

УДК 631.31
EDN ZSPOES

Соболевский И. В.¹, Москалевич В. Ю.², Калафатов И. И.¹
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
СТЕРНЕВОГО КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ
ПОЧВЫ**

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

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

Реферат. Рабочие органы стерневого культиватора содержат упругую S-образную стойку, на которой расположен ударник, долото, режущая кромка которого выполнена по форме проекции головы жука-скарабея (*Scarabaeus*), а также волнистые боковые крылья, режущая кромка которых выполнена по форме зазубрин роющей ноги жука-навозника обыкновенного (*Geotrupes stercorarius*). Они предназначены для поверхностной обработки на глубину до 14–15 см стерневого фона, который остается после уборки урожая, а также для подготовки почвы перед посевом и ухода за парами в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения, подверженных совместному воздействию водной и ветровой эрозии, и могут применяться в адаптивно-ландшафтных ресурсосберегающих технологиях Mini-Till и No-Till. Цель исследований – определение энергетических показателей технологического процесса поверхностной обработки почвы рабочими органами стерневого культиватора в сравнении с серийными рабочими органами культиватора КПЭ-3,8. Исследования проведены в отделе механизации производства и разработки новых образцов оборудования (ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма») совместно с лабораторией бионической агроинженерии (ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского») в 2021–2022 гг. Лабораторные эксперименты проводили в почвенном канале при следующих свойствах почвы в обрабатываемом слое (влажность 16–19 %, твердость – 188–196 Н/см², деформационный показатель – $1,95 \times 10^{-7}$ – $3,1 \times 10^{-7}$ м²/Н). Исследовали закономерности технологического процесса рабочих органов стерневого культиватора (амплитуда и частота вибрации) в связи с энергетическими показателями поверхностной обработки почвы (тяговое сопротивление). Экспериментальный рабочий орган стерневого культиватора имеет большую частоту и амплитуду колебаний (соответственно в 1,1–1,4 раза и 2,0–6,5 раз) по сравнению с серийным аналогом – рабочим органом культиватора КПЭ-3,8. Это обеспечивает меньшее тяговое сопротивление рабочего органа стерневого культиватора при обработке почвенного пласта в среднем на 16,7–20,1 %. Наибольшее различие по тяговому сопротивлению (20 %) исследуемые рабочие органы имеют при глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление рабочих органов стерневого культиватора на 19 % меньше, чем серийного рабочего органа КПЭ-3,8.

Ключевые слова: почва, стерневой культиватор, рабочий орган, вибрация, амплитуда, частота, глубина обработки, скорость движения, тяговое сопротивление.

Для цитирования: Соболевский И. В., Москалевич В. Ю., Калафатов И. И. Определение энергетических показателей рабочих органов стерневого культиватора для поверхностной обработки почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 171–179. EDN: ZSPOES.

For citation: Sobolevsky I. V., Moskalevich V. Yu., Kalafatov I. I. Determination of energy indicators of working bodies of stubble cultivator for surface tillage // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3(31). P. 171–179. EDN: ZSPOES.

Введение

В растениеводческом комплексе Республики Крым эффективное ведение сельского хозяйства требует использования новых адаптивно-ландшафтных ресурсосберегающих технологий Mini-Till и No-Till [1]. В данных технологиях обработки почвы без оборота пласта под посев озимых и яровых зерновых культур по стерневым фонам с глубиной обработки 14–15 см наибольшее распространение получили стерневые культиваторы [2].

Анализ исследований таких ученых, как Haiyue Yu, Zhiwu Han, Junqiu Zhang, Shuaijun Zhang школы мехатроники Чанчуньского технологического университета, а также лаборатории бионической инженерии Министерства образования Цзилиньского университета показывают, что применение бионических конструкций рабочих органов для рыхления почвы на основе изучения форм поверхности тел животных приводит к значительному снижению тягового сопротивления. Роющие конечности некоторых животных обладают высокой способностью рыхлить почву. Именно они выбраны в качестве биологических прототипов форм почворежущих орудий для увеличения их эффективности крошения и снижения сопротивления на основе бионического принципа подобия [4].

Разработанные инновационные рабочие органы стерневого культиватора, в обоснование параметров которого заложены два биологических прототипа: жук-скарабей (*Scarabaeus*) и жук-навозник обыкновенный (*Geotrupes stercorarius*), предназначены для обработки стерневого фона, который остается после уборки урожая, а также для подготовки почвы перед посевом и ухода за парами [5, 6].

