

EDN LBBLEN

DOI 10.5281/zenodo.8272005

УДК 631.319

Соболевский И. В.<sup>1</sup>, Куклин В. А.<sup>1,2</sup>, Калафатов И. И.<sup>1</sup>

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РАСПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ АГРЕГАТА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМБИНИРОВАННОГО

<sup>1</sup>ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»

**Реферат.** В условиях развития индустриализации земледелия Республики Крым интенсивная механизация обработки почвы во многом оказала отрицательное действие на её плодородие. Частое применение энергонасыщенных тракторов с орудиями, уплотняющими пахотный и предпахотный почвенные слои привели к их деструктуризации. Постоянная вспашка с оборотом пласта, интенсивное рыхление привели к активизации биологических процессов и усиленной минерализации органического вещества. Данный негативный процесс привел к значительным потерям азота, который не использовали растения, снижению гумуса в почве, а также к интенсивному процессу развития ветровой эрозии. Использование агрегата АПК-3,8М для сплошной, предпосевной и паровой обработки почвы с одновременным боронованием и прикатыванием на каменистых типах почв в зонах рискованного земледелия дает возможность снизить эрозионные процессы. Цель исследований – теоретически обосновать основные параметры и схему расположения рабочих органов предлагаемого почвообрабатывающего агрегата, который включает в себя два ряда стрельчатых лап, две секции кольцевой бороны и прутковый каток. Исследования проводили в 2023 г. на базе ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». При обосновании основных параметров и схемы расположения рабочих органов агрегата почвообрабатывающего комбинированного использовали положения о механическом подобии земледельческой механики, основные положения теоретической механики и механики сплошной среды. С учетом глубины обработки  $h$  и основных физико-механических свойств почвы обосновано расстояние между рядами культиваторных лап, угол атаки секций кольцевых борон  $\alpha_k$ , количество кольцевых рыхлителей  $n_{к.р.}$  и высота установки пруткового катка  $\Delta h_k$ , обеспечивающие качественное выполнение технологического процесса при соблюдении агротехнических требований с достижением средней плотности обработанного слоя почвы  $\rho_{опт} = 1,1 \text{ г/см}^3$ . Получена теоретическая зависимость необходимого количества кольцевых рыхлителей бороны от установленного угла атаки  $\alpha_k$ , которое находится в диапазоне от 16 до 18.

**Ключевые слова:** плодородие почвы, комбинированный агрегат, расстановка рабочих органов, кольцевой рыхлитель, прутковый каток, качество обработки, плотность почвы.

**Для цитирования:** Соболевский И. В., Куклин В. А., Калафатов И. И. Обоснование конструктивных параметров и расположения рабочих органов агрегата почвообрабатывающего комбинированного // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 102–109. EDN: LBBLEN. DOI 10.5281/zenodo.8272005.

**For citation:** Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Kalafatov I. I. Justification of design parameters and location of the working bodies of the combined tillage unit // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 102–109. EDN: LBBLEN. DOI 10.5281/zenodo.8272005.

### Введение

В условиях индустриализации земледелия Республики Крым интенсивная механизация обработки почвы во многом оказала отрицательное действие на её плодородие. Частое применение энергонасыщенных тракторов с орудиями, уплотняющими пахотный и предпахотный почвенные слои, привели к их деструктуризации. Постоянная вспашка с оборотом пласта, интенсивное рыхление привели к активизации биологических процессов и усиленной минерализации органического вещества. Данный негативный процесс привел к значительным потерям азота, который не использовали растения, снижению гумуса в почве, а также к интенсивному процессу развития ветровой эрозии [1, 2].

Paue W. S. с соавторами исследовали технологии обработки почвы, сводящие к минимуму частоту и интенсивность нарушения её структуры. Основная цель исследований – обоснование процесса увеличения связывания углерода (C) и азота (N), а также повышение устойчивости систем земледелия в засушливых районах, влияние случайных нарушений на образование почвенных агрегатов с содержанием органического углерода в почве (SOC). Как показали результаты исследований, частота и интенсивность технологий основной обработки почвы значительно ухудшают устойчивость и секвестрацию C и N, а также потенциал почв засушливых земель. Paue W. S., Thapa V. R., Ghimire R. рекомендуют выполнение технологий минимальной обработки почвы, что позволит значительно снизить негативное воздействие на почвенные экосистемы [3, 4].

