

DOI 10.5281/zenodo.10141799

EDN RHAHJL

УДК 631.31

Соболевский И. В.¹, Куклин В. А.^{1,2}, Исмаилов Я. Н.¹.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
КОМБИНИРОВАННОГО СТЕРНЕВОГО АГРЕГАТА С
МОДЕРНИЗИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ВЫРАВНИВАТЕЛЯ**

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

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

Реферат. Анализ современного развития рабочих органов комбинированных стерневых агрегатов для поверхностной обработки почвы показывает, что наилучшими элементами конструкции рабочих органов финишной системы являются упругие выравнивающие элементы – пружинные бороны, упругие полосовидные загортачи, а также уплотняющие элементы – ротационные планчатые либо трубчатые катки. Поэтому для повышения качества финишной обработки почвы после прохода плоскорезущих рабочих органов стерневого комбинированного агрегата необходимо разработать и испытать новые рабочие органы выравнивателя, обеспечивающего ровную поверхность поля и мелкокомковатую структуру почвенных агрегатов в соответствии с агропотребованиями. Цель исследований – определение качественных и энергетических показателей работы финишной системы с модернизированными рабочими органами выравнивателя экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог» для поверхностной обработки почвы, а также сравнение с серийным культиватором комбинированным КПЭ-3,8В в почвенно-климатических условиях Крымского региона. Исследования проведены на полях отделения полевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» в 2023 г. При поверхностной обработке почвы после уборки ярового ячменя по стерневому фону с диапазоном изменения варьируемых факторов по глубине плоскорезущих лап культиватора (которая изменялась от 5 до 15 см) и рабочих органов выравнивателя (от 4 до 10 см), при значениях влажности – 12,7–13,2 %, твердости – 230,89–505,2 Н/см², деформационного показателя почвы ν – $1,08 \times 10^{-7}$ – $1,27 \times 10^{-7}$ м²/Н получены зависимости эмпирических уравнений регрессии тягового сопротивления от глубины обработки и скорости экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог», а также его серийного аналога КПЭ-3,8В. В среднем тяговое сопротивление экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» на 16,15 % меньше, чем у серийного комбинированного агрегата КПЭ-3,8В. КСА-3,8М «Сварог» обеспечивает повышение степени крошения почвы на 5,6–6,2 % и снижение глыбистости в 1,25–1,36 раза.

Ключевые слова: стерневая обработка почвы, комбинированный агрегат, финишная система, тяговое сопротивление, степень крошения, глыбистость.

Для цитирования: Соболевский И. В., Куклин В. А., Исмаилов Я. Н. Исследование процесса работы экспериментального комбинированного стерневого агрегата с модернизированными рабочими органами выравнивателя // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 215–226. EDN: RHAHJL. DOI: 10.5281/zenodo.10141799.

For citation: Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Ismailov Y.N. Research of the operation process of an experimental combined stubble unit with modernized working bodies of the leveler // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 215–226. EDN: RHAHJL. DOI: 10.5281/zenodo.10141799.

Введение

При современном уровне развития сельскохозяйственного машиностроения для поверхностной и предпосевной обработки почвы важную роль играют системы финишной обработки поверхности прокультивированного пласта почвы. Финишная система является наиболее важной при формировании выровненного фона поверхности поля, подготовленного под посев.

Как показывают исследования процесса выравнивания поля после посева на примере почвообрабатывающей посевной машины «Обь-43Т», у аграриев возникают затруднения, связанные с невыровненной обработкой поверхности поля после посева. Данная проблема заключается в формировании незасыпанных следов заднего ряда стрелчатых лап и высоких гребней, образованных на стыках. В результате на требуемую глубину заделываются по неровной поверхности от 29 до 35 % семян зерновых культур [1].

В Республике Крым (регион рискованного земледелия) наибольшее распространение приобретают ресурсосберегающие почвообрабатывающие технологии без оборота пласта. Посев осуществляется после предпосевной обработки стерневого фона. Для таких технологий предпочтительны комбинированные стерневые агрегаты [2–4]. При этом в процессе стерневой обработки поверхности поля перед посевом должен создаваться хорошо выровненный защитный слой, содержащий почвенные фракции размером до 25 мм не менее 85 %, с гребнистостью поверхности не более 4,0 см, которая препятствует потере влаги путем её интенсивного испарения. Формирование такой структуры обработанного почвенного пласта должно обеспечиваться соответствующей почвообрабатывающей техникой, которая себя хорошо зарекомендовала при стерневой обработке почвы.

