

4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.314

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_4_110

EDN: BWSCYD

Определение энергетических показателей поверхностной обработки почвы рабочими органами выравнивателя

Иван Витальевич Соболевский^{1✉}, Владимир Алексеевич Куклин²,
Ильяс Идрисович Калафатов³

^{1, 2, 3} Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

² Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

¹ sobolevskij_i@niishk.site✉

Аннотация. В современных технологиях обработки почвы особое внимание уделяется заключительному этапу подготовки почвы к посеву – выравниванию. Почвы Крыма часто засорены каменными включениями, поэтому с учетом этого фактора сотрудниками НИИСХ Крыма создана конструкция упругого выравнивателя на базе комбинированного культиватора (патент на полезную модель RU 218321). В 2021–2023 гг. проводились исследования с целью определения энергетических показателей технологического процесса выравнивания почвы рабочими органами упругого выравнивателя в сравнении с серийным образцом (шлейф-борона ШБ-2,5). Исследования осуществлялись на специализированном почвенном канале, оборудованном рельсами, на которых располагалась испытательная подвижная платформа. Основной тип почвы, используемый в канале, – чернозем южный, что соответствует основным типам почв Крымского полуострова. При глубине обработки почвы от 0,04 до 0,10 м и скорости движения от 0,5 до 1,5 м/с, с учетом постоянных факторов (влажность – 14,1–15,7% и твердость – 175,52–195,42 Н/см²), получены эмпирические зависимости в виде уравнений регрессии тягового сопротивления от глубины обработки и скорости движения рабочих органов упругого выравнивателя, а также серийной бороны. Исследуемый рабочий орган упругого выравнивателя характеризуется в 1,77–2,51 раза большей частотой и в 2,72–3,69 раза большей амплитудой колебаний. Такое отличие амплитудно-частотной характеристики приводит к значительному снижению тягового сопротивления исследуемого рабочего органа упругого выравнивателя при выполнении поверхностной обработки почвы – в среднем на 5,19–8,01%. Наибольшая величина снижения тягового сопротивления экспериментального рабочего органа, равная 8,01%, зафиксирована при обработке почвы на глубину 0,04 м. В среднем снижение величины тягового сопротивления рабочего органа упругого выравнивателя в сравнении с серийным образцом составило 6,9%.

Ключевые слова: почва, выравниватель, вибрация, амплитуда, глубина, гребнистость, сопротивление

Для цитирования: Соболевский И.В., Куклин В.А., Калафатов И.И. Определение энергетических показателей поверхностной обработки почвы рабочими органами выравнивателя // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 4(79). С. 110–119. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_4_110-119.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Determination of energy indicators of soil surface tillage by working bodies of the leveling device

Ivan V. Sobolevsky^{1✉}, Vladimir A. Kuklin², Ilyas I. Kalafatov³

^{1, 2, 3} Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

² V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

¹ sobolevskij_i@niishk.site✉

Abstract. In modern tillage technologies, special attention is paid to the final stage of preparing the soil for sowing, i.e. surface leveling. Taking into account the presence of stony inclusions in the soils of Crimea, the staff of the Research Institute of Agriculture of Crimea has created a design of an elastic leveling device based on a combined cultivator (Utility Model Patent RU 218321). In 2021-2023, studies were conducted to determine the energy parameters of the technological process of soil leveling by means of the working bodies of the elastic leveling device in comparison with the production sample (sweeper harrow SH-2,5). The research was carried out on a specialized

soil channel equipped with rails, on which a test mobile platform was located. The main soil type used in the canal is southern chernozem, which corresponds to the main soil types of the Crimean Peninsula. The authors obtained empirical dependences in the form of traction resistance regression equations on the depth of processing and the speed of movement of the working bodies of the elastic leveling device, as well as the production sample. The calculations were performed at a depth of tillage from 0.04 to 0.10 m and a speed of movement from 0.5 to 1.5 m/s and such constant factors as humidity and hardness equal, respectively, to 14.1–15.7% and 175.52–195.42 N/cm². The studied working body of the elastic leveler is characterized by 1.77–2.51 times higher frequency and 2.72–3.69 times greater amplitude of vibrations. Such a difference in the amplitude-frequency response leads to a significant decrease in the traction resistance of the studied working body of the elastic leveling device when performing surface tillage – by an average of 5.19–8.01%. The largest decrease in the traction resistance of the experimental working body, equal to 8.01%, was recorded when cultivating the soil to a depth of 0.04 m. On average, the decrease in the value of the traction resistance of the working body of the elastic leveling device in comparison with the production sample was 6.9%.

