

Методика инженерного расчета рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей

Сергей Иванович Камбулов^{1,2},
доктор технических наук, доцент,
главный научный сотрудник, профессор,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;
Виктор Борисович Рыков^{1,2},
доктор технических наук,
главный научный сотрудник, профессор,
e-mail: rikovvb@gmail.com;

Игорь Владимирович Божко¹,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: i.v.bozhko@mail.ru;
Дмитрий Сергеевич Подлесный²,
старший преподаватель,
e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru

¹Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация;

²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Реферат. Показали, что для получения продовольственного зерна высокого качества важна обработка почвы паровых полей в летний период. Отметим необходимость проектного расчета рабочих органов, так как существующие почвообрабатывающие машины и орудия не в полной мере обеспечивают выполнение этого технологического процесса. (*Цель исследования*) Разработать методику инженерного расчета параметров рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей в летний период. (*Материалы и методы*) Провели анализ конструкций рабочих органов. Выявили, что часть используемых рабочих органов выносит значительное количество влажных слоев почвы на поверхность, а другая часть не обеспечивает стабильной глубины обработки (4-6 сантиметров) или не полностью уничтожает сорную растительность. Предложили методику инженерного расчета, где учитывали следующие параметры рабочего органа: углы постановки нижней части к линии движения и к горизонту, верхней части – к горизонту, радиус сопряжений верхней и нижней частей, общую длину режущей кромки. (*Результаты и обсуждение*) Создали конструкцию рабочего органа, отвечающую агротехническим требованиям. Получили параметры конструкции рабочего органа: пределы угла постановки нижней части к линии движения 38-42 градуса, к горизонту – 15-18 градусов, верхней части в продольно-вертикальной и в поперечно-вертикальной плоскостях – 38-42 градуса, радиус сопряжения верхней и нижней частей – в пределах 0,2-0,3 миллиметра, длина режущей кромки 282 миллиметра. (*Выводы*) Разработали методику инженерного расчета параметров проектируемых рабочих органов для сплошной обработки почвы паровых полей в зависимости от физико-механических свойств почвы и требуемых показателей технологического процесса. **Ключевые слова:** почвообработка парового поля, методика инженерного расчета, рабочий орган, культиватор для сплошной обработки почвы.

■ **Для цитирования:** Камбулов С.И., Рыков В.Б., Божко И.В., Подлесный Д.С. Методика инженерного расчета рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №4. С. 60-67. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-60-67. EDN VKYJKE.

Methodology for Engineering Calculation of the Working Body for Continuous Fallow Field Tillage

Sergey I. Kambulov^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher, professor,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;
Viktor B. Rykov^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, professor,
e-mail: rikovvb@gmail.com;

Igor V. Bozhko¹,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: i.v.bozhko@mail.ru;
Dmitriy S. Podlesnyy²,
senior lecturer,
e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru

¹Agricultural Research Center "Donskoy", Zernograd, Russian Federation;

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. Tillage of fallow fields in summer is shown to be important for obtaining high quality food grains. The need for the engineering calculation of working bodies is emphasized, since the existing tillage machines and tools do not fully ensure the

implementation of this technological process. (*Research purpose*) To develop a methodology for engineering calculation of the working body parameters for continuous fallow field tillage in summer. (*Materials and methods*) An analysis of the working body design has been conducted. It reveals that some of the working bodies bring a significant amount of wet soil layers to the surface, and others do not ensure a stable processing depth (4-6 centimeters) or do not completely destroy weeds. An engineering calculation method is proposed. It takes into account the following parameters of the working body: the angles of setting the lower part against the motion line and against the horizon, the angle of setting the upper part against the horizon, the conjugation radius of the upper and lower parts, the length of the cutting edge. (*Results and discussion*) A working body design is created meeting the agrotechnical requirements. The following parameters of the working body design are obtained: the angle of setting the lower part against the motion line is within 38-42 degrees and against the horizon – within 15-18 degrees, the angle of the upper part in the longitudinal-vertical and transverse-vertical planes is within 38-42 degrees, the conjugation radius of the upper and lower parts is within 0.2-0.3 millimeters, and the cutting edge length is of 282 millimeters. (*Conclusions*) A methodology for engineering calculation of the designed working body parameters is developed. It enables continuous fallow field tillage taking into account the soil physical and mechanical properties and the required indicators of the technological process.

Keywords: fallow field tillage, engineering calculation technique, working body, cultivator for continuous tillage.

