

EDN: RFJZYZ

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-61-68



Научная статья

УДК 631.312



Разрушение слоя почвы рабочими органами плоскорежущего типа

Сергей Витальевич Белоусов^{1,2},кандидат технических наук, доцент
e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru;**Виктор Борисович Рыков^{2,3},**доктор технических наук, профессор,
старший научный сотрудник,
e-mail: rykov.vb@gmail.com;**Сергей Иванович Камбулов^{2,3},**доктор технических наук,
главный научный сотрудник, доцент,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;**Борис Владимирович Туровский¹,**кандидат технических наук, профессор,
e-mail: boturovskij@yandex.ru¹Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Российская Федерация;²Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация;³Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Реферат. Отмечено, что при использовании рабочих органов плоскорежущего типа важно учитывать изменение сопротивления разрыву почвы в зависимости от ее относительной влажности, изменение сопротивления резанию ножами с ромбическим поперечным сечением и сопротивления резанию в зависимости от числа плоскостей резания. Работа посвящена аналитическому исследованию влияния угла заточки ножа на удельное сопротивление резанию плодородного слоя почвы. (*Цель исследования*) Изучение процесса разрушения слоя почвы рабочими органами плоскорежущего типа. (*Материалы и методы*) Предложен новый почвообрабатывающий орган, проведены его предварительные теоретические исследования. Методика опыта предусматривает измерение только вертикальной составляющей давления пласта почвы на рабочий орган. При этом боковые стойки, удерживающие нож, перемещаются по заранее подготовленным направляющим. (*Результаты и обсуждение*) Научная новизна исследований заключается в использовании зависимостей, которые отражают взаимосвязь параметров и режимов функционирования нового рабочего органа в процессе взаимодействия его с почвой. Предложена методика инженерного расчета рабочего органа при взаимодействии его с почвой. При ширине зуба на плоскорежущем рабочем органе 5 сантиметров и длине 7 сантиметров наименьшее сопротивление на тяжелом суглинке будет получено при отношении ширины зуба на рабочем органе к расстоянию между зубьями 2-3,5. (*Выводы*) Установлено, что длину зубьев следует задавать приблизительно равной расстоянию между зубьями. Определено влияние заточки на техническое состояние рабочих органов на производительность агрегата в целом. Приведены аналитические данные, которые позволяют сделать вывод, что для ножей с большой шириной захвата выгоднее увеличивать глубину резания, так как удельное сопротивление резанию при этом уменьшается.

Ключевые слова: почва, обработка почвы, клин, сопротивление резанию, горизонтальный нож, рабочие органы, зубья, производительность.

■ **Для цитирования:** Белоусов С.В., Рыков В.Б., Камбулов С.И., Туровский Б.В. Разрушение слоя почвы рабочими органами плоскорежущего типа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 61-68. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-61-68. EDN: RFJZYZ.

Scientific article

Soil Layer Destruction by Flat-Cutting Working Bodies

Sergey V. Belousov^{1,2},Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru;**Viktor B. Rykov^{2,3},**Dr.Sc.(Eng.), professor, senior researcher,
e-mail: rykov.vb@gmail.com;**Sergey I. Kambulov^{2,3},**Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;**Boris V. Turovsky¹,**Ph.D.(Eng.), professor,
e-mail: boturovskij@yandex.ru¹Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation;²Agrarian Research Center «Donskoy», Zernograd, Russian Federation;³Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. The paper emphasizes the importance of considering the dependence of soil tensile resistance on the relative moisture content when using flat-cutting working tools. Additionally, it highlights the dependence of soil tensile resistance on rhombic cross-section blades and the number of cutting planes. This study focuses on examining the effect of the blade sharpening angle on the specific cutting resistance of the fertile soil layer. (*Research purpose*) To study the soil layer destruction process using flat-cutting working bodies. (*Materials and methods*) A new soil-tillage tool was developed and subjected to preliminary theoretical analysis. The experimental methodology focuses on measuring only the vertical component of the soil layer's pressure acting on the working tool. Theoretical analysis demonstrates that the side brackets supporting the blade move along pre-designed guides. (*Results and discussion*) The research novelty lies in establishing relationships that describe the dependence between the parameters and operating modes of the new working body during its interaction with the soil. A method for the engineering calculation of the working body's interaction with surfaces has been proposed. The findings indicate that, in heavy loam, the lowest resistance is achieved with a tine on the working organ width of 5 centimeters and a length of 7 centimeters when the ratio of the tine width to the distance between the tines is 2–3.5. (*Conclusions*) It has been established that the tine length should be approximately equal to the distance between the tines. The study also highlights the impact of sharpening on the technical condition of working bodies and the overall productivity of the tool. Analytical data indicate that for blades with a large cutting width, increasing the cutting depth is more effective in reducing specific cutting resistance.

Keywords: soil, soil tillage, wedge, cutting resistance, horizontal blade, working tools, working bodies, tines, productivity.