Keywords: soil, surface leveler, vibration, amplitude, depth, furrow ridgeness, resistance

For citation: Sobolevsky I.V., Kuklin V.A., Kalafatov I.I. Determination of energy indicators of soil surface tillage by working bodies of the leveling device. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(4):110-119. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_4_110-119.

Введение

Обработка почвы как базовая операция сельскохозяйственного производства выполняется с целью обеспечения культурных растений влагой, воздухом, питательными элементами. С помощью различных приемов обработки почвы создаются условия для нормального прорастания семян и последующего развития сельскохозяйственных культур в период вегетации, вносятся удобрения, ведется борьба с вредителями, болезнями и сорняками. При выборе приемов обработки почвы и технологии их выполнения обязательно учитываются физико-механические свойства конкретных типов почв: их механический состав, удельное сопротивление при вспашке и рыхлении, физическая спелость, а также глубина пахотного горизонта. Сочетание приемов и видов обработки почвы должно быть тесно увязано с конкретными местными природными и почвенными условиями, биологическими особенностями выращиваемых культур.

В общей системе технических мероприятий по обеспечению высокой культуры земледелия в Республике Крым особое значение приобретает качественное выполнение технологии обработки почвы, в том числе этапа выравнивания вспаханной поверхности [6]. При хорошо выровненной поверхности поля выдерживаются качественные почвенные характеристики: исключается образование переувлажненного слоя, улучшаются водно-воздушный и тепловой режимы [7]. Поверхностное выравнивание, выполнение которого не соответствует агротехническим требованиям, приводит к формированию изреженных всходов за счет значительного отклонения высевающего рабочего органа от требуемой глубины посева, в то время как устранение высокой гребнистости на поверхности поля позволяет ускорить процесс формирования физически спелого состояния почвы [5].

Как показал анализ научных публикаций, в том числе патентов, наибольшее распространение в конструкциях комбинированных агрегатов для поверхностной предпосевной обработки почвы получила конструкция бруса-выравнивателя либо планки-выравнивателя. Однако данная конструкция обладает рядом недостатков, таких как низкая надежность эксплуатации из-за наличия дополнительных шарнирных элементов, а также узкий диапазон функциональных возможностей за счет отсутствия упругих элементов, позволяющих качественно копировать рельеф местности [3, 4].

В работах F.P. Fontes и M. Hofbauer et al. при анализе воздействия выравнивающих рабочих органов на почву в качестве начального требования за основу принято обязательное перемещение почвенных агрегатов. Исследования в области изучения динамики перемещения почвенных агрегатов позволяют с большей точностью описать процесс оптимальной деформации выравниваемого микрорельефа почвенного профиля.

Дополнительно учитываются исходные характеристики обрабатываемого почвенного пласта при взаимодействии с исследуемым рабочим органом [9, 10].

Исследования E.L. Bravo et al. позволили актуализировать и обосновывать рациональные конструктивные параметры и режимы работы выравнивающих рабочих органов при проведении обработки почвы [8].

Технические возможности используемых в отечественных комбинированных агрегатах выравнивателей и элементы конструкций их рабочих органов не удовлетворяют в полной мере качественным агротехнологическим требованиям поверхностной обработки почвы перед посевом, что является одной из основных причин снижения урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур [5].

Учитывая тот факт, что в почвах Крыма после механической обработки образуются глыбистые агрегаты, часто встречаются каменистые включения, сельхозпроизводители особое внимание уделяют выравниванию вспаханной поверхности как финишному этапу при подготовке почвы к посеву [6]. При этом в качестве наиболее рационального варианта крепления выравнивающих рабочих органов рекомендуется использовать упругие стойки. В этом случае каждый из рабочих органов выравнивателя выполняет свои функциональные действия индивидуально, вне зависимости от вектора движения закрепленных рядом рабочих органов, что нашло отражение в конструкции упругого выравнивателя комбинированного культиватора, созданного учеными отдела механизации производства и разработки новых образцов техники ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». На техническое решение получен патент на полезную модель [2], положительный результат использования которой заключается в повышении качества крошения и выравнивания микрорельефа за счет равномерного распределения почвенных агрегатов упругими выравнивателями комбинированного культиватора по всей ширине его захвата.