Рабочие органы стерневого культиватора содержат упругую С-образную стойку, на которой расположен ударник, долото, режущая кромка которого выполнена по форме проекции головы жука-скарабея, а также волнистые боковые крылья, режущая кромка которых выполнена по форме зазубрин роющей ноги жука-навозника обыкновенного [7, 8]. В качестве их прототипа были выбраны рабочие органы серийного культиватора КПЭ-3,8, где основным недостатком, при увеличении нагрузки, был частый уход стойки в сторону от плоскости начального рыхления, что приводило к сильному уменьшению качества подрезания стерни [9, 10].

Цель исследований – определение энергетических показателей технологического процесса поверхностной обработки почвы рабочими органами стерневого культиватора в сравнении с серийными рабочими органами культиватора КПЭ-3,8.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в отделе механизации производства и разработки новых образцов оборудования ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» совместно с лабораторией бионической агроинженерии ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» в 2021–2022 гг. Объект исследования – технологический процесс поверхностной обработки почвы рабочими органами стерневого-культиватора. Предмет исследования – закономерности технологического процесса рабочих органов стерневого культиватора в связи с энергетическими показателями поверхностной обработки почвы.

Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 33687-2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний».

Место проведения испытаний – почвенный канал прямоугольной формы с размерами поперечного сечения 2500×2000 мм. Состав почвы в канале соответствует основному типу почвы в Крымском регионе – чернозему южному. По краям канала расположены рельсы, по которым перемещается тележка с исследуемыми рабочими органами. Движение тележки осуществляется лебедкой с приводом от

электродвигателя с фазным ротором через коробку переменных передач. Испытуемые рабочие органы стерневого культиватора по бионическому подобию крепятся к подвижной раме тележки специальными хомутами. Скорость перемещения тележки может варьировать путем переключения передач, а также с помощью изменения электрического сопротивления в цепи обмотки ротора за счёт жидкостного реостата.

Подвижная рама тележки оборудована специальными направляющими и винтами с двух сторон. С помощью данных винтов осуществляется регулировка глубины хода рабочих органов в почве при проведении испытаний.

Для создания требуемой плотности исследуемого пласта почвы в почвенном канале применяется её прикатывание водоналивным катком. Перед проведением экспериментов почва увлажняется специальным приспособлением до требуемой влажности.

Перед проведением каждого опыта определяли свойства почвенного пласта – влажность, твердость и деформационный показатель. Влажность почвы определяли влагомером почвы TR модель 46908 (рисунок 1, а), твердость и деформационный показатель – с помощью твердомера Ю. Ю. Ревякина, где применяли штампы соответственно плоской и сферической формы (рисунок 1, б).

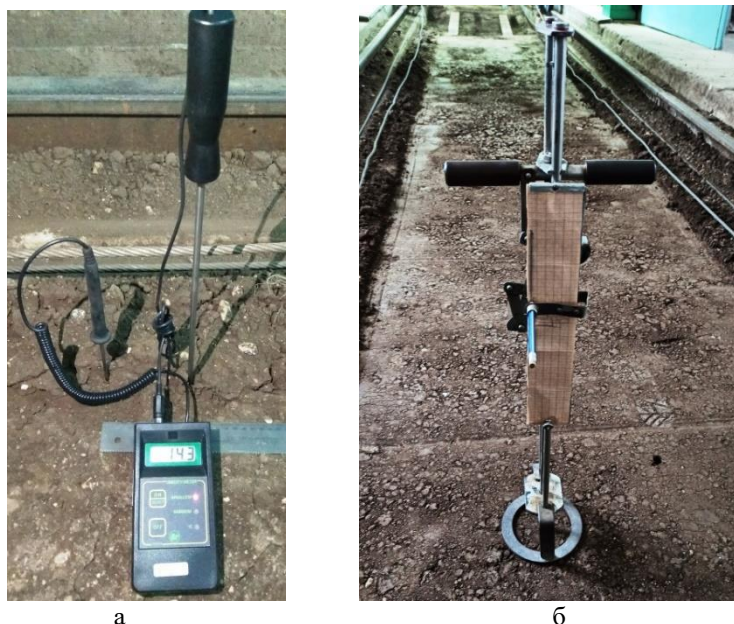


Рисунок 1 – Приборы для измерения свойства почвенного пласта

Примечание. а – влагомер почвы TR модель 46908; б – твердомер Ю.Ю. Ревякина.

