [Improving the efficiency of pre-sowing tillage]. *Vklad molodykh uchenykh v agrarnuyu nauku: Materialy Me-zhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [The contribution of young scientists in agricultural science: Materials of the International scientific-practical conference]. Kinel': *Samarskaya GSKhA*, 2017. pp. 190-193. (In Russ.).

12. Jianqiao L., Yunpeng Y., Benard C., Xuejiao W., Zhaoliang W., Meng Z. «Bionic Design for Reducing Adhesive Resistance of the Ridger Inspired by a Boar's Head» *Applied Bionics and Biomechanics*. Vol. 2017. Article ID 8315972. 2017. 10 p. URL: <https://www.hindawi.com/journals/abb/2017/8315972/>.

13. Sobolevskiy I.V., Mys'kiv I.I. *Obosnovanie parametrov rabochikh organov pruzhinnogo vyravnivatelya pochvy po bionicheskomu podobiyu.* [Substantiation of parameters of working bodies of spring soil leveler on bionic similarity]. *Molodaya nauka: sbornik nauchnykh trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii dlya studentov i molodykh uchenykh.* [Molodaya Nauka: collection of scientific works of scientific and practical conference for students and young scientists]. Simferopol: *IT «ARIAL»*, 2016. pp. 267-269. (In Russ.).

14. Chirende B, Li J Q, Wen L G, Simalenga T E. Effects of bionic non-smooth surface on reducing soil resistance to disc ploughing. *Sci China Tech Sci*. 2010. 53: 2960-2965. DOI: 10.1007/s11431-010-4128-8.

15. Liu R., Yao J.H., Zhang Q.L., Collier R. Sliding wear and solid-particle erosion resistance of a novel high-tungsten Stellite alloy, *Wear* 322-323 (2015) 41-50.

Received: 23.10.2018

Accepted for publication: 05.02.2019

Information about authors:

Leonid F. Babitsky, DSc in Engineering, Professor, Head. Department of mechanization and technical service in the AIC Academy of Bioresources and Environmental Management (Academic Unit) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, p. Agrarian, Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation, 295492,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8540-7229>, e-mail: rectorat@abip.cfuv.ru,

Ivan V. Sobolevsky, PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanization and Technical Service in the AIC Academy of Bioresources and Environmental Management (Academic Unit) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, p. Agrarian, Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation, 295492, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1338-9065>, e-mail: rectorat@abip.cfuv.ru,

Vladimir A. Kuklin, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Mechanization and Technical Service in the AIC Academy of Bioresources and Environmental Management (Academic Unit) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, p. Agrarian, Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation, 295492,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6692-9523>, e-mail: rectorat@abip.cfuv.ru