Анализ современного развития рабочих органов комбинированных стерневых агрегатов для поверхностной обработки почвы показывает, что наилучшими элементами конструкции рабочих органов финишной системы являются упругие выравнивающие элементы – пружинные бороны, упругие полосовидные загортачи, а также уплотняющие элементы – ротационные планчатые либо трубчатые катки [5–10].

Как показывает анализ конструкций, высокое качество выравнивания поверхности определяется оптимальной формой рабочих органов. Дополнительно обоснованная форма рабочих органов выравнивателей должна обеспечивать снижение тягового сопротивления комбинированного стерневого агрегата. Существующие агрегаты не в полной мере обеспечивают соответствие агротребованиям по формированию оптимальных параметров фракционного состава почвы и её гребнистости. Поэтому для повышения качества финишной обработки почвы после прохода плоскорезущих рабочих органов стерневого комбинированного агрегата необходимо разработать и испытать новые рабочие органы выравнивателя, обеспечивающего выровненную поверхность поля и мелкокомковатую структуру почвенных агрегатов в соответствии с агротребованиями [11].

Цель исследований – определение качественных и энергетических показателей работы финишной системы с модернизированными рабочими органами выравнивателя экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог» для поверхностной обработки почвы и их сравнение с серийным культиватором комбинированным КПЭ-3,8В в почвенно-климатических условиях Крымского региона.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены на полях отделения полевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» в 2023 г.

Объект исследования – технологический процесс работы финишной системы с модернизированными рабочими органами выравнивателя экспериментального

комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог» для поверхностной обработки почвы.

Предмет исследования – качественные и энергетические показатели поверхностной обработки почвы финишной системы с модернизированными рабочими органами выравнивателя экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог».

Полевые исследования экспериментального агрегата выполняли в соответствии с ГОСТ 33687-2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний».

Проводили испытания на опытных полях отделения полевых культур (с. Клепинино, Красногвардейского района Республики Крым) на трех агрофонах: стерневой фон (предшественник озимый ячмень), паровое поле, обработка поля дискованием (предшественник озимый ячмень) общей площадью 150 га на южном мицелярно-карбонатном черноземе.

Экспериментальный комбинированный стерневой агрегат КСА-3,8М «Сварог» предназначен для обработки стерни, которая остается после уборки урожая, а также для обработки почвы перед посевом и ухода за парами. Он выполняет следующие операции: срезание стерни, одновременное рыхление слоя почвы на глубину заделки семян, выравнивание поверхности поля, разрушение катками комков почвы до мелких фракций. Состоит из трех рядов, оснащенных разборными рабочими органами типа «долото-плоскорезный лемех» (1), двумя транспортными колесами (2) и двумя опорными колесами (3) для регулировки глубины обработки почвы, финишной системы (4), состоящей из секции выравнивателей (5) в форме упругих полосовидных загортачей (6), а также задней батареи планчатых катков (7) (рисунок 1) (патент RU № 218 321 U1, патент RU 218 025 U1) [12, 13].

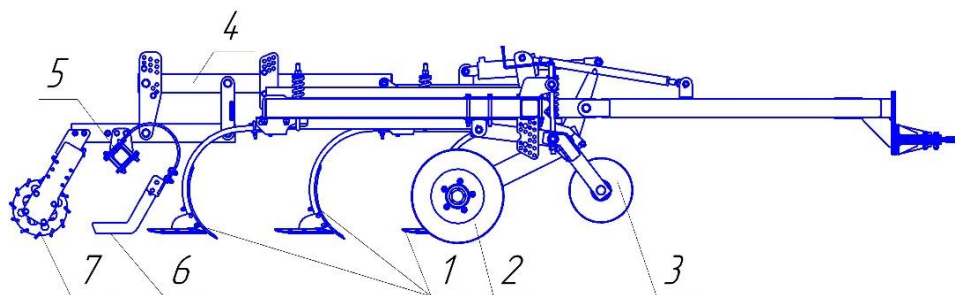


Рисунок 1 – Общий вид экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог»

Перед началом каждого эксперимента устанавливали основные физико-механические свойства почвы. Относительная влажность почвы определялась влагомером почвы Soil moisture meter модель MC-7828SOIL на глубину обработки в диапазоне 5–15 см (рисунок 2, а).

Модернизированный твердомер Ю. Ю. Ревякина применяли для определения твердости и деформационного показателя (рисунок 2, б).