■ **For citation:** Kambulov S.I., Rykov V.B., Bozhko I.V., Podlesnyy D.S. Metodika inzhenernogo rascheta rabocheho organa dlya sploshnoy obrabotki pochvy parovykh poley [Methodology for engineering calculation of the working body for continuous fallow field tillage]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 60-67 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-60-67. EDN VKYJKE.

Высокие урожаи озимых культур, в том числе пшеницы, в условиях недостатка влаги в южной степной зоне России можно гарантированно получать только на паровых полях. В зависимости от почвенно-климатических условий в степной зоне Северного Кавказа находят применение, по крайней мере, четыре основные технологии обработки паров, различающиеся как по способу основной обработки (отвальная и безотвальная), так и по времени ее проведения (черные, если основная обработка проводится осенью, и ранние, если основная обработка проводится весной в год посева озимых).

Известные ученые-земледельцы южной зоны России Н.Н. Бородин и И.Г. Калинин в своих трудах подчеркивают необходимость послейной обработки паровых полей: с большой глубины (14-18 см) с постепенным уменьшением до 5-6 см по мере приближения к сроку посева озимых. Они отмечают также недопустимость обработки паровых полей во второй половине лета глубже 8 см.

Существующими почвообрабатывающими машинами и орудиями, обычно оснащенными рабочими органами в виде стрелчатых лап, обеспечить глубину обработки паровых полей 4-6 см в летний период без выноса влажных слоев на поверхность практически невозможно. При этом в конечном итоге иссушается верхний почвенный горизонт и не обеспечиваются условия для последующего высева семян во влажную почву [1-4].

Цель исследований – разработать методику инженерного расчета параметров рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей в летний период.

Материалы и методы. Рабочие органы к культиваторам для сплошной обработки почвы, которые ус-

ловно относятся к влагосберегающим, можно объединить в следующие группы (*таблица*).

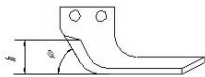
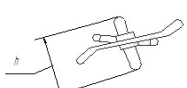
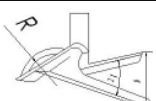
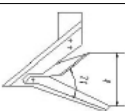
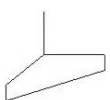
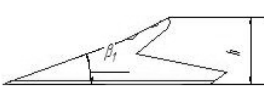
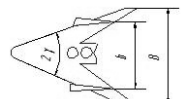
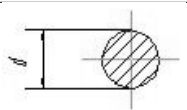
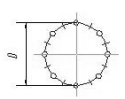
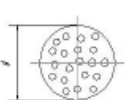
Анализ представленных конструкций и имеющихся данных сравнительной их агротехнической оценки показывает, что часть из используемых рабочих органов выносят значительное количество влажных слоев на поверхность [5-10]. Другая часть не обеспечивает стабильной глубины обработки (4-6 см) или не полностью уничтожает сорную растительность [11-15].

С учетом этого в АНЦ «Донской» разработали рабочий орган для сплошной обработки паровых полей, который содержит два узких односторонних плоскорежущих крыла, установленных на держателе совместно с долотообразным ножом (*рис. 1*).

Такой рабочий орган может быть установлен как индивидуально на раму парового культиватора, так и по несколько штук на дополнительную рамку при грядильной подвеске. Основные элементы предлагаемого рабочего органа для паровых культиваторов – односторонние плоскорежущие крылья (левое и правое), обеспечивающие рыхление почвы на требуемую глубину, в том числе и минимальную (4-6 см), 100%-ное подрезание сорняков, а также исключают вынос влажных слоев почвы на поверхность.

Результаты и обсуждение. При проектировании рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей необходимо установить следующие параметры:

- угол γ постановки нижней части рабочего органа к линии движения;
- углы α и φ постановки верхней части рабочего органа в поперечной и продольно-вертикальной плоскостях к горизонту;
- угол ω постановки нижней части рабочего органа