■ **For citation:** Belousov S.V., Rykov V.B., Kambulov S.I., Turovsky B.V. Soil layer destruction by flat-cutting working bodies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 61-68 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-61-68. EDN: RFJZYZ.

Вопросы разрушения почвы составляют предмет одного из основных разделов агрономической науки, связанные с механической обработкой плодородного почвенного слоя. При разрушении почвы происходят также процессы уплотнения, перемешивания и перемещения верхнего плодородного слоя. Разрушение почвы сопровождается упругими и пластичными деформациями: сдвигом, срезом, а также перемещениями некоторых отделенных почвенных слоев с трением их о почву и сталь. Трение усиливается в суглинистой и глинистой почве, которая прилипает к режущему органу и создает дополнительное сопротивление движению почвенного потока. В отдельных случаях при резании наблюдаются деформации растяжения и разрыва почвы [1, 2].

Сопротивление резанию обусловлено сочетанием разных видов деформации, зависящих от формы рабочего органа, способа резания и характеристик почвы. Исследования механических свойств показали, что предел прочности на сжатие минеральных почв в 6-10 раз больше, чем на сопротивление срезу, и в 12-20 раз больше, чем сопротивление разрыву, т.е. при разрыве предел прочности оказывается наименьший. При нормальной влажности мягкие почвы разрушаются легче всего скалыванием, а пластичные почвы – при чистом резании.

Разрушение слоев почвы также происходит при сжатии, растяжении или изгибе. Разрушаемость во многом зависит от прочности почвы. Установлено, что минеральные почвы разрушаются с меньшими затратами энергии при обработке методом разрыва и скалывания, а волокнистые почвы – при резании. Затраты на разрушение минеральных почв раз-

рывом по сравнению с резанием снижаются иногда до 60% [3]. Если процесс резания минеральной почвы сопровождается скалыванием, то усилие периодически уменьшается на 30-40%.

<i>Изменение сопротивления разрыву почвы в зависимости от относительной влажности</i>			
Относительная влажность почвы, %	28,4	30,6	34,1
Сопротивление разрыву, кПа	64,5	27,0	18,0

Опыты в полевых условиях показали, что при перемещении плоского ножа (плоскореза, стрельчатой лапы и аналогичных почвообрабатывающих агрегатов) под углом 5° к основанию подошвы на глубине 0,1 м и минимальной скорости продольного перемещения 0,005 м/с влажность почвы оказывает существенное влияние на сопротивление разрыву [3].

Цель исследования – изучение процесса разрушения слоев почвы рабочими органами плоскорезающего типа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В отделе механизации растениеводства аграрного научного центра «Донской» совместно с кафедрой «Процессы и машины в агробизнесе» Кубанского ГАУ предложен новый рабочий орган для обработки почвы и проведены его предварительные исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Из всего комплекса полевых работ наиболее энергонасыщенным процессом является вспашка [4]. По многолетним данным, на выполнение вспашки различных типов почв приходится до 35-40% энергетических и 22-30% трудовых затрат. В последнее время многие производители возвращаются к традиционным техноло-

гиям возделывания агрокультур, в которых глубокая обработка почвы, как с оборотом, так и без оборота пласта, занимает важное место [5].

Известно, что на тяговое сопротивление пахотного агрегата влияет состояние режущих рабочих органов плуга [6, 7]. С целью обоснования наиболее рациональной формы нового, изношенного и так называемого стабилизированного профиля плоскорежущего рабочего органа необходимо рассмотреть процессы его взаимодействия с почвой и действующие силы [7].

Для соблюдения условий разрезания почвенного пласта необходимо, чтобы сила $\overline{P}_{\text{лх}}$ действовала пропорционально объему смятия почвы:

$$\overline{P}_{\text{лх}} = kqt_{\text{л}}bS, \text{ н}, \quad (1)$$

где k – коэффициент смятия почвы; q – ширина заточки кромки рабочего органа, мм; $t_{\text{л}}$ – толщина рабочего органа, см; b – ширина захвата ножа, мм; S – площадь контакта режущей кромки с почвой, мм.

В условиях эксперимента глубина a обработки плоскорежущим рабочим органом, закрепленным на корпусе плуга, составляла 12 см при глубине обработки 22,70 см.

Почва подрезается клином под углом $\alpha_{\text{зл}} + \alpha_{\text{з}}$, а поскольку данные величины постоянны, то первоначальное воздействие на почву оказывает режущая кромка. В результате срыва уплотненного слоя почвы вверх на лезвии клина (режущей кромке) от силы $P_{\text{лх}}$ возникает сила трения:

$$-P_{\text{лз}} = P_{\text{лх}} \operatorname{tg} \varphi = K_{\text{о/лн}} b \delta \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где $P_{\text{лз}}$ – выталкивающая сила, Н; δ – величина перемещения рабочего органа, мм.