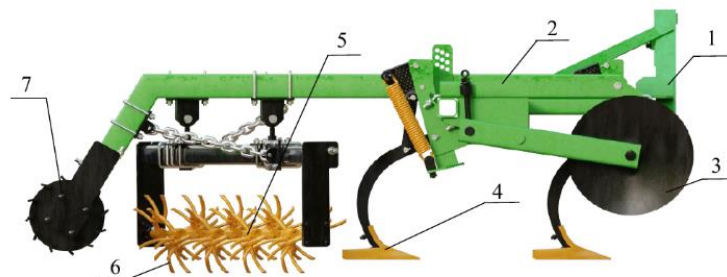
Исследователь Умберто Бланко-Канки утверждает, что периодическая обработка почвы (минимальная в отличие от нулевой) также обеспечивает эффективную практику борьбы с эрозией почвы, экономит воду и снижает денежные и энергетические затраты. При этом данная технология в отличие от нулевой позволяет бороться с сорной растительностью, стратификацией почвенного органического углерода (SOC) и питательных веществ, а также минимизирует риски уплотнения обрабатываемого почвенного пласта [5].

Как показывает анализ существующих технических средств, используемых для технологий почвозащитной системы минимальной обработки почвы и их рабочих органов, основное применение нашли рабочие органы, имеющие общий характер сохранения стернового фона и мульчи. К ним относятся стрельчатые лапы культиватора с малым углом наклона к горизонту, формирующие плоскорезную обработку почвы. Затем идут ротационные рабочие органы, выполняющие прерывистое бороздование либо лункование – гибкие ротационные бороны. При этом, финишный шлейф обязательно должен быть дооборудован системой катков, формирующих мелкокомковатую уплотнённую структуру почвы. Однако такой тип комбинированных рабочих органов недостаточно полно изучен и требует дополнительных исследований [6, 7].

В работах отечественных ученых (Дёмшин С.Л. и Черемисинов Д.А.) при исследовании комбинированного почвообрабатывающего агрегата и оценке эффективности его использования показано, что он обеспечивает высокое качество безотвальной обработки почвы и создает на поверхности мульчирующий слой. Однако, данный агрегат адаптирован к условиям почв европейской части Северо-Востока России [8].

Почвенные условия Крымского региона имеют свои отличительные особенности. Почвы региона представлены южным мицелярно-карбонатным черноземом, где почвообразующими породами являются желто-бурые лессовидные и краснобурые плиоценовые глины, и черноземом обыкновенным мицелярно-карбонатным предгорным, где почвообразующими породами являются красно-

бурые, палевожелтые и желто-бурые хрящево-щебенчатые, а также галечные суглинки и глины. С учетом особенностей почв Крыма была разработана конструкция агрегата почвообрабатывающего комбинированного АПК-3,8М с применением технологий почвозащитной системы минимальной обработки почвы (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Общий вид агрегата почвообрабатывающего комбинированного АПК-3,8М**

*Примечание.* 1 – навеска; 2 – рама; 3 – опорное колесо; 4 – культиваторные лапы; 5 – кольцевая борона; 6 – рыхлительные зубья; 7 – прутковый каток.

Использование данного агрегата для сплошной, предпосевной и паровой обработки почвы с одновременным боронованием и прикатыванием на каменистых типах почв в зонах рискованного земледелия дает возможность снизить эрозионные процессы. Однако, схема расположения шлейфа рабочих органов, взаимодействующих в определенной последовательности для обеспечения качества обработки почвы, до сих пор не получила теоретическое обоснование. Поэтому изучение рационального расположения рабочих органов в соответствии с технологическими операциями обработки почвы требует дальнейших исследований.

**Цель исследований** – теоретически обосновать основные параметры и схему расположения рабочих органов агрегата почвообрабатывающего комбинированного.

#### **Материалы и методы исследований**

Исследования проводили в 2023 г. на базе ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». При обосновании основных параметров и схемы расположения рабочих органов агрегата почвообрабатывающего комбинированного использовались положения о механическом подобии земледельческой механики, основные положения теоретической механики и механики сплошной среды [7].

#### **Результаты и их обсуждение**

Разработанная на базе культиватора рыхлителя горного конструкция агрегата почвообрабатывающего комбинированного АПК-3,8М (см. рисунок 1) включает в себя два ряда стрельчатых лап, две секции кольцевой бороны (патент РФ № 214121) и прутковый каток.