С 2021 г. сотрудники отдела механизации производства и разработки новых образцов техники Крымского НИИСХ проводят исследования с целью определения в том числе энергетических показателей процесса поверхностного выравнивания почвы рабочими органами упругого выравнивателя в сравнении с серийными образцами, в частности рабочими органами шлейф-бороны ШБ-2,5.

Материалы и методы исследований

Основные исследования проводились на базе ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» в период 2021–2023 гг.

Лабораторные исследования выполнялись в соответствии с ГОСТ 33687-2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний» [1].

Объектом исследования является технологический процесс поверхностной обработки почвы рабочими органами упругого выравнивателя. Предметом исследования являются закономерности технологического процесса рабочих органов упругого выравнивателя и энергетических показателей одного из элементов операции поверхностной обработки почвы.

Исследования осуществлялись на специализированном почвенном канале, оборудованном рельсами, на которых расположена испытательная подвижная платформа. Привод платформы осуществлялся посредством электродвигателя, системы трансмиссии трактора МТЗ-50, на полуосях которого расположены направляющие валы для перемещения тросов, которые фиксировались на платформе специальными регулируемыми механизмами. Почва расположена между рельсами в форме прямоугольного параллелепипеда, глубиной до 1,5 м. Основной тип почвы, используемый в канале, – чернозем южный, что соответствует основным типам почв Крымского полуострова.

Исследуемые рабочие органы упругого выравнивателя и существующего образца – шлейф-бороны ШБ-2,5 поочередно, перед проведением каждого прохода, монтируются на подвижную раму испытательной платформы (рис. 1). Значения скорости перемещения испытательной платформы изменяются путем переключения передач в системе трансмиссии трактора МТЗ-50.



Рис. 1. Общий вид испытуемых рабочих органов: а – экспериментальный рабочий орган упругого выравнивателя; б – серийный рабочий орган шлейф-бороны

Для регулирования процесса опускания рабочих органов на исследуемую глубину обработки почвы используются два винтовых механизма.

Перед каждым проходом испытательной платформы проводилась подготовка почвы с целью создания необходимых значений физико-механических свойств – влажности, твердости и плотности. Требуемая влажность почвы достигалась путем ее предварительного орошения водой с использованием специального приспособления, а плотность и твердость создавались за счет прикатывающего водоналивного катка, который при пятикратном проходе формировал требуемые характеристики почвенного покрова, соответствующие показателям естественной почвенной среды.

В обязательном порядке перед каждым рабочим проходом испытательной платформы с исследуемым рабочим органом определялись такие факторы, как влажность на глубине обработки и твердость почвы. С этой целью использовали влагомер почвы TR модель 46908 и твердомер Ю.Ю. Ревякина.

В процессе проведения исследований определялись следующие показатели:

- тяговое сопротивление P , Н;
- частота вибрации k , Гц;
- амплитуда вибрации A , мм.

Для определения эмпирических значений данных показателей применялось следующее оборудование (рис. 2):

- ноутбук Aser MS2286 – 1;
- ноутбук Lenovo Ideapad 310-15 IAP – 2;
- анализатор спектра вибрации ZET017-U2 – 3;
- портативная тензостанция ZET 017-T8 – 4;
- пьезоэлектрический акселерометр BC110 – 5;
- тензометрический датчик TS21-T2 – 6.

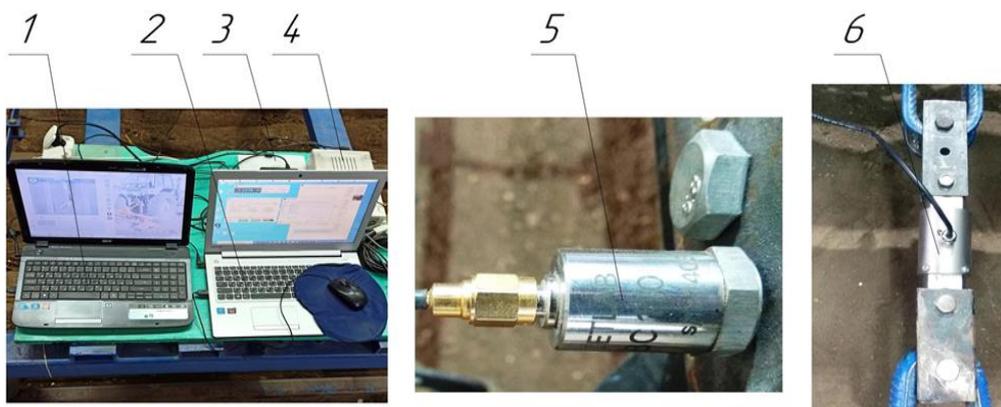


Рис. 2. Приборы для регистрации экспериментальных данных

Регистрация числовых данных осуществлялась с использованием программного обеспечения ZETLAB.