Рабочие органы для сплошной, мелкой и поверхностной обработки почвы Working bodies for continuous, shallow and surface tillage		Техническая характеристика / Technical specifications			
Наименование Name	Схема рабочего органа Working body diagram	глубина обработки, см tillage depth, cm	ширина захвата, см working width, cm	угол крошения, град. crumble angle, deg.	базовая машина basic machine
Узкая односторонняя лапа Narrow one-sided paw		4-6	18	15	паровой культиватор / steam cultivator
Звено шлейфа Element plume		2-3	10	переменный variable	
Сегментная спаренная односторонняя лапа Segmental coupled one-sided paw		6-8	35	15	
Черенковая спаренная односторонняя лапа Shank coupled one-sided paw		6-8	33	15	
Струна String		6	30-40	0	
Плоскорежущая односторонняя лапа Flat cutting one-sided paw		5	140	28	культиватор / Cultivator
Универсальная стрелчатая лапа Universal lancet paw		6-12	33,0-38,5	28	
Стрелчатая лапа с хвостовиком и стабилизаторами Lancet paw with shank and stabilizers		6-12	22	28	
Плоскорежущая стрелчатая лапа Flat cutting lancet paw		6-14	40	15	орудие для предпосевной обработки почвы ОП-8 / Tool for pre-sowing tillage OP-8
Круглая штанга Round rod		5-8	180-200	переменный variable	
Ротационный каток Rotary roller		0-2	180-200	0	
Гибкий рабочий орган Flexible working body		6	200	—	прицепное секционное орудие Trailed section implement

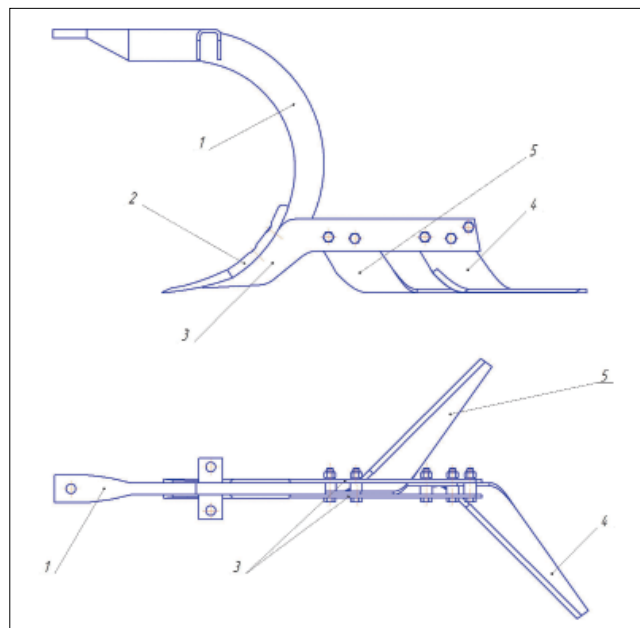


Рис. 1. Схема рабочего органа для сплошной обработки почвы: 1 – стойка; 2 – долотообразный нож; 3 – держатель; 4 – левостороннее плоскорежущее крыло; 5 – правостороннее плоскорежущее крыло

Fig. 1. Working body for continuous tillage: 1 – stand; 2 – chisel-shaped knife; 3 – holder; 4 – left-hand flat-cutting wing; 5 – right-hand flat-cutting wing

на к горизонту. Исходные параметры для расчета принимаются в зависимости от предполагаемого к применению тягового класса трактора и ширины захвата проектируемой почвообрабатывающей машины [16], а также от количества применяемых рабочих органов [17-19].

Угол γ постановки нижней части рабочего органа к линии движения определяется следующим выражением (рис. 2):

$$\sin \gamma = \frac{B_1 + B_{II}}{l - \Delta l - \frac{R \cdot \pi \cdot \Theta}{180}} \quad (1)$$

где B_1 – ширина полос, обрабатываемых проектируемым рабочим органом, мм ($B_1 = 90$ мм);

B_{II} – перекрытие между рабочими органами, мм ($B_{II} = 39,5$ мм);

l – длина режущей кромки рабочего органа, мм, $l = 282$ мм (рис. 2b и выражение 8);

Δl – длина режущей кромки от верхнего перегиба до ее верхнего окончания, мм (при $R_{\max} \Delta l = 23$ мм, при $R_{\min} \Delta l = 29$ мм);

R – радиус сопряжений нижней и верхней частей рабочего органа, мм;

Θ – угол, образуемый в развертке пересечением лезвия щитка и лезвия крыла, град.:

$$\operatorname{ctg} \Theta = \frac{\sin \mu}{\operatorname{tg} \gamma_0}; \quad \Theta = 85^\circ, \quad (2)$$