Данные по тяговой характеристике испытуемых агрегатов получали с помощью динамометра 9016 ДПУ-50-1-УХЛ2 ГОСТ 13837-68 (свидетельство о поверке № С-АЦМ/07-08-2023/267937875). Регистрировали видеоданные съёмной камерой S-60 Ultra HD 4K Aceline, которая заряжалась портативным зарядным устройством Base On User 22.5W №PPADM20S (рисунок 3, а). При движении испытуемого агрегата по стометровой делянке значения тягового сопротивления на шкале динамометра 9016 ДПУ-50-1-УХЛ2 фиксировали съёмной камерой S-60 Ultra HD 4K Aceline с интервалом

в 1 сек (рисунок 3, б).

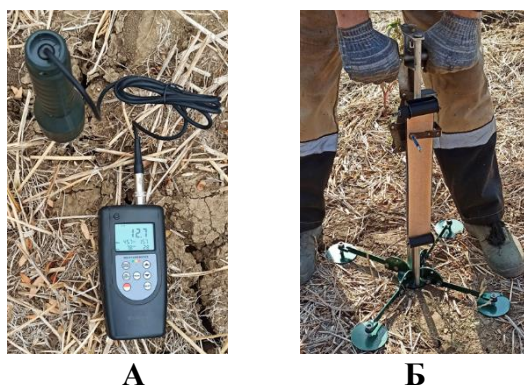


Рисунок 2 – Измерительное оборудование для исследования физико-механических свойств почвы

Примечание. А – почвенный влагомер Soil moisture meter модель MC-7828SOIL; Б – модернизированный твердомер Ю.Ю. Ревякина.



Рисунок 3 – Устройство для регистрации экспериментальных значений тягового сопротивления агрегата

Примечание. А – общий вид камеры S-60 Ultra HD 4K Aceline – 1, динамометра 9016 ДПУ-50-1-УХЛ2 – 2, портативного зарядного устройства Base On User 22.5W №PPADM20S – 3; Б – динамометр в полевых условиях.

В основе планирования испытаний заложен двухфакторный эксперимент типа $N = 2^2$, основной целью которого было определение значений коэффициентов уравнения регрессии. Основными факторами в полевом эксперименте являлись скорость движения агрегата и глубина обработки. Глубина хода плоскорезающих лап культиватора изменялась от 5 до 15 см, рабочих органов выравнивателя – от 4 до 10 см, при этом рабочая скорость регулировалась в диапазоне от 8 до 12 км/ч. Пред каждым проходом агрегата определялась делянка с длиной гона не менее 100 м. Время движения агрегата в составе с трактором МТЗ-923.3 контролировали электронным секундомером. В качестве аналога для сравнения использовали серийный культиватор комбинированный КПЭ-3,8В.

В соответствии с ГОСТ 33687–2015 определили показатели качества выполнения технологического процесса. Гребнистость обработанной поверхности почвы установили, измеряя высоту гребней. Гребни измеряли масштабированной рейкой и линейкой с четырехкратной повторностью. Все измерения выполняли от дна сформированной борозды между гребнями и до нижней грани масштабированной рейки (рисунок 4, а). Общая погрешность измерений не превышала ± 5 мм, при этом

общее количество измерений было не менее 40.

В соответствии с ГОСТ 33677–2015 «Машины и орудия для междурядной и рядной обработки почвы. Методы испытаний» проведён анализ степени крошения почвы по пробам, которые отбирали в четырех точках каждой делянки (две – по ходу движения испытываемого агрегата и две – в обратном движении агрегата) (рисунок 4, б).



Рисунок 4 – Процесс определения оценки показателей качества выполнения технологического процесса:

Примечание. А – определение гребнистости почвы; Б – определение степени крошения и глыбистости.

Глубину обработки почвы исследуемыми агрегатами определяли методом поперечного и продольного профилирования. При определении глубины поперечным профилированием на каждой делянке перед проходом агрегата были установлены по две опорные рейки. На рейки горизонтально накладывали масштабированные рейки, которые были расположены перпендикулярно к направлению движения агрегата (рисунок 5).



Рисунок 5 – Определение глубины обработки почвы методом поперечного и продольного профилирования

Масштабированные рейки должны быть горизонтально расположены. Измерение поверхности поля проводили до прохода агрегата, а затем после удаления взрыхленного слоя почвы определяли профилирование поверхности дна борозды. Общи интервал измерений был не менее 10 см с погрешностью не более ± 1 см.

Результаты и их обсуждение

Полевые исследования проведены в осенний период 2023 г. после уборки ярового ячменя по стерневому фону. Пред проведением экспериментов были определены почвенные показатели условий испытаний, такие, как влажность W (12,7–13,2 %); твердость p (230,89–505,2 Н/см²); деформационный показатель ν – $1,08 \times 10^{-7}$ – $1,27 \times 10^{-7}$ м²/Н.

В ходе выполнения полевых испытаний экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог» (рисунок 6) определены эмпирические значения тягового сопротивления P агрегата.