Культиваторные лапы производят рыхление почвы на глубину до 16 см и обеспечивают подрезание корневой системы сорной растительности. Кольцевая борона, воздействуя на почву рыхлительными зубьями и рабочей частью колец на глубину до 6 см, осуществляет дробление крупных глыб и частично разравнивает поверхность поля. Идущий следом прутковый каток раздавливает мелкие глыбы, выравнивает и уплотняет обрабатываемую поверхность (рисунок 2).

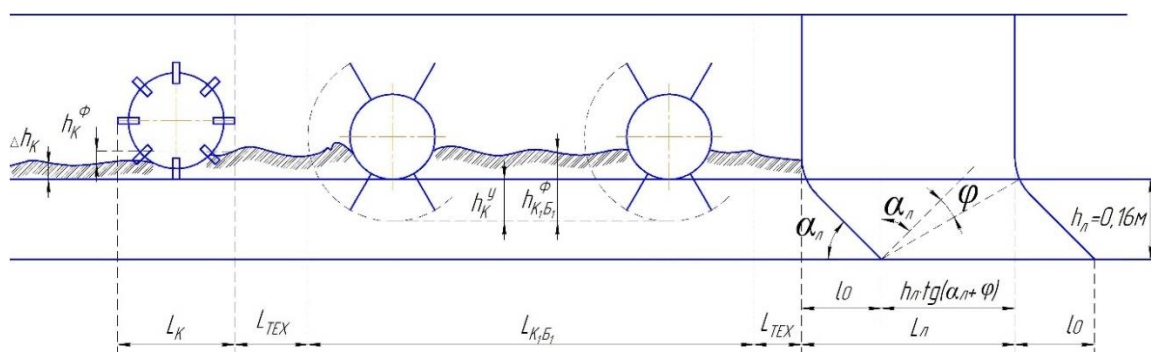


Рисунок 2 – Схема расположения рабочих органов на раме агрегата

Расстояние между первым и вторым рядом культиваторных лап  $L_{\text{л}}$  должно удовлетворять следующему условию [9]:

$$L_{\text{л}} = l_0 + h_{\text{л}} \cdot \text{tg}(\varphi + \alpha_{\text{л}}), \quad (1)$$

где  $l_0$  – расстояние от оси стойки до носка лапы;

$h_{\text{л}}$  – глубина хода лапы;

$\varphi$  – угол трения почвы о сталь;

$\alpha_{\text{л}}$  – угол наклона груди лапы.

При глубине обработки  $h_{\text{л,max}} = 0,16$  м расчётное значение  $L_{\text{л}}$  не превысит 0,35 м.

В соответствии со схемой на рисунке 3 расстояние между центрами соседних кольцевых рыхлителей составит:

$$l_{\text{ц.к.}} = 2(x_3 + l_3 \cos \alpha_3) + \Delta_{\text{тех}}, \quad (2)$$

где  $x_3$  – горизонтальное смещение основания зуба относительно центра кольца;

$l_3$  – длина проекции зуба на плоскость кольца,  $l_3 = 0,126$  мм;

$\alpha_3$  – угол установки зубьев,  $\alpha_3 = 60^\circ$ ;

$\Delta_{\text{тех}}$  – технологический зазор,  $\Delta_{\text{тех}} = 0,015$  м.

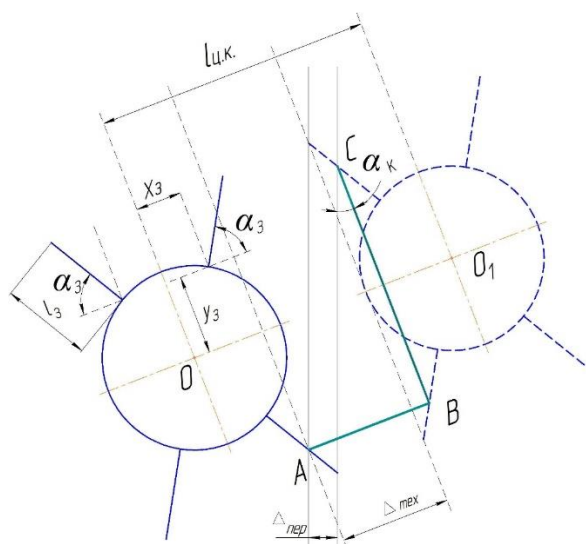


Рисунок 3 – Схема расположения кольцевых рыхлителей в ряду

С целью активизации рыхления и разравнивания почвы батареи кольцевых рыхлителей должны быть расположены под углом атаки  $\alpha_{\text{к}}$ , который определяется из условия обеспечения зоны перекрытия рыхлительных зубьев соседних кольцевых рыхлителей:

$$tg\alpha_k = \frac{AB}{BC} = \frac{l_{ц.к.} - 2x_3 - (2l_3 - \Delta'_{пер})\cos\alpha_3}{2y_3 + 2(l_3 - \Delta'_{пер})\sin\alpha_3}, \quad (3)$$