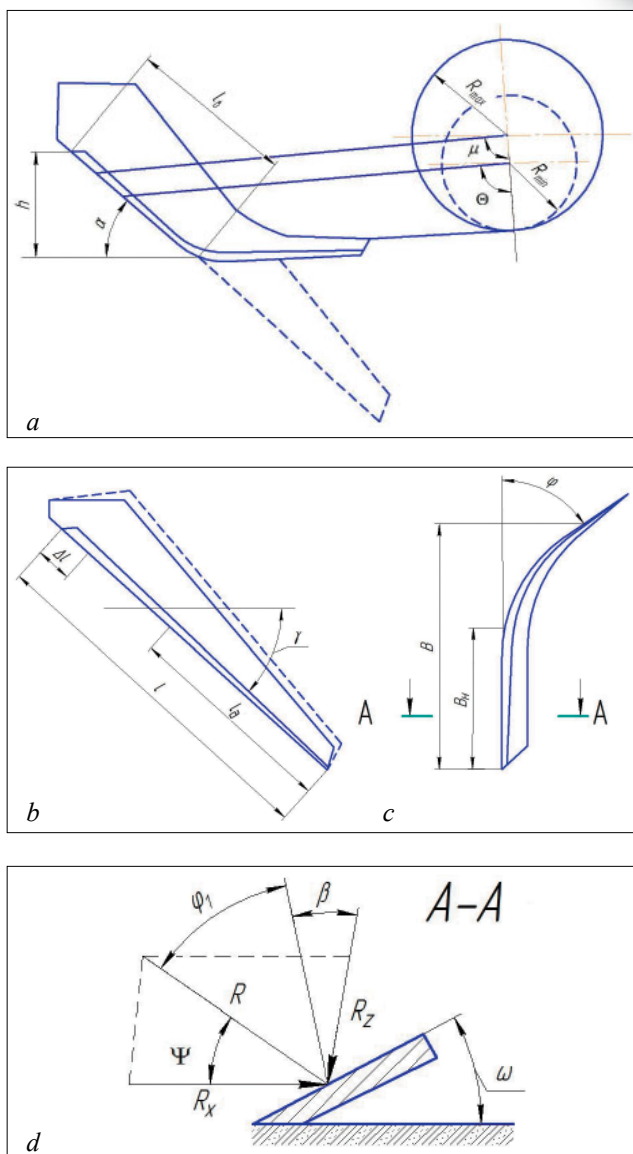


Рис. 2. Одностороннее плоскорежущее крыло (элемент рабочего органа для сплошной обработки почвы): а – вид сбоку; б – развертка; с – вид спереди; д – сечение АА, силы, действующие на горизонтальную часть рабочего органа; α – угол постановки рабочего органа к линии движения, град.; h – толщина обрабатываемого слоя, мм; l – длина верхней части режущей кромки рабочего органа, мм; $R_{\max}$ – максимальный радиус сопряжений нижней и верхней частей рабочего органа, мм; $R_{\min}$ – минимальный радиус сопряжений нижней и верхней частей рабочего органа, мм; μ – угол между линиями перегиба и горизонтом, град.; Θ – угол, образуемый в развертке пересечением лезвия щитка и лезвия крыла, град.; γ – угол постановки нижней части рабочего органа к линии движения, град.; Δl – длина режущей кромки от верхнего перегиба до ее верхнего окончания, мм; l – длина режущей кромки рабочего органа, мм; l_a – действительная длина режущей кромки рабочего органа от нижней линии перегиба до ее окончания, мм; B – ширина захвата рабочего органа, мм; B_{II} – ширина нижней части режущей кромки рабочего органа, мм; ϕ – угол постановки верхней части рабочего органа в продольно-вертикальной плоскости, град.; R_x – горизонтальная со-

ставляющая силы, действующая на нижнюю часть рабочего органа; R_z – вертикальная составляющая силы, действующая на нижнюю часть рабочего органа; R – результирующая всех сил, действующих на нижнюю часть рабочего органа; Ψ – угол, заключенный между R_x и R , град.; φ_1 – угол трения почвы о сталь, град.; β – угол крошения, град.; ω – угол постановки нижней части рабочего органа к горизонту, град.