Рисунок 6 – Общий вид экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог»

Примечание. а – перед стерневой обработкой; б – в процессе стерневой обработки.

Полученные значения как для КСА-3,8М «Сварог», так и для КПЭ-3,8В [14–16] отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования тягового сопротивления экспериментального комбинированного стерневого агрегата КСА-3,8М «Сварог» и серийного культиватора комбинированного КПЭ-3,8В

Показатель скорости V , км/ч	КСА-3,8М «Сварог»		КПЭ-3,8В		Снижение тягового сопротивления, %
	Тяговое сопротивление культиватора P, H	Тяговое сопротивление выравнивающего рабочего органа P, H	Тяговое сопротивление культиватора P, H	Тяговое сопротивление выравнивающего рабочего органа P, H	
глубина экспериментального прохода для плоскорезующих лап культиватора $h_{л} - 5$ см, для выравнивающих рабочих органов $h_{в} - 4$ см					
8	10324,3	363,16	12531,2	392,22	17,61
10	10600,4	372,96	12858,9	402,81	17,56
12	11533,7	405,8	13981,0	438,3	17,48
глубина экспериментального прохода для плоскорезующих лап культиватора $h_{л} - 10$ см, для выравнивающих рабочих органов $h_{в} - 7$ см					
8	12138,25	432,73	14602,46	465,18	16,88
10	13207,7	470,81	15871,1	506,1	16,78
12	14071,9	502,8	16868,3	540,5	16,57
глубина экспериментального прохода для плоскорезующих лап культиватора $h_{л} - 15$ см, для выравнивающих рабочих органов $h_{в} - 10$ см					
8	17743,7	497,8	20860,8	523,7	14,94
10	18355,3	515,2	21558,4	542,0	14,85
12	20204,2	567,2	23686,3	596,7	14,7

Результаты обработки данных таблицы 1 с помощью программы Microsoft Excel представлены на графиках зависимостей тягового сопротивления от глубины рыхления и скорости движения комбинированных агрегатов (рисунки 7, 8).

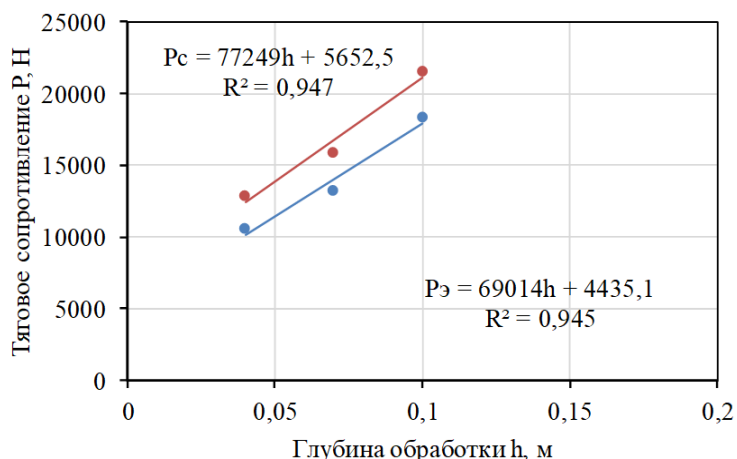


Рисунок 7 – График зависимости тягового сопротивления P от глубины обработки h при скорости движения $V = 10$ км/ч

Примечание: Здесь и далее: $P_э$ – экспериментальный комбинированный агрегат КСА-3,8М «Сварог»; P_c – серийный комбинированный агрегат КПЭ-3,8В

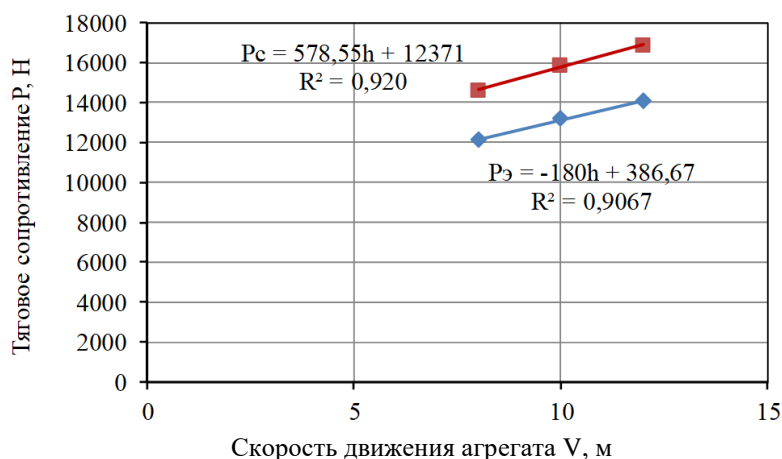


Рисунок 8 – График зависимости тягового сопротивления P от скорости движения V при глубине обработки выравнивающих рабочих органов $h = 7$ см

Как показал анализ данных, представленных в таблице 1 и на графиках эмпирических зависимостей на рисунках 7 и 8, исследуемый в процессе полевых экспериментов комбинированный агрегат КСА-3,8М «Сварог» создает меньшее тяговое сопротивление при комбинированной стерневой обработке почвенного пласта в среднем на 14,7–17,61 %.