При глубине обработки $a = 12$ см и предварительном отрезании пласта в горизонтальной плоскости выталкивающая клин суммарная сила отрыва и деформации пласта $P_{\text{ах}} = 225$ Н, трение лезвия о стенку борозды $P_{\text{ас}} = 90$ Н. Вертикальные составляющие создают заглубляющее усилие, которое уравнивает пахотный агрегат, что способствует плавному протеканию технологического процесса послойной основной обработки почвы с оборотом пласта.

При наличии заточки рабочего органа с передней части, которая воздействует на пласт почвы, характер деформаций почвы изменится, что приведет к изменению коэффициента k в формуле (1). В результате перемещения на δ_{max} эпюра давления на режущую кромку изменится в диапазоне $d_{\text{рл}}$ в точке A до нуля (рис. 1), а сила $dP_{\text{лх}}$ в точке B :

$$dP_{\text{лх}} = Kq dV = KqS dF = Kqda' db, \quad (3)$$

где dV – объем смятой почвы, см³; da' и db – высота и ширина заточки рабочего органа.

Соответственно, равнодействующая сила $P_{\text{лх}}$

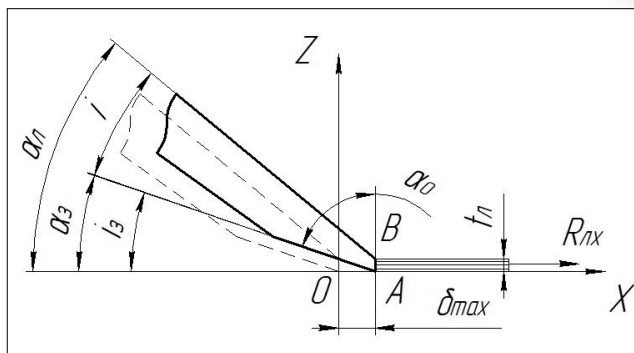


Рис. 1. Схема к определению сил, действующих на лезвие с классической заточкой

Fig. 1. Diagram for calculating forces acting on a blade with traditional sharpening

определяется путем интегрирования выражений (2) и (3):

$$P_{\text{лх}} = \int_0^b \int_0^{\delta} Kq \delta f'(\delta) db d\delta, \quad (4)$$

где $f'(\delta)$ – первая производная функции профиля заточки рабочего органа.

При остром лезвии $f'(\delta) = \operatorname{tg} \varepsilon_0$ равнодействующая сила

$$P_{\text{лх}} = 0,5 Kqb \delta^2 \operatorname{tg} \varepsilon_0. \quad (5)$$

В нашем случае угол заточки рабочего органа $\varepsilon_0 = 30^\circ$, поэтому

$$P_{\text{лх}} = 0,5 Kqt_{\text{л}} b \delta. \quad (6)$$

Отсюда получим силу нормального давления почвы на угол заточки

$$P_{\text{лх}} = 0,5 Kqt_{\text{л}} b \delta \sin \varepsilon_0. \quad (7)$$

С учетом силы трения F равнодействующая P' и ее составляющие на оси X и Z определяются по формулам:

$$P' = 0,5 Kqt_{\text{л}} b \delta \frac{\sin \varepsilon_0}{\cos \varphi}, \quad (8)$$

$$P_{\text{лх}} = 0,5 Kqt_{\text{л}} b \delta \frac{\sin \varepsilon_0 \sin(\varepsilon_0 + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (9)$$

$$P_{\text{лз}} = 0,5 Kqt_{\text{л}} b \delta \frac{\sin \varepsilon_0 \cos(\varepsilon_0 + \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (10)$$

Как показал анализ исследований ведущих ученых (Горячкин В.П., Щучкин Н.В., Синеоков Г.Н., Ткаченко П.М., Хвыля К.С., Мильцев А.И., Покровский Г.И., Гаврилов Ф., Дмитриев А.М., Панов И.М., Князев А.А., Лобачевский Я.П. и др.) при увеличении ширины профиля заточки рабочего органа от нуля до значения, близкого к противоположной углу заточки ширине, и постоянной ширине рабочего органа и его профиля вертикальная сила $P_{\text{лз}}$ способствует заглублению пахотного агрегата, стабилизирует его движение как в горизонтальном,

так и в вертикальном направлении.

В процессе работы профиль режущего элемента изнашивается и приобретает параболическую форму (рис. 2). При этом процесс воздействия рабочего органа на почву значительно меняется, появляется дополнительная сила $P_{ЛЗ}$, которая пытается вытолкнуть рабочий орган вверх.

Графики зависимости сил от ширины заточки режущей кромки (рис. 3) получены теоретическим методом, для более достоверных результатов необходимы лабораторные исследования. Однако по данным ведущих ученых эти зависимости линейные и ограничены только несколькими факторами: мощностью энергетического средства, почвенными условиями и постоянно изменяющимися условиями заточки рабочего органа [8, 9].

Методика опыта предусматривала измерение только вертикальной составляющей давления пласта почвы на рабочий орган.