Регистрацию получаемых экспериментальных значений осуществляли с помощью ноутбуков Aser MS2286 – 1 и Lenovo Ideapad 310-15 IAP – 2 с программным комплексом ZETLAB, а также анализатора спектра вибрации ZET017-U2 – 3, портативной тензостанции ZET 017-T8 – 4 и пьезоэлектрического акселерометра BC110 – 5. Значения тягового сопротивления определяли с помощью тензометрического датчика TS21-T2 – 6 (рисунок 2).

В процессе перемещения в почве исследуемого рабочего органа, закреплённого на тележке, сигналы от датчиков вибрации и тягового сопротивления передавались на анализатор спектра ZET017-U2 и тензостанцию ZET 017-T8, а далее на ноутбук с программным комплексом ZETLAB, в котором они фиксировались и обрабатывались. На дисплее ноутбука происходила визуализация данных в виде графиков.



Рисунок 2 – Приборы для регистрации полученных экспериментальных значений

Для снижения погрешностей и получения действительных значений энергетических показателей в обязательном порядке проводили тарировку тензометрического датчика TS21-T2 с помощью поверенного механического динамометра ДПУ-0,5-2 с пределами измерений от 0 до 5 кН (рисунок 3).

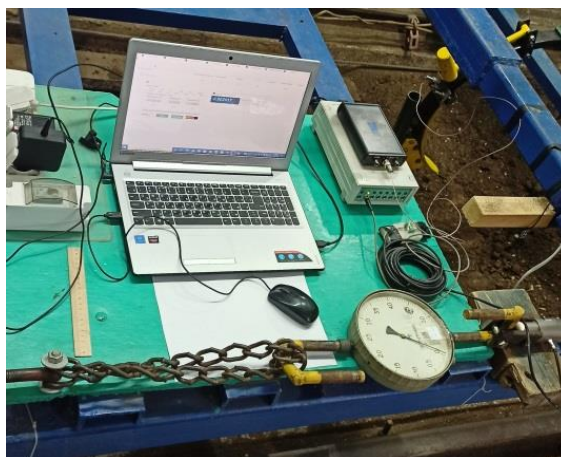


Рисунок 3 – Процесс тарировки тензометрического датчика TS21-T2

Тарировку датчика вибрации проводили путём создания вибрации стойки, на которой он закреплён, с определёнными значениями частоты и амплитуды, и фиксации соответствующей величины сигнала анализатором спектра ZET017-U2.

На рисунке 4 представлены графики тарировки тензометрического датчика TS21-T2 и датчика вибрации, которые позволяют установить соответствие между величиной сигналов от датчиков в милливольты (мВ) и действительными значениями измеряемых параметров тягового сопротивления и вибрации рабочих органов.

Для определения значений коэффициентов уравнения регрессии проведен двухфакторный эксперимент типа $N = 2^2$. В качестве варьируемых факторов использовали два показателя: глубину обработки и скорость движения. Глубина варьировала в диапазоне от 5 до 15 см, а скорость – от 0,67 до 1,33 м/с. В качестве аналога для сравнения использовали серийный рабочий орган культиватора КПЭ-3,8.