Уравнения регрессии в кодированных переменных, которые были определены по результатам полевых экспериментов, имеют вид:

– для экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог»:

$$Y_э = 14964,42 + 4041,633X_1 + 929,65X_2 + 326,0667X_1X_2; \quad (1)$$

– для серийного комбинированного агрегата КПЭ-3,8В:

$$Y_c = 17726,78 + 4531,508X_1 + 1021,758X_2 + 361,5583X_1X_2. \quad (2)$$

Для критерия Стьюдента оценка значимости коэффициентов регрессии, полученных эмпирическим путем, показала, что для уравнения (1) являются

значимыми коэффициенты, удовлетворяющие условию $b_i \geq 342,6225$, а для уравнения регрессии (2) соответственно $b_i \geq 390,5195$.

Для критерия Кохрена проверка рассчитанных математических моделей (1) и (2), с условием, что расчетное значение G_p должно быть ниже его табличного $G_T=0,76$, показало воспроизводимость полученных результатов, так как в расчетах для уравнения (1) G_p составило 0,35, а для уравнения (2) G_p соответственно 0,39.

По критерию Фишера проведенная проверка математических моделей (1) и (2) подтвердила их адекватность, так как расчётные значения F_p , которые составили, соответственно, 6,99 и 6,62, были меньше табличного значения $F_T = 7,71$.

При оценке значимости коэффициентов уравнения регрессии в натуральных значениях переменных представлены в следующем виде:

– для экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог»:

$$P_Э = 2232,91 + 808,33h + 464,83v; \quad (3)$$

– для серийного комбинированного агрегата КПЭ-3,8В:

$$P_С = 3554,97 + 906,30h + 510,88v. \quad (4)$$

В процессе работы исследуемых агрегатов по стерневому фону с учетом данных табличных значений графических зависимостей, а также уравнений регрессии определено, что комбинированный агрегат КСА-3,8М «Сварог» обеспечивает более плавное возрастание тягового сопротивления с вариацией от 10324,3 до 20204,2 Н, при этом комбинированный агрегат КПЭ-3,8В показывает значительное его увеличение в диапазоне от 12531,2 до 23686,3 Н. Такой процесс объясняется схемой расположения рабочих элементов финишной системы агрегатов. У КСА-3,8М «Сварог» расстояние между упругими полосовидными загортачами (6) и задней батареей планчатых катков (7) обеспечивает отсутствие набрасывания обработанной почвы друг на друга, что оптимизирует процесс комбинированной обработки взрыхленного почвенного пласта после плоскорезной обработки. При этом сами полосовидные загортачи (6) расположены не сплошным рядом вдоль несущей балки, а только в тех зонах, где необходимо срезать гребни и засыпать борозды, предварительно частично разрушив сформированные глыбы после прохода плоскорезующих рабочих органов [17]. Планчатый каток уже формирует более выровненный мелкокомковатый пласт почвы под посев. Наибольшую разницу в тяговом сопротивлении (17,61 %) испытываемые агрегаты имеют при скорости движения 8 км/ч и глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» на 16,15 % меньше, чем у серийного комбинированного агрегата КПЭ-3,8В.

Для оценки качества работы исследуемых агрегатов определены зависимости степени крошения почвы и ее глыбистости. На рисунках 9 и 10 показаны зависимости гистограмм качества обработки почвы финишными системами комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» и комбинированного агрегата КПЭ-3,8В. Установлено, что комбинированный агрегат КСА-3,8М «Сварог» обеспечивает более высокое качество обработки стерневого фона почвы в сравнении с его аналогом КПЭ-3,8В благодаря увеличению степени крошения (рисунок 9).

Анализ гистограммы эмпирической зависимости глыбистости почвы (рисунок 10) показал её значительное уменьшение в 1,5–1,6 раза у комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» в сравнении с КПЭ-3,8В при одинаковых условиях полевых испытаний на стерневом агрофоне.