Fig. 2. One-sided flat cutting wing (element of the working body for continuous tillage): a – side view; b – sweep; c – front view; d – AA section: forces acting on the horizontal part of the working body; α – the angle of setting the working body against the motion line, degrees; h – the thickness of the processed layer, mm; l_b – the length of the upper part of the working body cutting edge, mm; R_{max} – the maximum conjugation radius of the working body lower and upper parts, mm; R_{min} – the minimum conjugation radius of the working body lower and upper parts of, mm; μ – the angle between the inflection lines and the horizon, degrees; Θ – the angle formed in the sweep by the intersection of the shield blade and the wing blade, degrees; γ – the angle of setting the working body lower part against the line of motion, degrees; Δl – the length of the cutting edge from the top bend to its top end, mm; l – the length of the working body cutting edge, mm; l_d – the actual length of the working body cutting edge from the lower inflection line to its end, mm; B – the working body width, mm; B_H – the width of the lower part of the working body cutting edge, mm; φ – the angle of setting the working body upper part in the longitudinal-vertical plane, degrees; R_x – the horizontal component of the force acting on the lower part of the working body; R_z – the vertical component of the force acting on the lower part of the working body; R – the resultant of all the forces acting on the lower part of the working body; Ψ – the angle between R_x and R , degrees; φ_1 – the angle of soil friction on steel, degrees; β – the crumbling angle, degrees; ω – the angle of setting working body lower part against the horizon, degrees

где μ – угол между линиями перегиба и горизонтом, град., $\mu = 5^\circ$ (рис. 2а);

γ_0 – угол, заключенный между линией перегиба и верхней кромкой рабочего органа, град., $\gamma_0 = 42^\circ$.

Радиус сопряжений верхней и нижней частей рабочего органа можно выразить как максимальный R_{max} и минимальный R_{min} при построении развертки рабочего органа (рис. 2а). Максимальное и минимальное значение радиусов сопряжений позволит определить пределы диапазона значений параметров проектируемого рабочего органа, при которых будет обеспечиваться выполнение технологической операции обработки почвы с наименьшими энергозатратами.

Радиус сопряжения верхней части рабочего органа R_{max} определяется выражением:

$$R_{max} = \frac{180(l - \Delta l - l_d)}{\pi \cdot \Theta}, R_{max} = 53,95 \text{ мм}, \quad (3)$$

где l_d – действительная длина режущей кромки рабочего органа от нижней линии перегиба до ее окончания, мм ($l_d = 179$ мм, рис. 2б).

Радиус сопряжения нижней части рабочего органа

на R_{min} равен:

$$R_{min} = (k \cdot a + a) \cdot 1,6, R_{min} = 39 \text{ мм}, \quad (4)$$

где k – коэффициент прочности стали (для сталей 30-65Г = 1,5);

a – толщина стали, мм ($a = 8$ мм);

1,6 – коэффициент, предупреждающий появление трещин в почвенном пласте.

Тогда из выражения (1) $\gamma_{max} = 42^\circ$; $\gamma_{min} = 38^\circ$. Таким образом, угол γ постановки нижней части рабочего органа к линии движения должен быть в пределах $38^\circ < \gamma < 42^\circ$.

Основное назначение технологического приема обработки почвы, выполняемого орудием с предлагаемыми рабочими органами, состоит в создании обрабатываемого слоя толщиной h .

Для вычисления максимального и минимального углов α и φ постановки верхней части рабочего органа в поперечной и продольно-вертикальной плоскостях к горизонту воспользуемся выражением (рис. 2):

$$\sin(\alpha)\varphi = h/l_b, \quad (5)$$

где h – толщина обрабатываемого слоя, мм

($h_{min} = 55$ мм; $h_{max} = 60$ мм);

l_b – длина верхней части режущей кромки рабочего органа, мм ($l_b = 89$ мм).

Тогда из выражения (5) находим:

$$\alpha_{max} = 42^\circ, \alpha_{min} = 38^\circ \text{ и } \varphi_{max} = 42^\circ, \varphi_{min} = 38^\circ.$$

Таким образом, верхняя часть рабочего органа в продольно-вертикальной плоскости должна быть установлена под углом к горизонту в пределах $38^\circ < \varphi < 42^\circ$, а угол постановки верхней части рабочего органа к горизонту в поперечно-вертикальной плоскости находится в диапазоне $38^\circ < \alpha < 42^\circ$.

При расчете максимального и минимального значений угла ω постановки нижней части рабочего органа к горизонту воспользуемся выражением:

$$\omega = 90^\circ - \Psi - \varphi_1, \quad (6)$$

где Ψ – угол, заключенный между горизонтальной составляющей R_x (рис. 2д) и результирующей R всех сил, действующих на нижнюю часть рабочего органа, град. ($\Psi_{max} = 33^\circ$, $\Psi_{min} = 30^\circ$);

φ_1 – угол трения почвы о сталь, град. ($\varphi_1 = 31-42^\circ$).