Все датчики тарировались с целью соответствия их показаний действительным значениям физических величин. Датчик вибрации ВС110 тарировался путем создания вибрации стойки рабочего органа с заранее определенными показателями значений амплитуды и частоты. Тензометрический датчик TS21-T2 тарировался поверенным механическим динамометром ДПУ-0,5-2 в диапазоне значений от 0 до 5 кН (рис. 3).



Рис. 3. Процесс тарирования тензометрического датчика TS21-T2 поверенным механическим динамометром ДПУ-0,5-2

Перед проходом выравнивателя почву в канале обрабатывали плоскорезными культиваторными лапами КПЭ-3,8 для создания условий комбинированной обработки почвы (рис. 4, а).

При планировании исследований применялся метод полного факторного эксперимента, в ходе которого была составлена матрица планирования типа $N = 2^2$.



Рис. 4. Обработка почвы исследуемыми рабочими органами в канале: а – глубина обработки (расстояние от нижней точки до верхней точки гребня) h 0,1 м; б – почва, обработанная КПЭ-3,8, и почва, обработанная упругим выравнивателем на глубину 0,07 м (зона выделена желтыми линиями)

Основными изменяемыми факторами являлись:
 - глубина обработки (расстояние от нижней точки до верхней точки гребня) h – диапазон от 0,04 до 0,10 м;
 - скорость движения v – диапазон от 0,5 до 1,5 м/с.

Результаты и их обсуждение

Перед проходом испытательной платформы определены диапазоны значений постоянных факторов влажности W , твердости T и деформационного показателя v почвы, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Диапазоны значений анализируемых факторов эксперимента

Глубина обработки h , м	Влажность W , %	Твердость T , Н/см ²	Деформационный показатель v , м ² /Н
0,04	14,1–15,4	175,52–194,21	$1,81 \cdot 10^{-7}$ – $2,86 \cdot 10^{-7}$
0,07	14,4–15,7	178,33–195,42	$1,82 \cdot 10^{-7}$ – $2,88 \cdot 10^{-7}$
0,10	14,8–15,9	181,24–196,33	$1,89 \cdot 10^{-7}$ – $2,91 \cdot 10^{-7}$

В ходе исследований функционирования рабочих органов упругого выравнивателя и рабочих органов существующего образца шлейф-бороны ШБ-2,5 получены такие значения, как частота вибрации k , амплитуда вибрации A и тяговое сопротивление исследуемых рабочих органов P (табл. 2).

Таблица 2. Результаты определения параметров вибрации и тягового сопротивления серийного рабочего органа шлейф-бороны и экспериментального рабочего органа упругого выравнивателя (скорость 1,4 м/с)

Глубина обработки почвы h , м	Показатели						Повышение интенсивности вибрации рабочего органа в сравнении с серийным, раз		Снижение тягового сопротивления экспериментального рабочего органа в сравнении с серийным образцом, %
	Частота вибрации k , Гц	Амплитуда вибрации A , мм	Тяговое сопротивление P , Н	Частота вибрации k , Гц	Амплитуда вибрации A , мм	Тяговое сопротивление P , Н			
							Серийный рабочий орган шлейф бороны	Экспериментальный рабочий орган выравнивателя	
0,04	0,76	1,04	392,22	1,91	3,02	363,16	2,51	2,91	8,01
0,07	0,88	0,95	465,18	1,97	2,58	432,73	2,24	2,72	7,49
0,10	1,18	1,21	523,68	2,09	4,46	497,80	1,77	3,69	5,19

Для более наглядного представления результатов исследований построены графики зависимости тягового сопротивления P , Н от глубины обработки h , м, а также частоты колебаний k , Гц от глубины обработки h , м (рис. 5, 6).