где  $y_3$  – вертикальное смещение основания зуба относительно центра кольца;

$\Delta'_{пер}$  – величина перекрытия зубьев,  $\Delta'_{пер} = 0,01$  м.

Как показали полевые испытания, наибольшая эффективность обеспечивается при  $\alpha_k = 10\text{--}22^\circ$ , что согласуется с результатами расчетов по формуле (3).

С целью снижения металлоемкости почвообрабатывающего агрегата выбрана схема расположения секций кольцевых рыхлителей в один ряд на двух параллельно расположенных брусах рамы.

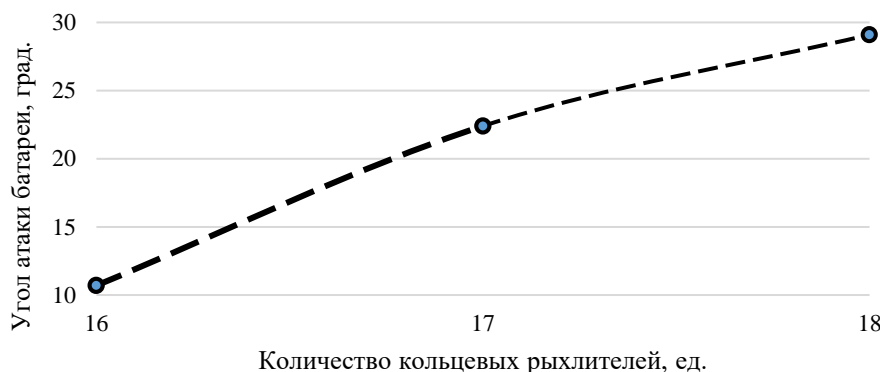
Необходимое количество кольцевых рыхлителей определим по формуле:

$$n_{к.р.} = \frac{B_p}{[2(x_3 + l_3 \cos\alpha_3) + \Delta_{тех}] \cos\alpha_{к.маx.}}. \quad (4)$$

где  $\cos\alpha_{к.маx.}$  – максимальное значение угла атаки,  $\cos\alpha_{к.маx.} = 22^\circ$ ;

$B_p$  – рабочая ширина захвата агрегата.

Графическая интерпретация уравнения (4) представлена на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Зависимость угла атаки батареи от количества кольцевых рыхлителей**

Полученное значение  $n_{к.р.}$  округляем до ближайшего большего значения и по нижеприведенной формуле рассчитываем уточненное значение угла атаки:

$$\cos\alpha_k = \arccos\left(\frac{B_p}{[2(x_3 + l_3 \cos\alpha_3) + \Delta_{тех}] \cdot n_{к.р.}}\right). \quad (5)$$

Длина одной секции равна:

$$L_{секц.к.б.} = \frac{1}{2} \cdot \frac{B_p}{\cos\alpha_k}. \quad (6)$$

Длина продольной проекции кольцевой бороны с учетом двухрядного расположения на раме равна:

$$L_{к.б.} = \frac{1}{2} \cdot B_p \cdot tg\alpha_k \quad (7)$$

Комбинированный агрегат комплектуется хорошо зарекомендовавшим себя серийно выпускаемым прутковым катком диаметром 350 мм.

В соответствии со схемой, изображенной на рисунке 2, и с учетом формул (1), (7) длина рамы комбинированного орудия определится по следующей зависимости:

$$L_{рамы} = 2 \cdot l_0 + h_{л.} \cdot tg(\varphi + \alpha_{л.}) + \frac{1}{2} \cdot B_p \cdot tg\alpha_k + d_{кат} + 2 \cdot L_{тех}, \quad (8)$$

где  $d_{кат}$  – диаметр катка;

$L_{\text{тех}}$  – технологический зазор,  $L_{\text{тех}} = 0,1$  м.