Боковые стойки, удерживающие нож, переме-

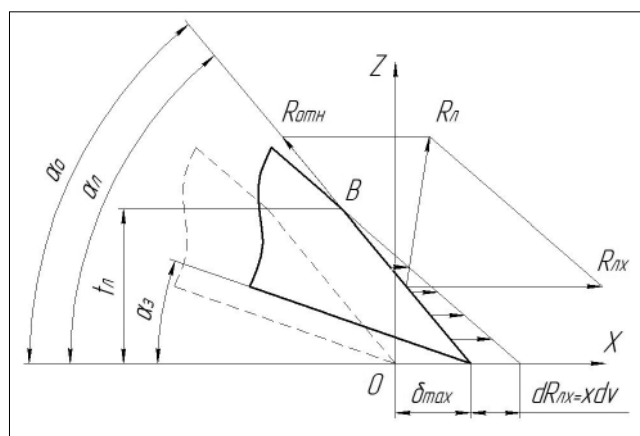


Рис. 2. Схема к определению сил, действующих на лезвие с предлагаемой формой заточки

Fig. 2. Diagram for calculating forces acting on the blade with the proposed sharpening shape

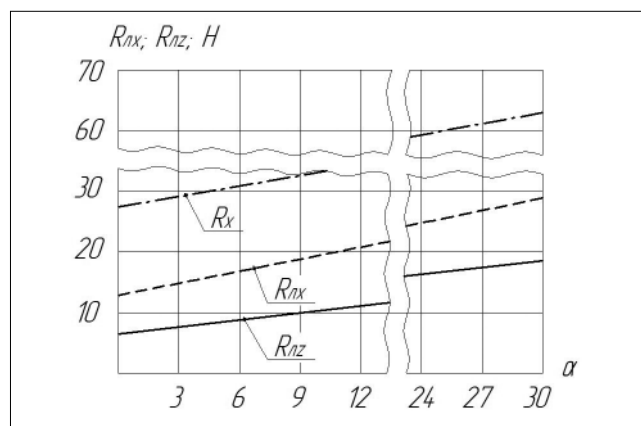


Рис. 3. Изменение сил резания при различной ширине заточки режущей кромки

Fig. 3. Dependence of cutting forces on cutting edge sharpening width

щались по заранее подготовленным направляющим, что способствовало более точному изучению процесса движения рабочего органа в слое почвы. Тарировка датчиков давления проводилась с учетом массы слоя почвы. Полученные результаты с достаточной достоверностью могут служить оценкой сопротивления разрыву пласта. Результаты указывают на резкое уменьшение сопротивления разрыву даже при незначительном повышении относительной влажности (табл. 1).

Эти выводы в дальнейшем будут учтены при конструировании рабочего органа с меняющейся формой в зависимости от структуры механики почвы.

Механика почв изучает динамические воздействия машин и орудий на почву, а также взаимодействие между ними. Скорость обработки имеет прямую зависимость от формы рабочего органа [10].

За определенным пределом скорости силы сопротивления резко возрастают в результате увеличения деформации и отбрасывания частиц почвы. Пропорционально скорости увеличивается концентрация напряжений, а при малой скорости напряжения распределяются по ширине захвата рабочего органа. Величина скорости, оптимальной для крошения почвенного слоя, является важным технологическим фактором. При значительной скорости начало деформации и скалывание почвы происходят у носка клина почвообрабатывающего орудия. При малой скорости напряжения распределяются, и скалывание не наблюдается. Обычно считают, что сопротивление скалыванию почвы при давлении до 0,2 МПа возрастает с увеличением содержания влаги до нижней границы пластичности и затем постепенно снижается до нуля в верхней границе [11, 12].

Процесс резания в зависимости от конструкций рабочих органов и расположения зоны резания относительно свободной поверхности обрабатываемого плодородного слоя почвы можно разделить на три вида:

- резание штампом (пуансоном) в сплошной среде по направлению от свободной поверхности в глубину;
- почва раздвигается в стороны и срезается по периметру, уплотняя стенки на величину обработки. Скалывание наблюдается лишь на свободной поверхности слоя в месте входа в него штампа;
- разрезание симметричным ножом сплошной среды слоя почвы [13, 14].

Почва нормальной влажности обычно скалывается в обозначенных условиях в сторону открытой стенки и при этом разрыхляется. Например, при обработке отвальным плугом, фрезой и т.п. Это наиболее распространенный тип резания, при котором возникают наименьшие сопротивления [15, 16].

В общем виде процесс резания представляет со-

бой движение клина в сплошной среде. Характер деформации почвы в значительной мере зависит от ее физико-механических свойств и состояния, в первую очередь влажности, пластичности, задержанности и неоднородности.

В момент внезапного приложения нагрузки в почве, обладающей свойствами упругости, создаются более высокие напряжения, чем при постепенной деформации. При прочих равных условиях сокращение интервалов между нагрузками должно в большей степени сказаться на сильно увлажненных почвах, чем на менее влажных. Основным же фактором, определяющим характер этих закономерностей и конечное состояние почвы, считают величину действующей нагрузки и скорость ее приложения [17].