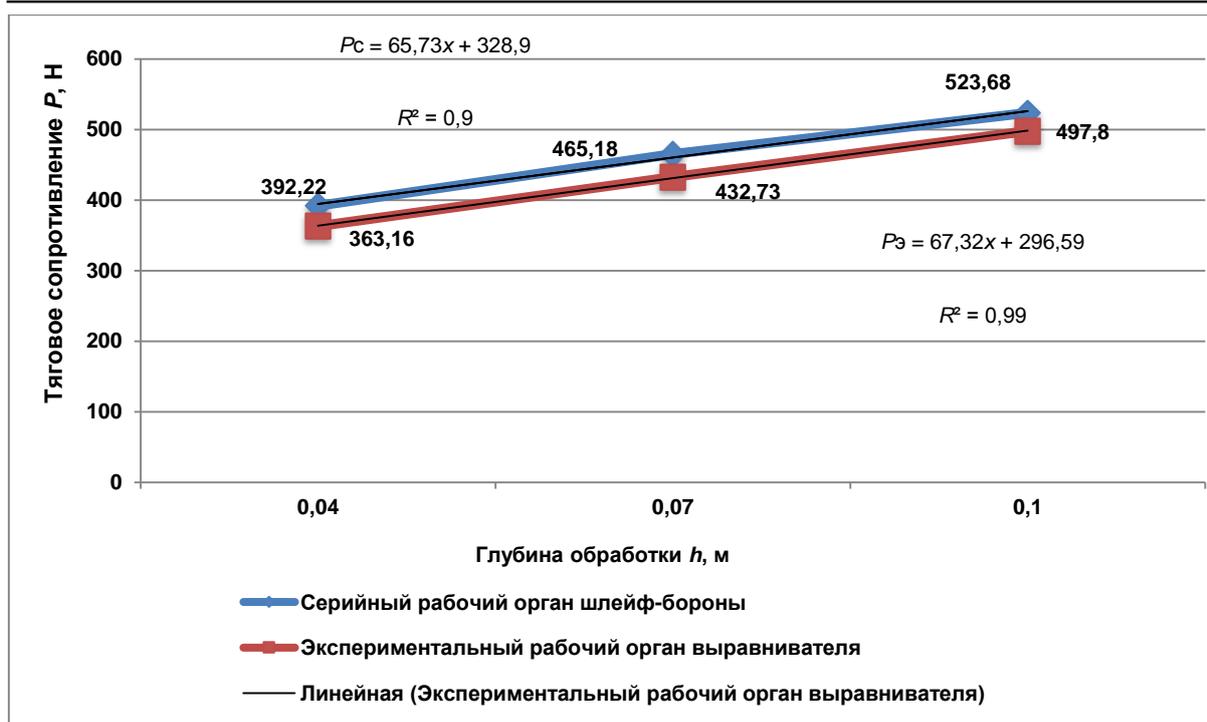


Рис. 5. График зависимости тягового сопротивления P от глубины обработки h при скорости движения $V = 1,4$ м/с: $P_э$ – экспериментальный рабочий орган выравнителя; P_c – серийный рабочий орган шлейф-бороны