Среднее значение плотности почвы в процессе обработки изменяется в широком диапазоне: от 1,4–1,6 г/см<sup>3</sup> в необработанной зоне, до 0,95–1,05 г/см<sup>3</sup> – после двукратного воздействия культиваторных лап и значительного «вспушивания» почвы. После разравнивающего и уплотняющего воздействия последовательно расположенных секций кольцевой бороны и пруткового катка необходимо обеспечить значение этого показателя на оптимальном уровне 1,1–1,15 г/см<sup>3</sup>.

Так как масса почвы в обрабатываемом слое неизменна –  $m_{\text{п}} = \rho \cdot V = \text{const}$ , то отношение плотностей почвы до и после обработки будет обратно пропорционально отношению их объемов:

$$\frac{\rho_0}{\rho_{\text{опт}}} = \frac{V_{\text{кон}}}{V_0}, \quad (9)$$

где  $\rho_0$  – начальная плотность почвы в необработанном слое;

$\rho_{\text{опт}}$  – конечная плотность почвы после прохода комбинированного агрегата;

$V_0$  – начальный объем пласта почвы в зоне обработки;

$V_{\text{кон}}$  – конечный объем обработанного пласта почвы.

С учетом формул для начального и конечного объемов пласта почвы:

$$V_0 = B_p \cdot h_l \cdot L, \quad (10)$$

$$V_{\text{кон}} = B_p \cdot (h_l + \Delta h_k) \cdot L, \quad (11)$$

где  $L$  – длина обработанного пласта почвы;

$\Delta h_k$  – высота расположения катка относительно начального уровня почвы до обработки.

Представим формулу (8) в следующем виде:

$$\Delta h_k = \left( \frac{\rho_0}{\rho_{\text{опт}}} - 1 \right) h_l. \quad (12)$$

При значениях плотностей  $\rho_0 = 1,4$  г/см<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{опт}} = 1,1$  г/см<sup>3</sup> и заданной глубине обработки  $h_l = 0,16$  м величина высоты установки катка  $\Delta h_k$  составит 0,04 м.

### Выводы

Предложена рациональная схема расстановки рабочих органов комбинированного агрегата: стрельчатых лап, секций кольцевых борон и пруткового катка. С учетом глубины обработки  $h$  и основных физико-механических свойств почвы обосновано расстояние между рядами культиваторных лап, угол атаки секций кольцевых борон  $\alpha_k$ , количество кольцевых рыхлителей  $n_{\text{к.р}}$  и высота установки пруткового катка  $\Delta h_k$ , обеспечивающие качественное выполнение технологического процесса при соблюдении агротехнических требований с достижением средней плотности обработанного слоя почвы  $\rho_{\text{опт}} = 1,1$  г/см<sup>3</sup>. Получена теоретическая зависимость необходимого количества кольцевых рыхлителей бороны от установленного угла атаки  $\alpha_k$ , которое находится в диапазоне от 16 до 18.

*Отчетное исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Министерства образования, науки и молодежи Республики Крым в рамках научного проекта РНФ № 23-29-10012 «Разработка почвозащитной системы минимальной обработки почвы южных регионов Российской Федерации».*

### Литература

1. Алексеев В. В. Динамика уплотненного состояния почв при минимальной обработке // Вестник Российского университета кооперации. 2013. № 1 (11). С. 118–122.
2. 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.
3. Paye W. S., Thapa V. R., Ghimire R. Limited impacts of occasional tillage on dry aggregate size distribution and soil carbon and nitrogen fractions in semi-arid drylands // International Soil and Water Conservation Research Available. 2023. DOI: 10.1016/j.iswcr.2023.04.005.

4. Blanco-Canqui H., Wortmann C. S. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review // Soil and Tillage Research. 2020. Vol. 198. Art. No. 104534. DOI: 10.1016/j.still.2019.104534.
5. Дёмшин С. Л., Нуризянов Р. Р. Повышение эффективности комбинированного орудия для основной обработки почвы // Труды VI Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» Ч.2. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. С. 108–113.
6. Соболевский И. В., Куклин В. А. Исследование процесса работы экспериментального стерневого культиватора для поверхностной обработки почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4 (32). С. 213–221.
7. Sobolevsky I. V., Pashtetskiy V. S., Kalafatov I. I. Substantiation of the parameters of the working bodies of undulating disks of soil-cultivating harrows with a bionic approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “International Conference on Agricultural Science and Engineering, ASAE 2021”. 2021. Vol. 845. Art. No. 012140. DOI: 10.1088/1755-1315/845/1/012140.
8. Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н. Разработка комбинированного почвообрабатывающего агрегата и оценка эффективности его использования // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 4 (41). С. 57–61.
9. Василенко П. М., Бабий П. Т. Культиваторы (конструкция, теория и расчет). Киев: УАСХН, 1961. 239 с.