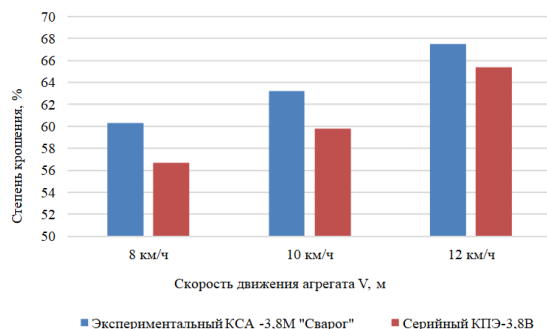


Рисунок 9 – Гистограмма зависимости степени крошения почвы после прохождения комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» и комбинированного агрегата КПЭ-3,8В от скорости их движения V

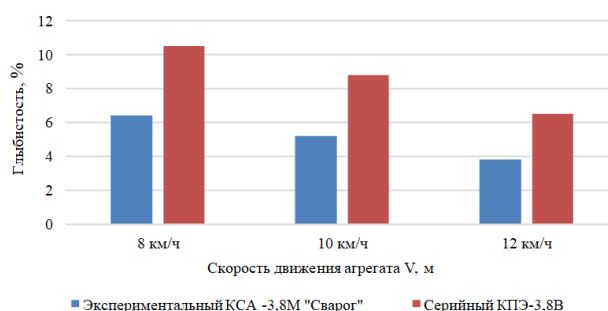


Рисунок 10 – Гистограмма зависимости глыбистости почвы после прохождения комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» и комбинированного агрегата КПЭ-3,8В от скорости их движения V

При сравнении качественных показателей обработки почвы серийным комбинированным агрегатом КПЭ-3,8В и экспериментальным комбинированным агрегатом КСА-3,8М «Сварог» установлено, что КСА-3,8М «Сварог» обеспечивает повышение степени крошения почвы на 5,6–6,2 % и снижение глыбистости в 1,25–1,36 раза.

Выводы

При поверхностной обработке почвы после уборки ярового ячменя по стерневому фону с диапазоном изменения варьируемых факторов по глубине плоскорезущих лап культиватора (которая изменялась от 5 до 15 см) и рабочих органов выравнивателя (от 4 до 10 см), при значениях влажности – 12,7–13,2 %, твердости – 230,89–505,2 Н/см², деформационного показателя почвы $\nu = 1,08 \times 10^{-7} - 1,27 \times 10^{-7}$ м²/Н получены зависимости эмпирических уравнений регрессии тягового сопротивления от глубины обработки и скорости экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог», а также его серийного аналога КПЭ-3,8В. С увеличением глубины и скорости обработки почвы тяговое сопротивление экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» возрастает менее интенсивно в сравнении с серийным комбинированным агрегатом КПЭ-3,8В, что объясняется схемой расположения рабочих элементов финишной системы агрегатов. У КСА-3,8М «Сварог» расстояние между упругими полосовидными загортачами и задней батареей планчатых катков обеспечивает отсутствие набрасывания обработанной почвы друг на друга, что оптимизирует процесс комбинированной обработки взрыхленного почвенного пласта после плоскорезной обработки. Планчатый каток уже формирует более выровненный мелкокомковатый

пласт почвы под посев. Наибольшую разницу в тяговом сопротивлении (17,61%) испытываемые агрегаты имеют при скорости движения 8 км/ч и глубине обработки почвы 5 см. В среднем тяговое сопротивление экспериментального комбинированного агрегата КСА-3,8М «Сварог» на 16,15 % меньше, чем у серийного комбинированного агрегата КПЭ-3,8В.

При сравнении качественных показателей обработки почвы серийным комбинированным агрегатом КПЭ-3,8В и экспериментальным комбинированным агрегатом КСА-3,8М «Сварог» видно, что КСА-3,8М «Сварог» обеспечивает повышение степени крошения почвы на 5,6–6,2 % и снижение глыбистости в 1,25–1,36 раза.