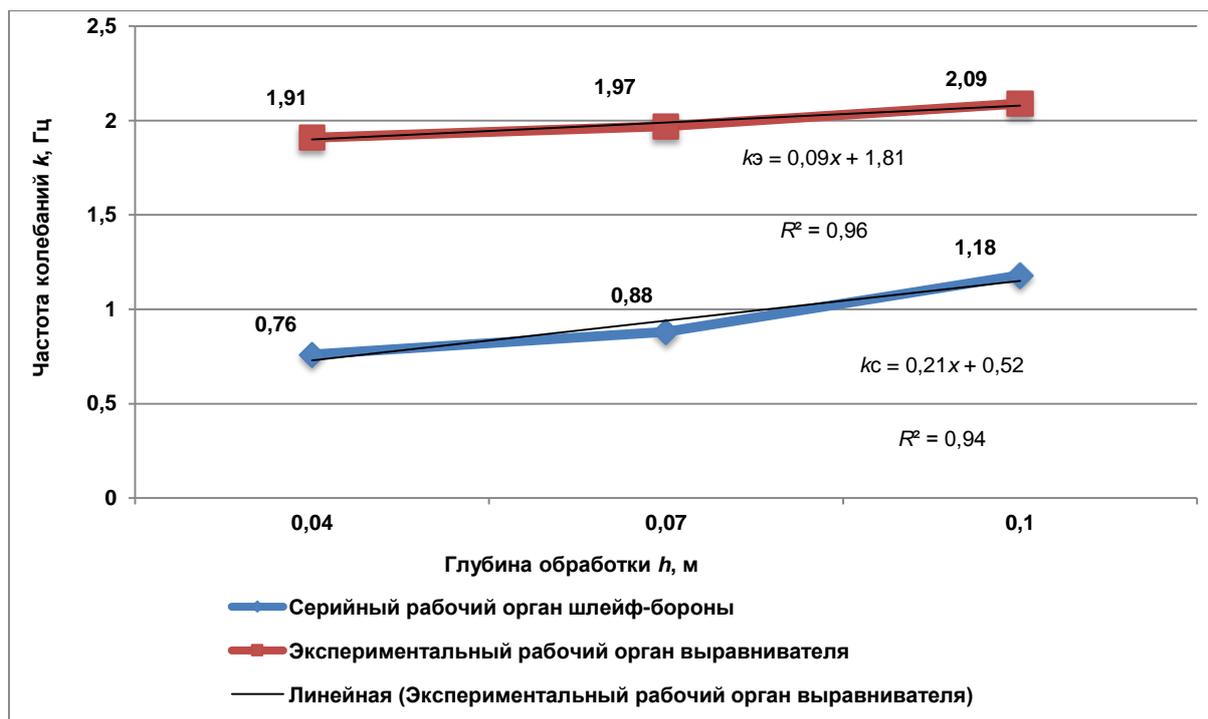


Рис. 6. График зависимости частоты колебаний k от глубины обработки h при скорости движения $V = 1,33$ м/с: $k_э$ – экспериментальный рабочий орган выравнителя; k_c – серийный рабочий орган шлейф-бороны

Как показал анализ полученных данных (табл. 2) и графических зависимостей (рис. 5, 6), исследуемый экспериментальный рабочий орган упругого выравнителя за счет оригинальной конструкции создает частоту колебаний и амплитуду собственных колебаний, значения которых соответственно в 1,77–2,51 и 2,72–3,69 раза превышают

показатели серийного образца. Такая вибрация позволяет создавать частые ударные нагрузки об обрабатываемый пласт почвы, что в результате приводит к снижению тягового сопротивления в среднем на 5,19–8,01%.

По результатам исследований построены уравнения регрессии в кодированных переменных, которые имеют вид:

- для экспериментального рабочего органа упругого выравнивателя

$$Y_{\text{Э}} = 330,08 + 51,71X_1 + 100,40X_2 + 15,61X_1X_2; \quad (1)$$

- для серийного рабочего органа шлейф-бороны ШБ-2,5

$$Y_{\text{С}} = 357,19 + 51,35X_1 + 100,77X_2 + 14,38X_1X_2. \quad (2)$$

Для оценки качества полученных значений экспериментальным путем проведена их статистическая обработка.

Критерий Стьюдента, характеризующий оценку значимости коэффициентов регрессии, показал, что для уравнений (1) и (2) значимыми являются коэффициенты, которые соответственно удовлетворяют условиям $|bi| \Rightarrow 50,50$ и $|bi| \Rightarrow 36,96$.

Критерий Кохрена с табличным значением $G_m = 0,76$ показал, что для уравнений (1) и (2) расчетное значение G_p меньше и составило соответственно 0,34 и 0,50. Данные значения характеризуют математические модели как воспроизводимые для полученных результатов.

Критерий Фишера при проверке математических моделей, представленных уравнениями (1) и (2), подтвердил их адекватность, так как расчетные значения F_p , соответственно равные 0,74 и 1,17, оказались меньше табличного значения $F_m = 7,71$.

С учетом оценки значимости коэффициентов уравнения регрессии (1) и (2) в натуральных значениях переменных принимают следующий вид:

- для экспериментального рабочего органа упругого выравнивателя

$$P_{\text{Э}} = 8,62 + 17,24h + 200,8v; \quad (3)$$

- для серийного рабочего органа шлейф-бороны ШБ-2,5

$$P_{\text{С}} = 35,83 + 17,12h + 201,54v. \quad (4)$$

На основе анализа данных уравнений регрессии сделан вывод, что в процессе выравнивания микрорельефа, представляющего собой почвенные глыбы и комки, сформированные в гребни и борозды после прохода плоскорежущих рабочих органов, на возрастание тягового сопротивления в большей степени оказывает влияние увеличение расстояния от нижней до верхней точки гребня и в меньшей – скорость движения упругого выравнивателя.