При движении клина усилие резания существенно зависит от коэффициента трения почвы о материал рабочего органа и угла заточки ножа (рис. 4). При уменьшении угла до 15° сопротивление клина возрастает за счет увеличения горизонтальных составляющих сил трения. В рыхлой среде с большим коэффициентом трения оптимальный угол β будет больше, чем в связной, плотной глине с малым углом.

Рассматривая отношение площади сечения разрушения почвы к удельному сопротивлению резания, можно прийти к важному для практики выводу: при постоянной ширине b и толщине t ножа площадь разрушения (рыхления) с увеличением угла заточки растет быстрее, чем удельное сопротивление, т.е. почву лучше разрыхлять тупыми ножами ($\beta \geq 90^\circ$), а разрезать острыми ($\beta \leq 50^\circ$).

Очень важно положение режущей кромки ножа по отношению к свободной поверхности. При резании минеральных почв с положительным углом резания, как у отвального плуга, давление щек ножа направлено вверх, и почва скалывается в сторону открытой поверхности.

Например, в случае обработки суглинка с влажностью $W = 19,4\%$ и показаниями плотномера $C = 0,8$ МПа коэффициент трения почвы по металлу по результатам предшествующих исследований для этого типа почв при влажности $21,8\%$ варьировался в пределах $0,61-0,73$.

При решении вопроса о выборе типа ножа можно руководствоваться данными, полученными при исследовании дисковых или черенковых ножей. Так, удельное сопротивление на 1 см^2 проекции дискового ножа при работе в минеральных почвах на $35-60\%$ больше, чем черенкового ножа вследствие увеличения бокового трения. Однако абсолютное сопротивление дискового ножа плуга в $3-4$ раза меньше, чем черенкового, так как по условиям прочности толщина дискового ножа всего $4-6 \text{ мм}$ вместо $20-25 \text{ мм}$, как у черенкового. Сопротивление вращающегося диска на 34% меньше сопротивления закрепленного.

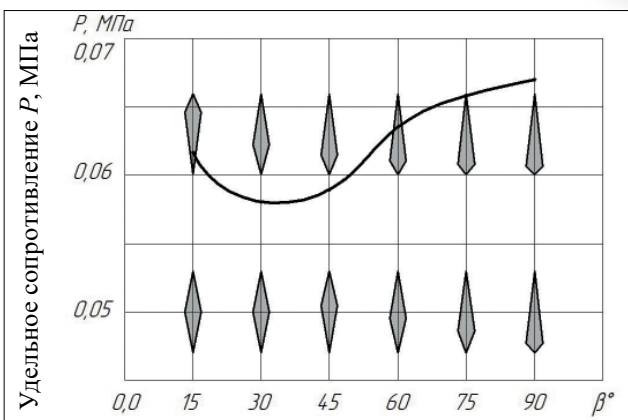


Рис. 4. Влияние угла заточки ножа на удельное сопротивление резанию ножами с ромбическим поперечным сечением

Fig. 4. Effect of the sharpening angle of the rhombic cross-section blades on specific cutting resistance

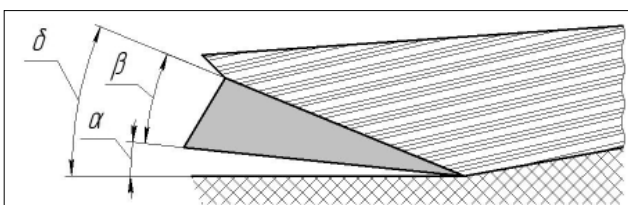


Рис. 5. Схема среза почвенного пласта

Fig. 5. Diagram of a soil layer cross-section

применяют ассиметричный нож с углом α зазора (задний угол) между поверхностью резания и задней щекой клина. Этот угол вместе с углом заточки β составляет угол резания δ в плоскости, перпендикулярной режущей кромке, т.е. $\alpha + \beta = \delta$ (рис. 5).

При $\alpha = 0$ происходит бесполезное трение поверхности рабочего органа о стенку борозды. Угол α не должен быть меньше $8-12^\circ$, так как вследствие упругости слоя почвы он, возвращаясь назад, после прохода режущей кромки задевает за кромку (при $\alpha = 2-3^\circ$).

Самым распространенным является отрезание почвенного слоя ассиметричным горизонтальным ножом (рабочий орган фрезы, плуг, культиватор, и т.д.). В этом случае кроме угла заточки β , заднего угла α и угла резания δ имеет значение еще угол режущей кромки с линией движения γ , наблюдаемый в плане.

Самый трудный способ резания (рис. 6а) по трем плоскостям борозды. Менее трудным является отрезание по двум плоскостям (рис. 6б, работа плуга, отвальная пахота), самый легкий – срезание гребней (рис. 6в). Работа бокового скалывания слоя увеличивается по мере увеличения глубины резания, но не зависит от ширины захвата ножа b .