Тогда из выражения (6) определяем:

$$\omega_{max} = 18^\circ, \omega_{min} = 15^\circ.$$

Как видим, нижняя часть рабочего органа должна быть установлена к горизонту под углом $15^\circ < \omega < 18^\circ$.

Найдем соотношение радиуса R сопряжения верхней и нижней частей рабочего органа к ширине захвата рабочего органа B :

$$0,2 < R/B < 0,3, \quad (7)$$

где B – ширина захвата рабочего органа, мм:

$$B = l \cdot \sin \alpha; B = 189 \text{ мм},$$

где α – угол постановки рабочего органа к линии движения, град. ($\alpha = 42^\circ$).

Общая длина режущей кромки рабочего органа равна:

$$l = l_H + l_{II} + l_B, \quad (8)$$

где l – общая длина режущей кромки рабочего органа, мм ($l = 282$ мм);

l_H – длина режущей кромки нижней части рабочего органа, мм ($l_H = B/\sin 42^\circ$; $l_H = 134$ мм, причем $B_H = 90$ мм – ширина нижней части режущей кромки рабочего органа, мм);

l_{II} – длина режущей кромки рабочего органа, необходимая для перекрытия, мм ($l_{II} = B/\sin 45^\circ = 59$ мм, причем $B_H = 39,5$ мм – ширина перекрытия полос между рабочими органами, мм);

l_B – длина режущей кромки верхней части рабочего органа, мм ($l_B = h/\sin \alpha = 60/\sin 42^\circ = 134$ мм, где $h = 60$ мм – глубина обработки почвы рабочим органом).

Для проверки полученной длины рабочего органа на возможность сгуживания почвы перед ним, воспользуемся зависимостью [16]:

$$l \leq ctg(\beta + \varphi_1) \left\{ \frac{\sigma_c}{\gamma_{об}} - \frac{2V^2}{g} \sin \frac{\beta}{2} \times \right. \\ \left. \times \left[\cos \frac{\beta}{2} \cdot tg(\beta + \gamma_1) - \sin \frac{\beta}{2} \right] \right\} \leq 283, \quad (9)$$

где β – угол крошения, град. ($\beta = 15^\circ - 28^\circ$);

φ_1 – угол трения почвы о сталь, град. ($\varphi_1 = 31^\circ - 42^\circ$);

σ_c – временное сопротивление почвы сжатию, Г/см² ($\sigma_c = 650$ Г/см²);

$\gamma_{об}$ – объемный вес почвы, Г/см³ ($\gamma_{об} = 2,4 - 2,7$ Г/см³);

V – скорость движения рабочего органа, м/с

($V = 2,4 - 4,1$ м/с);

g – ускорение свободного падения, м/с² ($g = 9,81$ м/с²).

Так как условие $l \leq 283$ выполняется ($282 \leq 283$), то это указывает на исключение сгуживания почвы перед рабочим органом при выбранных параметрах

и скоростях движения. Отношение максимального ($R_{max} = 53,95$ мм) и минимального ($R_{min} = 39,00$ мм) радиусов сопряжения верхней и нижней частей рабочего органа к ширине захвата будет равно:

$$R_{max}/B = 53,95/189 = 0,30;$$

$$R_{min}/B = 39,00/189 = 0,20.$$

Таким образом, отношение радиусов сопряжений верхней и нижней частей рабочего органа к ширине захвата должно быть в пределах $0,2 < R/B < 0,3$.

Выводы. В ходе расчетов были получены следующие основные параметры рабочего органа. Угол постановки нижней части рабочего органа к линии движения должен быть в пределах $38^\circ - 42^\circ$. В этом же диапазоне должны находиться верхняя часть рабочего органа в продольно-вертикальной плоскости под углом к горизонту и угол постановки верхней части рабочего органа к горизонту в поперечно-вертикальной плоскости. Нижнюю часть рабочего органа фиксируют под углом к горизонту $15^\circ - 18^\circ$. Отношение радиусов сопряжений верхней и нижней частей рабочего органа к ширине захвата должно быть в пределах $0,2 - 0,3$. Общая длина режущей кромки рабочего органа равна 282 мм.