Как следует из уравнений регрессии и построенных графиков, с увеличением глубины поверхностной обработки частота колебаний и их амплитуда возрастают, приводя к увеличению ударного импульса рабочих органов упругого выравнивателя о почвенные агрегаты, что способствует уменьшению тяговой нагрузки на сам рабочий орган в сравнении с серийным. В результате наибольшее различие по тяговому сопротивлению (8,01%) исследуемые рабочие органы имеют при глубине обработки почвы 0,04 м. В среднем тяговое сопротивление рабочих органов упругого выравнивателя на 6,9% меньше по сравнению с серийным рабочим органом шлейф-бороны ШБ-2,5.

Выводы

В лабораторных условиях определялись энергетические показатели процесса выравнивания рабочими органами упругого выравнивателя в сравнении с серийными рабочими органами шлейф-бороны ШБ-2,5.

При глубине обработки почвы от 0,04 до 0,10 м и скорости движения от 0,5 до 1,5 м/с, с учетом постоянных факторов (влажность – 14,1–15,7% и твердость – 175,52–195,42 Н/см²), получены эмпирические зависимости в виде уравнений регрессии тягового сопротивления от глубины обработки и скорости движения рабочих органов упругого выравнивателя, а также серийной бороны.

Исследуемый рабочий орган упругого выравнивателя характеризуется в 1,77–2,51 раза большей частотой и в 2,72–3,69 раза большей амплитудой колебаний в сравнении с серийным образцом. Такое отличие амплитудно-частотной характеристики приводит к значительному снижению тягового сопротивления исследуемого рабочего органа упругого выравнивателя при выполнении поверхностной обработки почвы – в среднем на 5,19–8,01%.

Наибольшая величина снижения тягового сопротивления экспериментального рабочего органа, равная 8,01%, зафиксирована при обработке почвы на глубину 0,04 м. В среднем снижение величины тягового сопротивления рабочего органа упругого выравнивателя в сравнении с рабочим органом шлейф-бороны составило 6,9%.

Список источников

1. ГОСТ 33687-2015. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ, 2016. 42 с.
2. Комбинированный культиватор: патент на полезную модель 218321 Рос. Федерация. № 2023100866; заявл. 16.01.2023; опубл. 22.05.2023 Бюл. № 15. 8 с.
3. Морозов П.В., Голубев В.В. Анализ конструкций выравнивателей // Конкурентоспособность и инновационная активность АПК регионов: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции (Тверь, 06–08 февраля 2018 г.). Тверь: Изд-во Тверской ГСХА, 2018. С. 205–208.
4. 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 международной научно-практической конференции, приуроченной к 65-летию кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского ГАУ (Ставрополь, 04–05 октября 2018 г.). Ставрополь: ООО «Секвойя», 2018. С. 355–358.
5. Никифоров М.В. Обоснование параметров и режимов работы выравнивателя-уплотнителя для предпосевной обработки почвы при возделывании мелкосеменных культур: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Тверь, 2019. 221 с.
6. Никифоров М.В. Совершенствование конструкции выравнивающих рабочих органов для предпосевной обработки почвы под мелкосеменные культуры // Вестник НГИЭИ. 2018. № 12 (91). С. 30–39.
7. Путрин А.С. Терехов О.Н., Циклер В.В. и др. Основные характеристики движения почвенных частиц по криволинейной поверхности рабочего органа // Известия Оренбургского ГАУ. 2008. № 1. С. 93–98.
8. Bravo E.L., Tijssens E., Suárez M.H. et al. Prediction model for non-inversion soil tillage implemented on discrete element method // Computers and Electronics in Agriculture. 2014. Vol. 106. Pp. 120–127. DOI:10.1016/j.compag.2014.05.007.
9. Fontes F.P. Soil and Water Conservation technology adoption and labour allocation: Evidence from Ethiopia // World Development. 2020. Vol. 127. Article no. 104754. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.104754.
10. Hofbauer M., Bloch R., Bachinger J. et al. 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. Article no. 105435. DOI: 10.1016/j.still.2022.105435.

References

1. GOST 33687-2015. Mashiny i orudiya dlya poverkhnostnoj obrabotki pochvy. Metody ispytaniy [Machines and tools for surface treatment of soil. Test methods]. Moscow: Standartinform Press; 2016. 42 p. (In Russ.).
2. Kombinirovannyj kul'tivator [Combined cultivator]: patent na poleznuyu model' 218321 Rossijskaya Federatsiya. № 2023100866; zayavleno 01.16.2023; opublikovano 05.22.2023, Byul. № 15 = Utility model patent 218321 Russian Federation. No. 2023100866; claimed 01.16.2023; published 05.22.2023, Bulletin 15. 8 p. (In Russ.).