Если принять сопротивление резанию при нарезке борозды равным 1, то коэффициент $K_{\text{бор}}$

Таблица				Table			
УСИЛИЕ РЕЗАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ОТРЕЗАНИЯ ПОЧВЕННОГО СЛОЯ И ШИРИНЫ ЗАХВАТА НОЖА DEPENDENCE OF CUTTING FORCE ON THE SOIL LAYER CUTTING METHOD AND BLADE CUTTING WIDTH							
Способ отреза- ния почвенно- го слоя	Ширина захвата ножа, см						
	22		39		90		150
	$P_{\text{кг}}$	$K_{\text{бор}}$	$P_{\text{кг}}$	$K_{\text{бор}}$	$P_{\text{кг}}$	$K_{\text{бор}}$	$K_{\text{бор}}$
Нарезка канавы	300	1	32,5	1	530	1	1
Вспашка	190	0,64	270	0.74	480	0.91	0,92
Срезка гребней	110	0,37	190	0,53	420	0,80	0,84
$P_{\text{кг}}$ – усилие резания при $h = 7,5$ см и 15 см. $K_{\text{бор}}$ – коэффициент борозды / $P_{\text{кг}}$ – cutting force at $h = 7,5$ см и 15 см. $K_{\text{бор}}$ – furrow coefficient							

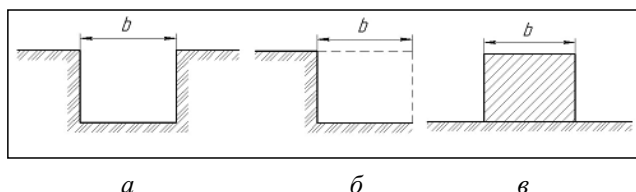


Рис. 6. Схемы резания пласта почвы (b – ширина захвата ножа)

Fig. 6. Diagrams of soil layer cutting (b – blade cutting width)

характеризует сопротивление в зависимости от числа плоскостей резания, его значения приведены в таблице.

Оптимальная глубины резания для плуга по формуле Ю.А. Ветрова для тяжелого суглинка при $b = 30$ см:

$$h_{\text{опт}} = 0,014 \cdot b^{2,22} = 0,014 \cdot 302,22 = 26 \text{ см.}$$

Опытные данные позволяют сделать вывод, что для ножей с большой шириной захвата выгоднее увеличивать глубину резания, так как удельное сопротивление резанию при этом уменьшается. Для узких (коротких) горизонтальных ножей, наоборот, выгоднее глубину уменьшать.

Угол режущей кромки с направлением движения γ (угол в плане) определяет способ резания со скольжением ($\gamma \leq 90 - \varphi$, где φ – угол трения); без скольжения ($\varphi + \gamma = 90^\circ$). По данным А.Н. Зеленина [18, 19] косое резание ($\varphi = 30-60^\circ$ отвальный плуг) на 10-15% легче лобового.

На основании результатов наблюдений для фрезы длину зубьев следует задавать приблизительно равной расстоянию между зубьями, так как угол скалывания колеблется около 40. При срезании рабочим органом с зубьями часть почвы режется зубьями (для пяти зубьев 1/3 часть), а остальная скалывается [20].

Поскольку скалывание разделяет частицы почвы по плоскостям наименьшего сопротивления, сопротивление при скалывании меньше, чем при резании. Это подтверждает данные опытов, когда лапы куль-

тиватора были расставлены друг от друга на 10 см (по оси) и резание производилось со скоростью $v = 4,5-5$ м/с на среднем суглинке с влажностью $W = 18\%$ и сопротивлением вдавлению $c = 0,8$ МПа [1].

Соотношение затрат энергии и ширины лапки культиватора

Ширина лапки культиватора b_3 , см	3	7	10
Затраты энергии, %	100	129	143

Выводы. Поскольку одним скалыванием отделить слой почвенного пласта нельзя, а на сельскохозяйственных полях фракционный состав по агротехническим требованиям должен иметь размер, равный 1/5 периметра отделенного слоя почвы, что соответствует поверхности резания и 4/5 скалывания, то экономия энергии составит порядка 40%. В этом заключается роль зубьев на рабочих органах, взаимодействующих с почвой. При малых скоростях (1 м/с) действие зуба уменьшается и следует брать 1/4 периметра на резание и 3/4 на скалывание.

Анализируя данные работ Ю.А. Ветрова и проводя обработку результатов полученных исследований, можно сделать заключение, что при ширине зуба 5 см и длине 7 см наименьшее сопротивление на тяжелом суглинке будет получено при отношении ширины зуба к расстоянию между зубьями $L_3 = b_3/l_2 = 2-3,5$.

На глинистых, пластичных, залипающих почвах действие зуба должно ограничиваться его шириной, при этом зуб будет хуже очищается.