Литература

1. Яковлев Н. С. Исследование процесса выравнивания поля после посева почвообрабатывающими посевными машинами «Обь-43Т» // Вестник КрасГАУ. 2011. № 7. С. 151–157.
2. Guo Z., Zhou Z., Ren L. 2D finite element analysis for the cutting performance of bionic curved cutting tools // Chinese J. Mech. Eng. 2003. No. 9. P. 106–109. DOI:10.3901/JME.2003.09.106.
3. Соболевский И. В., Куклин В. А. Исследование процесса работы экспериментального стернового культиватора для поверхностной обработки почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4 (32). С. 213–221.
4. Naresh R. K., Rathore R. S., Yadav R. B., Singh S. P., Misra A. K., Kumar V., Kumar N., Gupta R. K. Effect of precision land levelling and permanent raised bed planting on soil properties, input use efficiency, productivity and profitability under maize (*Zea mays*) – wheat (*Triticum aestivum*) cropping system // African Journal of Agricultural Research. 2014. Vol. 9 (36). P. 2781–2789. DOI:10.5897/AJAR2013.7290.
5. Francisco P. F. 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.
6. 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.
7. Bravo E.L., Tijssens E., Suárez M.H., Gonzalez Cueto O., Ramon H. Prediction model for non-inversion soil tillage implemented on discrete element method // Computers and Electronics in Agriculture. 2014. Vol. 106. P. 120–127. DOI:10.1016/j.compag.2014.05.007.
8. Hoseinian S.H., Hemmat A., Esehaghbeygi A., Shahgoli G., Baghbanan A. Development of a dual sideways-share subsurface tillage implement: Part 1. Modeling tool interaction with soil using DEM // Soil & Tillage Research. 2022. Vol. 215 Art. No. 105201. DOI: 10.1016/j.still.2021.105201.
9. 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 // Comput. Electron. Agric. 2021. 187. Art. No. 106236. DOI:10.1016/j.compag.2021.106236.
10. Wang X., Zhou H., Wang S., Zhou H., Ji J. Methods for reducing the tillage force of subsoiling tools: a review // Soil & Tillage Research. 2023. Vol. 229. Art. No. 105676. DOI:10.1016/j.still.2023.105676.
11. Сравнительный анализ технического уровня культиваторов по результатам испытаний на машиноиспытательных станциях. Солнечногорск: ФГБУ «ГИЦ», 2014. 144 с.
12. Патент № 218321 «Комбинированный культиватор» // Авторы: Соболевский И. В., Калафатов И. И., Куклин В. А. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Бюл. № 15. 8 с.
13. Патент № 218025 «Рабочий орган культиватора для сплошной обработки почвы» // Авторы: Соболевский И. В., Калафатов И. И., Куклин В. А., Зубоченко Д. В., Соболевский В. И. Патентообладатель: ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Бюл. № 13. 9 с.
14. Протокол испытаний № 12-14-2005 (1020132) культиватора комбинированного КПЭ-3,8В. С. Сосновское: ФГУ «Сибирская государственная зональная машиноиспытательная станция», 2005. 5 с.
15. Припоров Е. В., Припоров И. Е., Самурганов Г. Е. Сравнительный анализ культиваторов для предпосевной обработки почвы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 1. С. 77–81.
16. Рыжков А. В. Мачкарин А. В. Стерновой культиватор с подпружиненной стойкой // Материалы XXVI Международной научно-производственной конференции «Вызовы и инновационные решения в аграрной науке». Белгород: ФГБОУ ВО «Белгородский ГАУ», 2022. С. 241–242.
17. Guoyang L., Junfang X., Kan Z., Jian C., Kaixuan W., Rong Z., Hongchang W., Zhengyuan L. Effects of vibration parameters on the interfacial adhesion system between soil and metal surface // Soil & Tillage Research. 2022. Vol. 218. Art. No. 105294. DOI:10.1016/j.still.2021.105294.