3. Morozov P.V., Golubev V.V. Analiz konstruksij vyrovnyvatelej. Konkurentosposobnost' i innovatsionnaya aktivnost' APK regionov: sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii (Tver, 06-08 fevralya 2018 g.) [Analysis of leveler designs. Competitiveness and innovative activity of the regional Agro-Industrial Complex: Proceedings of International Research-to-Practice Conference (Tver, February 06-08, 2018)]. Tver: Tver State Agricultural Academy Press; 2018:205-208. (In Russ.).

4. Nikiforov M.V., Morozov P.V., Golubev V.V. Vliyanie rezhimov raboty vyrovnyvatelya na sherokhovatost' pochvennogo profilya. Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy biogeokhimicheskikh potokov veshchestv v agrolandshaftakh: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii, priurochennoj k 65-letiyu kafedry agrokhimii i fiziologii rastenij Stavropol'skogo GAU (Stavropol, 04-05 oktyabrya 2018 g.) [Influence of leveler operating modes on the roughness of the soil profile. Theoretical and technological foundations of biogeochemical flows of substances in agricultural landscapes: Proceedings of the International Research-to-Practice Conference dedicated to the 65th anniversary of the Department of Agrochemistry and Plant Physiology of Stavropol State Agrarian University (Stavropol, October 04-05, 2018)]. Stavropol: Sequoia; 2018:355-358. (In Russ.).

5. Nikiforov M.V. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty vyrovnyvatelya-uplotnitelya dlya predposevnoj obrabotki pochvy pri vozdeleyvanii melkosemennyykh kul'tur [Justification of the parameters and operating modes of the leveler-compact for pre-sowing soil treatment when cultivating small-seed crops]: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk = Candidate Dissertation in Engineering Sciences: 05.20.01. Tver, 2019. 221 p. (In Russ.).

6. Nikiforov M.V. Sovershenstvovanie konstruksii vyrovnyvayushchikh rabochikh organov dlya predposevnoj obrabotki pochvy pod melkosemennye kul'tury [Improvement of the design of leveler working bodies for pre-sowing soil treatment for small-seed crops]. *Vestnik NGIEI = Bulletin NGIEI*. 2018;12(91):30-39. (In Russ.).

7. Putrin A.S., Terekhov O.N., Tsikler V.V. et al. Osnovnyye kharakteristiki dvizheniya pochvennykh chastits po krivolinejnoj poverkhnosti rabocheho organa [Basic characteristics of the movement of soil particles along the curved surface of the working body]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2008;1:93-98. (In Russ.).

8. Bravo E.L., Tijskens E., Suárez M.H. et al. Prediction model for non-inversion soil tillage implemented on discrete element method. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014;106:120-127. DOI: 10.1016/j.compag.2014.05.007.

9. Fontes F.P. Soil and Water Conservation technology adoption and labour allocation: Evidence from Ethiopia. *World Development*. 2020;127(2):104754. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.104754.

10. Hofbauer M., Bloch R., Bachinger J. et al. Effects of shallow non-inversion tillage on sandy loam soil properties and winter rye yield in organic farming. *Soil and Tillage Research*. 2022;222(1):105435. DOI: 10.1016/j.still.2022.105435.

Информация об авторах

И.В. Соболевский – кандидат технических наук, доцент, зав. отделом механизации производства и разработки новых образцов техники ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», sobolevskij_i@niishk.site.

В.А. Куклин – кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», kuklin-va@mail.ru.

И.И. Калафатов – зав. лабораторией основ сельскохозяйственной агроинженерии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ikalafatov@mail.ru.

Information about the authors

I.V. Sobolevsky, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of the Dept. of Mechanization of Production and Development of New Models of Technical Equipment, Research Institute of Agriculture of Crimea, sobolevskij_i@niishk.site.

V.A. Kuklin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Technical Systems in Agribusiness. V.I. Vernadsky Crimean Federal University, kuklin-va@mail.ru.

I.I. Kalafatov, Head of the Laboratory of Fundamentals of Agricultural Engineering, Research Institute of Agriculture of Crimea, ikalafatov@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 09.08.2023; одобрена после рецензирования 15.09.2023; принята к публикации 26.09.2023.

The article was submitted 09.08.2023; approved after reviewing 15.09.2023; accepted for publication 26.09.2023.

© Соболевский И.В., Куклин В.А., Калафатов И.И., 2023