В результате проделанной работы определена проблема обработки почвы и рабочими плоскорежущими органами с возможностью совершенствования их режущей кромки рабочими органами зубового типа. По методу экспертных оценок установлено, что для рабочего органа длину зубьев следует задавать приблизительно равной расстоянию между зубьями. Также определена важность заточки и технического состояния рабочих органов на производительность всего агрегата в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Пархоменко Г.Г., Подлесный Д.С., Камбулов С.И., Божко И.В. Сравнительный анализ вариантов рабочего органа парового культиватора по качественным показателям // *Таврический вестник аграрной науки*. 2024. N1(37). С. 136-148. DOI: 10.5281/zenodo.10930800.
- Трубилин Е.И., Белоусов С.В., Лепшина А.И. Основ-

- ная обработка почвы с оборотом пласта в современных условиях работы и устройства для ее осуществления // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2014. N104. С. 1902-1922. EDN: TFWSLT.
3. Parkhomenko G.G., Kambulov S.I., Pakhomov V.I. Calculation of parameters of the cultivator's working body based on bionic shaping. *Agricultural Cyber-Physical Systems*. 2024. 733-1. 1071-1078. DOI: 10.1007/978-3-031-37978-9_103.
 4. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П. и др. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012. N3. С. 5-7. EDN: PATNMP.
 5. Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии и техника нового поколения для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2017. N7. С. 2-6. EDN: ZBMSL.
 6. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Технологии и технические средства для восстановления и реабилитации неиспользуемых и деградированных сельхозугодий // *Техника и оборудование для села*. 2010. N2. С. 12-14. EDN: KZWFSJ.
 7. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Мазитов Н.К. Почвообрабатывающая техника: пути импортозамещения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N2. С. 37-42. DOI: 10.22314/2073-75992017.2.3741.
 8. Гудков С.В., Саримов Р.М., Асташев М.Е. и др. Современные физические методы и технологии в сельском хозяйстве // *Успехи физических наук*. 2024. Т. 194. N2. С. 208-226. DOI: 10.3367/UFNr.2023.09.039577.
 9. Белоусов С.В., Лепшина А.И., Трубилин М.Е. Лемешный плуг для обработки почвы с оборотом пласта // *Сельский механизатор*. 2015. N3. С. 6-7. EDN: TUHAJJ.
 10. Белоусов С.В., Камбулов С.И., Рыков В.Б., Туровский Б.В. Кинематика ротационных почвообрабатывающих машин // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2023. N1(69). С. 509-519. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-56.
 11. Пархоменко Г.Г., Камбулов С.И., Белоусов С.В. Методика определения критериев подбора для рабочих органов глубоких рыхлителей // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2023. N1(69). С. 556-563. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-61.
 12. Жалнин А.А., Чаткин М.Н., Федоров С.Е. и др. Оценка уплотняющего воздействия катка на почву комбинированного культиватора // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024. N2. С. 44-51. DOI: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-44-51.
 13. Лачуга Ю.Ф., Месхи Б.Ч., Пахомов В.И. и др. Исследование по возделыванию трититригии в полужасушливой зоне // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N3. С. 34-42. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-34-42.
 14. Borisenko I., Meznikova M. Strip tillage as an implementation of resource-saving approaches in areas of risky agriculture. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 398. 01023. DOI: 10.1051/e3sconf/202339801023.
 15. Mudarisov S.G., Lobachevsky Ya.P., Farkhutdinov I.M. et al. Justification of the soil dem-model parameters for predicting the plow body resistance forces during plowing. *Journal of Terramechanics*. 2023. Vol. 109. 37-44. DOI: 10.1016/j.jterra.2023.06.001.
 16. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Экологически безопасная эксплуатация технических средств в условиях физической деградации почвы // *Технический сервис машин*. 2019. N2(135). С. 40-46. EDN: WSZBHC.
 17. Helman D., Lensky I.M., Bonfil D.J. Early prediction of wheat grain yield production from root-zone soil water content at heading using Crop RS-Met. *Field Crops Research*. 2019. 232. 11-23. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.12.003.
 18. Burton G.J., Shend D.S., Cambell C. Bimodal pore size distribution of a high-plasticity compacted clay. *Geotechnique Letters*. 2014. 4. 2. 88-93. DOI: 10.1680/geolett.14.00003.
 19. Чаткин М.Н., Федоров С.Е., Бычков М.В. и др. Комбинированные культиваторы для дифференцированной обработки почвы в системе точного земледелия // *Сельский механизатор*. 2022. N12. С. 2-3. DOI: 10.47336/0131-7393-2022-12-2-3-14.
 20. Чаткин М.Н., Федоров С.Е., Бычков М.В., Жалнин А.А. Экспериментальное исследование рабочего органа глубоких рыхлителей // *Сельский механизатор*. 2022. N2. С. 12-14. EDN: FXEUJH.