### References

1. Alekseev V. V. Seal dynamics of soil with minimum processing // Vestnik of the Russian University of Cooperation. 2013. No. 1 (11). P. 118–122.
2. 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.
3. Paye W. S., Thapa V. R., Ghimire R. Limited impacts of occasional tillage on dry aggregate size distribution and soil carbon and nitrogen fractions in semi-arid drylands // International Soil and Water Conservation Research. 2023. DOI: 10.1016/j.iswcr.2023.04.005.
4. Blanco-Canqui H., Wortmann C. S. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review // Soil and Tillage Research. 2020. Vol. 198. Art. No. 104534. DOI: 10.1016/j.still.2019.104534.
5. Demshin S. L., Nurizyanov R. R. Improving the efficiency of a combined tool for basic tillage // Proceedings of the VI International Scientific and Technical Conference “Energy supply and energy saving in agriculture”. Part 2. Moscow: All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture (VIESH), 2008. P. 108–113.
6. 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. 212–220.
7. Sobolevsky I. V., Pashtetskiy V. S., Kalafatov I. I. Substantiation of the parameters of the working bodies of undulating disks of soil-cultivating harrows with a bionic approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “International Conference on Agricultural Science and Engineering, ASAE 2021”. 2021. Vol. 845. Art. No. 012140. DOI: 10.1088/1755-1315/845/1/012140.
8. Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N. Working out of the combined soil-cultivating unit and estimation of efficiency of its use // Agricultural Science Euro-North-East. 2014. No. 4 (41). P. 57–61.
9. Vasilenko P. M., Babiy P. T. Cultivators (Design, theory and calculation). Kyiv: Ukrainian Academy of Agricultural Sciences, 1961. 239 p.

UDC 631.319

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

### JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS AND LOCATION OF THE WORKING BODIES OF THE COMBINED TILLAGE UNIT

**Summary.** *Intensive mechanization of tillage, under conditions of intensive development of industrialization of agriculture in the Republic of Crimea, had a negative effect on soil fertility. Frequent use of energy-intensive tractors with attached machines that compact arable and sub-arable soil layers had led to their destructurization (destructive processes). Regular ploughing with full or partial soil layers' turnover and intensive loosening led to activation of biological processes and increased mineralization of organic matter. This negative process led to significant losses of nitrogen, which was not used by plants, as well as to reduction of humus content and intensive development of wind erosion. The use of combined tillage unit APK-3.8M for continuous, pre-sowing and fallow tillage with simultaneous harrowing and rolling on stony soils in areas of risky farming makes it possible to reduce erosion processes. The purpose of the*

research was to theoretically justify the main parameters of the combined tillage unit APK-3.8M and location of its working bodies, namely two rows of duck-foot shares, two sections of the ring harrow and a bar roller. The studies were carried out in 2023 at the FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea". To justify the combined tillage unit basic parameters and scheme of working bodies location, we used the theory of mechanical similarity of agricultural mechanics, basic principles of theoretical mechanics and continuum mechanics. Taking into account the tillage depth  $h$  and the basic physical and mechanical properties of the soil, we have justified the distance between the rows of cultivator share, the angle of attack of the ring harrow sections  $\alpha_k$ , the number of ring rippers  $n_{k.r.}$  and the height of the bar roller installation  $\Delta h_k$ , which provide a high-quality technological process, in full compliance with agrotechnical requirements, with the achievement of the average density of the treated soil layer  $\rho_{opt} = 1.1 \text{ g/cm}^3$ . In the course of conducted studies, theoretical dependence of the required number of ring rippers, which ranges from 16 to 18, on the angle of attack of the ring harrow sections  $\alpha_k$  was obtained.

**Keywords:** soil fertility, combined unit, arrangement of working bodies, ring ripper, bar roller, tillage quality, soil density.

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

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

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

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

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

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

*Дата поступления в редакцию – 07.05.2023.*

*Дата принятия к печати – 23.05.2023.*