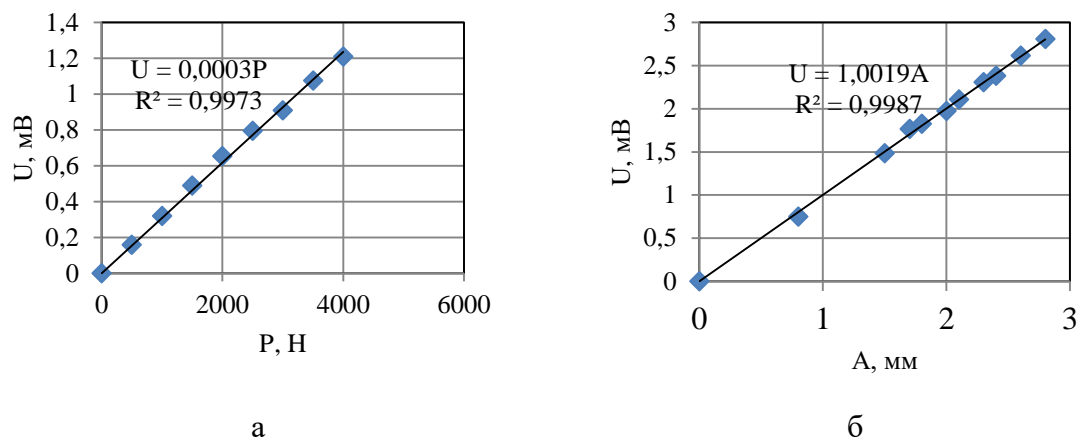


Рисунок 4 – График тарировки

Примечание. а – тензометрический датчик TS21-T2; б – датчик вибрации BC110.

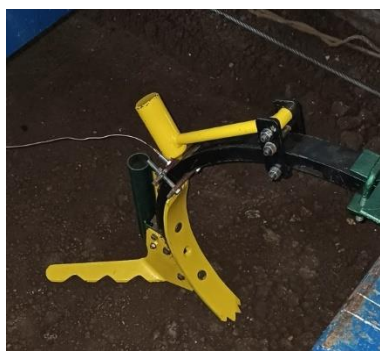
Результаты и их обсуждение

Основные не варьируемые факторы, такие как влажность W , твердость T и деформационный показатель ν почвы, представлены в таблице 1. Замеры этих значений характеризуют имитацию почвы повышенной плотности, которая формируется в процессе отсутствия длительной её обработки при образовании на её поверхности стернового фона после прохода зерноуборочных комбайнов.

Таблица 1 – Основные не варьируемые факторы почвы

Глубина обработки h , м	Значение показателя		
	Влажность W , %	Твердость T , Н/см ²	Деформационный показатель ν , м ² /Н
0,05	16,2–19,1	188,59–196,04	$1,95 \times 10^{-7}$ – $3,2 \times 10^{-7}$
0,10	16,8–18,9	187,35–194,54	$1,95 \times 10^{-7}$ – $3,1 \times 10^{-7}$
0,15	16,4–19,0	188,34–196,12	$1,96 \times 10^{-7}$ – $3,1 \times 10^{-7}$

В ходе исследований экспериментальных рабочих органов стернового культиватора и серийных рабочих органов культиватора КПЭ-3,8 (рисунок 5) получены значения таких показателей, как частота k и амплитуда A вибрации и тяговое сопротивление P . Данные значения представлены в таблице 2.



а



б

Рисунок 5 – Общий вид испытуемых рабочих органов

Примечание. а – экспериментальный рабочий орган; б – серийный рабочий орган культиватора КПЭ-3,8.

Таблица 2 – Результаты исследования параметров вибрации и тягового сопротивления серийного рабочего органа КПЭ-3,8 и экспериментального рабочего органа (скорость 1,33 м/с)

Наименование показателя	Значение показателя						Повышение интенсивности вибрации рабочего органа в сравнении с серийным, раз		Снижение тягового сопротивления экспериментального рабочего органа в сравнении с серийным, %
	Серийный рабочий орган КПЭ-3,8			Экспериментальный рабочий орган					
Глубина обработки почвы h , м	Частота вибрации k , Гц	Амплитуда вибрации A , мм	Тяговое сопротивление P , Н	Частота вибрации k , Гц	Амплитуда вибрации A , мм	Тяговое сопротивление P , Н	по частоте	по амплитуде	
0,05	376	0,37	847,45	520	2,44	676,61	1,38	6,59	20,15
0,10	372	0,17	1039,4	417	0,51	842,59	1,12	3,00	18,93
0,15	358	0,23	1286,53	393	0,46	1071,90	1,10	2,00	16,68

После проведения экспериментальных проходов и обработки данных с помощью программы Microsoft Excel построены графики зависимости тягового сопротивления от глубины обработки, а также частоты колебаний от глубины обработки (рисунки 6, 7).