Разработанная методика позволяет определять параметры проектируемых рабочих органов для сплошной обработки почвы паровых полей в зависимости от физико-механических свойств почвы и требуемых показателей технологического процесса, а также при проектировании сельскохозяйственных почвообрабатывающих машин различной ширины захвата, под различные тяговые классы тракторов с наименьшими энергозатратами.

Основное преимущество рабочего органа предлагаемой конструкции – обеспечение рыхления почвы на требуемую глубину, в том числе и минимальную (4-6 см), со 100%-ным подрезанием сорной растительности, а также исключение выноса влажных слоев почвы на поверхность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пахомов В.И., Рыков В.Б., Камбулов С.И., Шевченко Н.В., Ревякин Е.Л. Опыт возделывания озимой пшеницы в условиях недостаточного увлажнения. М.: 2015. 160 с.
2. Рыков В.Б., Камбулов С.И., Трубилин Е.И., Шевченко Н.В. Разработка эффективных мобильных технологических агрегатов для условий юга России. Краснодар: 2019. 265 с.
3. Василенко В.В., Василенко С.В., Борзило В.С. Зона рыхления почвы культиваторной лапой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 48-52.
4. Пархоменко Г.Г., Камбулов С.И., Рыков В.Б. Агротехническая и энергетическая оценка почвообрабатывающих и посевных машин с трансформируемой конструкцией // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2013. N5. С. 4-6.
5. Пархоменко Г.Г., Щилов В.Н. Определение тягового сопротивления почвообрабатывающих машин // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2011. N8. С. 23-24.
6. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N3(18). С. 40-47.
7. Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Balabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt V., Ferro V., Bagarello V., Oost K.V., Montanarella L., Panagos P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*. 2013. N8.
8. Sándor Zs., Tállai M., Kincses I., László Z., Kátai J., Vágó I.

- Effect of various soil cultivation methods on some microbial soil properties. *DRC Sustainable Future*. 2020. N1(1). 14-20.
9. Абдулхаев Х.Г., Халилов М.М. Обоснование параметров ножей выравнивателя-рыхлителя // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N3. С. 44-47.
 10. Amundson R., Berhe A.A., Hopmans J.W., Olson C., Sztein A.E., Sparks D.L. Soil and human security in the 21st century. *Soil science*. 2015. 348.
 11. Lugato E., Paustian K., Panagos P., Jones A., Borrelli P. Quantifying the erosion effect on current carbon budget of European agricultural soils at high spatial resolution. *Global Change Biology*. 2016. N22. 1976-1984.
 12. Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewel C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 2015. N54. 438-447.
 13. Borrelli P., Paustian K., Panagos P., Jones A., Schütt B., Lugato E. Effect of Good Agricultural and Environmental Conditions on erosion and soil organic carbon balance: A national case study. *Land Use Policy*. 2016. N50. 408-421.
 14. Katra I., Gross A., Swet N., Tanner S., Krasnov H., Angert A. Substantial dust loss of bioavailable phosphorus from agricultural soils. *Scientific Reports*. 2016. N6. 24736.
 15. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Alewell C., Lugato E., Montanarella L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*. 2015. N48. 38-50.
 16. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1977. 328 с.
 17. Okoko P., Ajav E.A., Olosunde W.A. Draft and power requirements for some tillage implements operating in clay loam soil. *AgricEngInt: CIGR Journal*. 2018. N20(1). 95-102.
 18. Amer M. Mamkagh. Review of fuel consumption, draft force and ground speed measurements of the agricultural tractor during tillage operations. *Asian Journal of Advanced Research and Reports*. 2019. N3(4). 1-9.
 19. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Шогенов А.Х. Трехсекционный почвообрабатывающий агрегат с универсальными сменными рабочими органами // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 14. N3(54). С. 92-95.