References

1. Yakovlev N. S. Research of the process of field leveling after seeding by the cultivating sowing machines “Ob-4ZT” // Bulletin of KSAU. 2011. No. 7. P. 151–157.
2. Guo Z., Zhou Z., Ren L. 2D finite element analysis for the cutting performance of bionic curved cutting tools // Chinese J. Mech. Eng. 2003. No. 9. P. 106–109. DOI:10.3901/JME.2003.09.106.
3. Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Research of the operation process of the experimental stubble cultivator for surface tillage // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 4 (32). P. 213–221.
4. Naresh R. K., Rathore R. S., Yadav R. B., Singh S. P., Misra A. K., Kumar V., Kumar N., Gupta R. K. Effect of precision land levelling and permanent raised bed planting on soil properties, input use efficiency, productivity and profitability under maize (*Zea mays*) – wheat (*Triticum aestivum*) cropping system // African Journal of Agricultural Research. 2014. Vol. 9 (36). P. 2781–2789. DOI: 10.5897/AJAR2013.7290.
5. 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.
6. 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.
7. Bravo E.L., Tijssens E., Suárez M.H., Gonzalez Cueto O., Ramon H. Prediction model for non-inversion soil tillage implemented on discrete element method // Computers and Electronics in Agriculture. 2014. Vol. 106. P. 120–127. DOI:10.1016/j.compag.2014.05.007.
8. Hoseinian S.H., Hemmat A., Esehaghbeygi A., Shahgoli G., Baghbanan A. Development of a dual sideway-share subsurface tillage implement: Part 1. Modeling tool interaction with soil using DEM // Soil & Tillage Research. 2022. Vol. 215 Art. No. 105201. DOI: 10.1016/j.still.2021.105201.
9. 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 // Comput. Electron. Agric. 2021. 187. Art. No. 106236. DOI:10.1016/j.compag.2021.106236.
10. Wang X., Zhou H., Wang S., Zhou H., Ji J. Methods for reducing the tillage force of subsoiling tools: a review // Soil & Tillage Research. 2023. Vol. 229. Art. No. 105676. DOI:10.1016/j.still.2023.105676.
11. Comparative analysis of the technical level of cultivators based on test results at machine testing stations. Solnechnogorsk: FSBI “State Testing Centre”, 2014. 144 p.
12. Patent No. 218321 “Combined cultivator” // Authors: Sobolevsky I. V., Kalafatov I. I., Kuklin V. A. Patent holder: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. Bull. No. 15. 8 p.
13. Patent No. 218025 “The working body of a cultivator for continuous tillage of the soil” // Authors: Sobolevsky I. V., Kalafatov I. I., Kuklin V. A., Zubochenko D. V., Sobolevsky V. I. Patent holder: FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. Bull. No. 13. 9 p.
14. Test report No. 12-14-2005 (1020132) of the combined cultivator KPE-3.8V. Vill. Sosnovskoe: FSI “Siberian State Zonal Machine Testing Station”, 2005. 5 p.
15. Priporov E.V., Priporov I.E., Samurganov G.E. Comparative analysis of cultivators for preseeding soil treatment // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2020. No. 1. P. 77–81.
16. Ryzhkov A.V. Machkarin A.V. Stubble cultivator with a spring-loaded stand // Materials of the XXVI International Scientific and Production Conference “Challenges and innovative solutions in agricultural science”. Belgorod: Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin, 2022. P. 241–242.
17. Liu G., Xia J., Zheng K., Cheng J., Wang K., Zeng R., Wang H., Liu Z. Effects of vibration parameters on the interfacial adhesion system between soil and metal surface // Soil & Tillage Research. 2022. Vol. 218. Art. No. 105294. DOI:10.1016/j.still.2021.105294.

UDC 631.31

Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Ismailov Y.N.

RESEARCH OF THE OPERATION PROCESS OF AN EXPERIMENTAL COMBINED STUBBLE UNIT WITH MODERNIZED WORKING BODIES OF THE LEVELER

Summary. Analysis of the modern development of the working bodies of combined stubble units for surface tillage shows that the best design elements of the working bodies of the finishing system are elastic leveling elements – spring harrows, elastic strip-shaped harrows, as well as compacting elements – rotary slat or tubular rollers. In this regard, to increase quality of finishing soil cultivation after the flat-cutting workers of a combined stubble unit, it is necessary to develop and test new working elements of a leveler that ensures

a leveled field surface and a fine-clump structure of soil aggregates that meet all agricultural requirements. The purpose of the research was to determine the quality and energy performance indicators of the finishing system with modernized working bodies of the leveler of the experimental combined stubble unit KSA-3.8M “Svarog” for surface tillage in comparison with the serial combined cultivator KPE-3.8V under conditions of the Crimean region. The research was carried out in 2023 at the Field Crops Department – structural unit of the Research Institute of Agriculture of Crimea. Test conditions: soil moisture – 12.7-13.2 %; soil hardness – 230.89-505.2 N/cm²; deformation index ν – 1.08×10^{-7} - 1.27×10^{-7} m²/N. When surface tillage of spring barley stubble (variation in depth of the cultivator’s flat-cutting tines – from 5 to 15 cm, leveler’s working bodies – from 4 to 10 cm) was done, dependences in the form of empirical regression equations of traction resistance on the depth of tillage and speed of the experimental combined unit KSA-3.8M “Svarog” and its serial analogue KPE-3.8V were obtained. On average, the traction resistance of KSA-3.8M “Svarog” was 16.15 % less than that of the serial combined unit KPE-3.8V. In addition, KSA-3.8M “Svarog” ensured an increase in the degree of soil crumbling by 5.6–6.2% and a reduction in lumpiness by 1.25–1.36 times.

Keywords: *stubble tillage, combined unit, finishing system, traction resistance, degree of crumbling, lumpiness.*

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

Исмаилов Якуб Ниязиевич, младший научный сотрудник лаборатории основ сельскохозяйственной инженерии 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: yakub.ismailov.95@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; researcher 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: kuklin-va@mail.ru.

Ismailov Yakub Niyazievich, junior researcher at the Laboratory of fundamentals of agricultural engineering, 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: yakub.ismailov.95@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 10.08.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023.