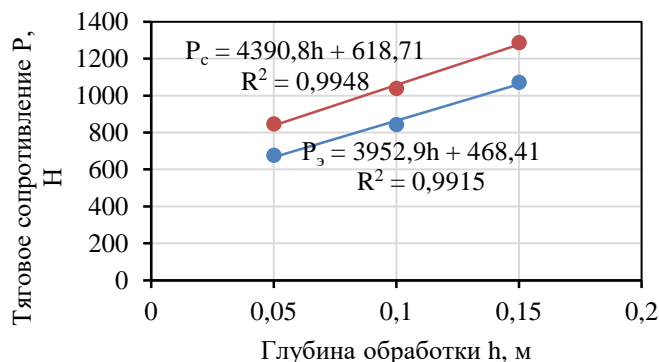


Рисунок 6 – График зависимости тягового сопротивления P от глубины обработки h при скорости движения $V = 1,33$ м/с

Примечание. Здесь и далее: $P_э$ – экспериментальный рабочий орган; P_c – серийный рабочий орган культиватора КПЭ-3,8.

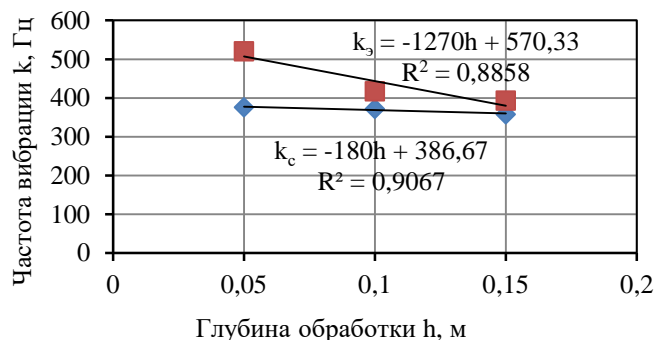


Рисунок 7 – График зависимости частоты колебаний k от глубины обработки h при скорости движения $V = 1,33$ м/с

Из таблицы 2 и графиков на рисунках 6 и 7 видно, что исследуемый нами экспериментальный рабочий орган стерневого культиватора имеет большую частоту и амплитуду колебаний, соответственно в 1,1–1,4 раза и 2,0–6,5 раз по сравнению с серийным аналогом. Это обеспечивает меньшее тяговое сопротивление рабочего органа стерневого культиватора при обработке почвенного пласта в среднем на 16,7–20,1 %.

Полученные в процессе проведения экспериментов уравнения регрессии в кодированных переменных имеют вид:

– для экспериментального рабочего органа стерневого культиватора:

$$Y_{\text{Э}} = 811,88 + 176,86X_1 + 62,47X_2 + 20,79X_1X_2; \quad (1)$$

– для серийного рабочего органа КПЭ-3,8:

$$Y_{\text{С}} = 986,02 + 212,41X_1 + 80,97X_2 + 7,13X_1X_2. \quad (2)$$

Оценка значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента показала, что для уравнения (1) значимыми являются коэффициенты, удовлетворяющие условию $|b_i| \geq 59,41$, а для уравнения (2) – соответственно $|b_i| \geq 48,78$.

При проверке полученных математических моделей (1) и (2) по критерию Кохрена его расчетное значение G_p оказалось меньше табличного $G_T = 0,76$ и составило, соответственно, 0,54 и 0,43, а это означает воспроизводимость полученных результатов.

Проверка математических моделей (1) и (2) по критерию Фишера подтвердила их адекватность, поскольку расчетные значения F_p составили, соответственно, 0,95 и 0,17, что меньше табличного значения $F_T = 7,71$.

Уравнения регрессии в натуральных значениях переменных, с учётом оценки значимости коэффициентов, имеют вид:

– для экспериментального рабочего органа стерневого культиватора:

$$P_{\text{Э}} = 255,77 + 3537,2h + 202,29v; \quad (3)$$

– для серийного рабочего органа КПЭ-3,8:

$$P_{\text{С}} = 318,29 + 4248,2h + 242,91v. \quad (4)$$

Проанализировав полученные уравнения регрессии (1), (2), (3), (4) и их коэффициенты, можно сделать вывод, что с увеличением глубины и скорости обработки почвы тяговое сопротивление исследуемых рабочих органов возрастает. При этом глубина обработки оказывает более существенное влияние по сравнению со скоростью. Из полученных уравнений регрессии и построенных графиков видно, что тяговое сопротивление рабочих органов стерневого культиватора с увеличением глубины и скорости обработки почвы растёт менее интенсивно по сравнению с серийным рабочим органом КПЭ-3,8, что объясняется более интенсивной вибрацией первого. Наибольшее различие по тяговому сопротивлению (20 %) исследуемые рабочие органы имеют при глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление рабочих органов стерневого культиватора на 19 % меньше, чем серийного рабочего органа КПЭ-3,8.