REFERENCES

1. Pakhomov V.I., Rykov V.B., Kambulov S.I., Shevchenko N.V., Revyakin E.L. Opyt vozdeleyvaniya ozimoy pshenitsy v usloviyakh nedostatochnogo uvlazhneniya [Experience in the cultivation of winter wheat in conditions of insufficient moisture]. Moscow: 2015. 160 (In Russian).
2. Rykov V.B., Kambulov S.I., Trubilin E.I., Shevchenko N.V. Razrabotka effektivnykh mobil'nykh tekhnologicheskikh agregatov dlya usloviy yuga Rossii [Development of efficient mobile technological units for the conditions of the south of Russia]. Krasnodar: 2019. 265 (In Russian).
3. Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Borzilo V.S. Zona rykhleniya pochvy kultivatornoy lapoy [Zone of soil loosening with cultivator sweeps]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N4. 48-52 (In Russian).
4. Parkhomenko G.G., Kambulov S.I., Rykov V.B. Agrotekhnicheskaya i energeticheskaya otsenka pochvoobrabatyvayushchikh i posevnykh mashin s transformiruemoy konstruktsiei [Agrotechnical and energy assessment of soil-cultivating and sowing machines with a transformable design]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyaystva*. 2013. N5. 4-6 (In Russian).
5. Parkhomenko G.G., Shchirov V.N. Opredelenie tyagovogo soprotivleniya pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Determination of traction resistance of tillage machines]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyaystva*. 2011. N8. 23-24 (In Russian).
6. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Povyshenie energoeffektivnosti mobil'nykh pochvoobrabatyvayushchikh agregatov [Improving the energy efficiency of mobile tillage units]. *Innovatsii v sel'skom hozyaystve*. 2016. N3(18). 40-47 (In Russian).
7. Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt V., Ferro V., Bagarello V., Oost K.V., Montanarella L., Panagos P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*. 2013. N8 (In English).
8. Sándor Zs., Tállai M., Kincses I., László Z., Kátai J., Vágó I. Effect of various soil cultivation methods on some microbial soil properties. *DRC Sustainable Future*. 2020. N1(1). 14-20 (In English).
9. Abdulhaev H.G., Halilov M.M. Obosnovanie parametrov nozhey vyvornivatelya-rykhlytelya [[Determining the parameters of leveler-ripper shanks]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 44-47 (In Russian).
10. Amundson R., Berhe A.A., Hopmans J.W., Olson C., Sztein A.E., Sparks D.L. Soil and human security in the 21st century. *Soil science*. 2015. 348 (In English).
11. Lugato E., Paustian K., Panagos P., Jones A., Borrelli P. Quantifying the erosion effect on current carbon budget of European agricultural soils at high spatial resolution. *Global Change Biology*. 2016. N22. 1976-1984 (In English).
12. Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewel C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 2015. N54. 438-447 (In English).
13. Borrelli P., Paustian K., Panagos P., Jones A., Schütt B., Lugato E. Effect of Good Agricultural and Environmental Conditions on erosion and soil organic carbon balance: A national case study. *Land Use Policy*. 2016. N50. 408-421 (In English).
14. Katra I., Gross A., Swet N., Tanner S., Krasnov H., Angert A. Substantial dust loss of bioavailable phosphorus from agricultural soils. *Scientific Reports*. 2016. N6. 24736 (In English).

15. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Alewell C., Lugato E., Montanarella L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*. 2015. N48. 38-50 (In English).
16. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and calculation of tillage machines]. Moscow: Mashinostroenie. 1977. 328 (In Russian).
17. Okoko P., Ajav E.A., Olosunde W.A. Draft and power requirements for some tillage implements operating in clay loam soil. *AgricEngInt: CIGR Journal*. 2018. N20(1). 95-102 (In English).
18. Amer M. Mamkagh. Review of fuel consumption, draft force and ground speed measurements of the agricultural tractor during tillage operations. *Asian Journal of Advanced Research and Reports*. 2019. N3(4). 1-9 (In English).
19. Ahalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Shogenov A.Kh. Trekhseksionnyy pochvoobrabatyvayushchiy agregat s universal'nymi smennymi rabochimi organami [Three-section tillage unit with universal replaceable working bodies]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. Vol. 14. N3(54). 92-95 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Камбулов С.И. – научное руководство, постановка задачи, критический анализ и доработка решения;
 Рыков В.Б. – определение методологии исследования, сбор и анализ аналитических и практических материалов по теме исследования, формирование общих выводов, критический анализ и доработка решения;
 Божко И.В. – обработка результатов исследований, анализ и доработка решения;
 Подлесный Д.С. – анализ научных источников по теме исследования, анализ и доработка текста.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Kambulov S.I. – scientific guidance, problem statement, critical analysis and improvement of the solution;
 Rykov V.B. – specifying the research methodology, collection and analysis of analytical and practical materials on the research topic, formation of general conclusions, critical analysis and finalizing the solution;
 Bozhko I.V. – research results processing, analysis and improvement of the solution;
 Podlesny D.S. – literature review, analysis and revision of the article manuscript.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
 Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
 The paper was accepted for publication on

08.09.2022
 09.11.2022