REFERENCES

1. Parkhomenko G.G., Podlesny D.S., Kambulov S.I., Bozhko I.V. Comparative analysis of the working bodies of a field cultivator according to qualitative indicators. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2024. N1(37). 136-148 (In Russian). DOI: 10.5281/zenodo.10930800.
2. Trubilin E.I., Belousov S.V., Lepshina A.I. Basic soil cultivation with a turnover in the formation of modern working conditions and arrangements for its implementation. *Polythematic online scientific journal of Kuban state agrarian university*. 2024. N104. 1902-1922 (In Russian). EDN: TFWSLT.
3. Parkhomenko G.G., Kambulov S.I., Pakhomov V.I. Calculation of parameters of the cultivator's working body based on bionic shaping. *Agricultural Cyber-Physical Systems*. 2024. 733-1. 1071-1078 (In English). DOI: 10.1007/978-3-031-37978-9_103.
4. Izmailov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P. et al. Scientific principles of raising wear resistance in working organs of soil tillage machinery. *Vestnik of the Russian Agricultural Sciences*. 2012. N3. 5-7 (In Russian). EDN: PATNMP.

5. Izmailov A.Yu., Shogenov Yu.K. Intensive machine technologies and new generation machinery for manufacturing main groups of agricultural produce. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2017. N7. 2-6 (In Russian). EDN: ZBMMSL.
6. Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Sizov O.A. The technological and technique means for recreation and rehabilitation of idle and degraded agricultural lands. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2010. N2. 12-14 (In Russian). EDN: KZWFSJ.
7. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K. Soil-cultivating machinery: ways of import substitution. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017. N2. 37-42 (In Russian). DOI: 10.22314/207375992017.2.3741.
8. Gudkov S.V., Sarimov R.M., Astashev M.E. et al. Modern physical methods and technologies in agriculture. *Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)*. 2024. Vol. 194. N2. 208-226 (In Russian). DOI: 10.3367/UF-Nr.2023. 09.039577.
9. Belousov S.V., Lepshina A.I., Trubilin M.E. Moldboard plow for full inversion tillage. *Selskiy Mechanizator*. 2015. N3. 6-7 (In Russian). EDN: TUHAJJ.
10. Belousov S.V., Kambulov S.I., Rykov V.B., Turovsky B.V. Kinematics of rotary tillage machines. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2023. N1(69). 509-519 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-56.
11. Parhomenko G.G., Kambulov S.I., Belousov S.V. Methodology for determining the similarity criteria for the parts of a deep - miner. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2023. N1(69). pp. 556-563 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-61.
12. Zhalnin A.A., Chatkin M.N., Fedorov S.E. et al. Assessment of the compacting effect of the roller on the soil of a combined cultivator. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2024. N2. 44-51 (In Russian). DOI: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-44-51.
13. Lachuga Yu.F., Meskhi B.Ch., Pakhomov V.I. et al. Investigating tritritrigia cultivation in a semi-arid zone. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N3. 34-42 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-34-42.
14. Borisenko I., Meznikova M. Strip tillage as an implementation of resource-saving approaches in areas of risky agriculture. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 398. 01023 (In English). DOI: 10.1051/e3sconf/202339801023.
15. Mudarisov S.G., Lobachevsky Ya.P., Farkhutdinov I.M. et al. Justification of the soil dem-model parameters for predicting the plow body resistance forces during plowing. *Journal of Terramechanics*. 2023. Vol. 109. 37-44 (In English). DOI: 10.1016/j.jterra.2023.06.001.
16. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Ecologically safe operation of technical facilities in conditions of physical degradation of soil. *Machinery Technical Service*. 2019. N2(135). 40-46 (In Russian). EDN: WSZBHC.
17. Helman D., Lensky I.M., Bonfil D.J. Early prediction of wheat grain yield production from root-zone soil water content at heading using Crop RS-Met. *Field Crops Research*. 2019. 232. 11-23 (In English). DOI: 10.1016/j.fcr.2018.12.003.
18. Burton G.J., Shend D.S., Cambell C. Bimodal pore size distribution of a high-plasticity compacted clay. *Géotechnique Letters*. 2014. 4. 2. 88-93 (In English). DOI: 10.1680/geolett.14.00003.
19. Chatkin M.N., Fedorov S.E., Bychkov M.V. et al. Combined cultivators for differentiated tillage in precision farming system. *Selskiy Mechanizator*. 2022. N12. 2-3 (In Russian). DOI: 10.47336/0131-7393-2022-12-2-3-14.
20. Chatkin M.N., Fedorov S.E., Bychkov M.V., Zhalnin A.A. Experimental study of the working organ of a deep-loader. *Selskiy Mechanizator*. 2022. N2. 12-14 (In Russian). EDN: FXEJUH.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Рыков В.Б. – научное руководство;
Камбулов С.И. – постановка задачи исследования;
Туровский Б.В. – разработка методики инженерного расчета работы рабочего органа;
Белузов С.В. – обзор и анализ направлений развития конструкции почвообрабатывающих рабочих органов, оценка достоверности полученных результатов обработка результатов, построение схем и чертежей в программе Компас, литературный анализ, доработка текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Rykov V.B. – scientific supervision;
Kambulov S.I. – formulation of the research problem;
Turovsky B.V. – development of the engineering calculation methodology for the working body;
Belousov S.V. – review and analysis of the development trends in the design of soil-tillage tools, evaluation of the reliability of the obtained results, data processing, construction of diagrams and drawings in the Compass program, literature review, and text refinement.

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

03.12.2024

31.01.2025