Выводы

При глубине обработки почвы от 0,05 до 0,15 м при её влажности 16–19 %, твердости 188–196 Н/см², деформационном показателе $1,95 \times 10^{-7}$ – $3,1 \times 10^{-7}$ м²/Н получены зависимости в виде уравнений регрессии тягового сопротивления от глубины обработки и скорости движения рабочих органов стерневого культиватора и серийного его аналога КПЭ-3,8. С увеличением глубины и скорости обработки почвы тяговое сопротивление исследуемых рабочих органов возрастает. При этом глубина обработки оказывает более существенное влияние по сравнению со скоростью. Экспериментальный рабочий орган стерневого культиватора имеет большую частоту и амплитуду колебаний,

соответственно в 1,1–1,4 раза и 2,0–6,5 раз по сравнению с серийным аналогом – рабочим органом культиватора КПЭ-3,8. Это обеспечивает меньшее тяговое сопротивление рабочего органа стерневого культиватора при обработке почвенного пласта в среднем на 16,7–20,1 %. Наибольшее различие по тяговому сопротивлению (20 %) исследуемые рабочие органы имеют при глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление рабочих органов стерневого культиватора на 19 % меньше, чем серийного рабочего органа КПЭ-3,8.

Литература

1. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В. Бионическое обоснование конструкции упругих рабочих органов культиватора-плоскореза // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2016. № 6 (169). С. 50–59.
2. Guo Z., Zhou Z., Ren L. 2D finite element analysis for the cutting performance of bionic curved cutting tools // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2003. No. 9 P. 106–109. DOI: 10.3901/JME.2003.09.106.
3. Zhang Z., Wang X., Tong J., Carr S. Innovative design and performance evaluation of bionic imprinting toothed wheel // Appl. Bionics Biomechanics. 2018. Art. No. 9806287. DOI: 10.1155/2018/9806287.
4. Yu H., Han Z., Zhang J., Zhang S. Bionic design of tools in cutting: reducing adhesion, abrasion or friction // Wear. 2021. Vol. 482–483. P. 203955. DOI: 10.1016/j.wear.2021.203955.
5. Smith D. R., Warnemuende-Pappas E. A. Vertical tillage impacts on water quality derived from rainfall simulations // Soil Tillage Res. 2015. Vol. 153. P. 155–160. DOI: 10.1016/j.still.2015.04.004.
6. Верняев О. В. Активные рабочие органы культиваторов. М.: Машиностроение, 1983. 79 с.
7. Дубровский А. А. Вибрационная техника в сельском хозяйстве. М.: Машиностроение, 1968. 126 с.
8. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Methodology for designing tillage working bodies of a stubble cultivator-flat-cutter based on agricultural biomechanics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions (AEGIS 2021). Tashkent, 2021. Vol. 868. Iss. 1. Art. No. 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/868/1/012007.
9. Полищук Д. Ф., Девятериков С. А. Прикладные теории удара. Удар в пружинных механизмах. М.: Институт компьютерных исследований, 2006. 124 с.
10. Патент РФ № 204976. Рабочий орган стерневого культиватора // Авторы: Соболевский И. В., Бабицкий Л. Ф., Паштецкий В. С., Анюхин В. Е., Макалиш А. М., Калафатов И. И. Правообладатель: ФНБУН «НИИСХ Крыма». заявл. 05.03.2021; опублик. 11.06.2021. Бюл. № 17. 9 с.

References

1. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V. Bionic design justification of resilient working bodies of the flat cut cultivator // Transactions of Taurida Agricultural Science. 2016. No. 6. P. 50–59.
2. Guo Z., Zhou Z., Ren L. 2D finite element analysis for the cutting performance of bionic curved cutting tools // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2003. No. 9 P. 106–109. DOI: 10.3901/JME.2003.09.106.
3. Zhang Z., Wang X., Tong J., Carr S. Innovative design and performance evaluation of bionic imprinting toothed wheel // Appl. Bionics Biomechanics. 2018. Art. No. 9806287. DOI: 10.1155/2018/9806287.
4. Yu H., Han Z., Zhang J., Zhang S. Bionic design of tools in cutting: reducing adhesion, abrasion or friction // Wear. 2021. Vol. 482–483. P. 203955. DOI: 10.1016/j.wear.2021.203955.
5. Smith D. R., Warnemuende-Pappas E. A. Vertical tillage impacts on water quality derived from rainfall simulations // Soil Tillage Res. 2015. Vol. 153. P. 155–160. DOI: 10.1016/j.still.2015.04.004.
6. Vernyaev O. V. Active working bodies of cultivators. Moscow: Mashinostroenie, 1983. 79 p.
7. Dubrovsky A. A. Vibration technique in agriculture. Moscow: Mashinostroenie, 1968. 126 p.
8. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Methodology for designing tillage working bodies of a stubble cultivator-flat-cutter based on agricultural biomechanics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions (AEGIS 2021). Tashkent, 2021. Vol. 868. Iss. 1. Art. No. 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/868/1/012007.
9. Polishchuk D. F., Devyaterikov S. A. Applied theories of impact. Impact in spring mechanisms. Moscow: Institute of Computer Research, 2006. 124 p.
10. Patent of the Russian Federation No. 204976. Working body of the stubble cultivator // Authors: Sobolevsky I. V., Babitsky L. F., Pashtetsky V.S., Anyukhin V.E., Makalish A.M., Kalafatov I.I. Patent owner: Research Institute of Agriculture of Crimea. application date: March 5, 2021; published: June 11, 2021. Bull. No. 17. 9 p.

UDC 631.31

Sobolevsky I. V., Moskalevich V. Yu., Kalafatov I. I.

DETERMINATION OF ENERGY INDICATORS OF WORKING BODIES OF STUBBLE CULTIVATOR FOR SURFACE TILLAGE

Summary. *The working bodies of the stubble cultivator contain an elastic C-shaped post, on which there is a hammer, a bit (the cutting edge is made in the form of a projection of the scarab beetle head (Scarabaeus)), as well as wavy side wings (the cutting edge is made in the form of notches of the burrowing leg of the dung beetle (Geotrupes stercorarius)). They are designed for surface tillage of stubble, that is left after harvesting, to a depth of 14-15 cm, as well as for soil preparation before sowing and care for bare fallow in areas of insufficient and unstable moisture exposed to combined water and wind erosion. These working bodies can be applied in adaptive landscape resource-saving Mini-Till and No-Till technologies. The purpose of the study was to determine energy indicators of the technological process of soil surface tillage by working bodies of a stubble cultivator in comparison with serial working bodies of cultivator KPE-3.8. The research was carried out at the Department of Mechanization of Production and Development of New Types of Equipment (FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”) together with the Laboratory of Bionic Agroengineering (FSAEI HE “V.I. Vernadsky Crimean Federal University”) in 2021–2022. Laboratory experiments were conducted in the soil channel. Soil properties: moisture – 16–19%, hardness – 188-196 N/cm², deformation index – 1.95·10⁻⁷-3.1·10⁻⁷ m²/N. The regularities of the technological process of the working bodies of the stubble cultivator (amplitude and frequency of vibration) were studied in connection with the energy indicators of surface tillage (traction resistance). Experimental working bodies of stubble cultivator had higher frequency (by 1.1–1.4 times) and amplitude of oscillations (by 2-6.5 times) compared to serial analogue – cultivator KPE-3.8 working bodies. This ensures lower traction resistance (on average by 16.7–20.1 %) of the working bodies of the stubble cultivator in the process of soil layer tillage. Studied working bodies had the greatest difference in traction resistance (20 %) on the depth of 5 cm. On average, the traction resistance of the working bodies of the stubble cultivator was 19 % less than that of the serial KPE-3.8 working body.*

Keywords: *soil, stubble cultivator, working body, vibration, amplitude, frequency, depth of tillage, speed of movement, 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.

Москалевич Вадим Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технические системы в агробизнесе», Институт «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского», 295492, Россия, г. Симферополь, п. Аграрное, e-mail: v_moskalevich@mail.ru.

Калафатов Ильяс Идрисович, инженер-конструктор отдела 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: 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.

Moskalevich Vadim Yurievich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor professor of the Department of technical systems in agribusiness, Agrotechnological Academy (structural unit) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University; village of Agrarnoe, Simferopol, 295492, Russia; e-mail: v_moskalevich@mail.ru.

Kalafatov Ilyas Idrisovich, design engineer 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: ikalafatov@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 10.05.2022.

Дата принятия к печати – 11.06.2022.