

УДК 631.316.022.4

DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-241-255

С. И. Камбулов, О. С. Бабенко

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону,
Российская Федерация

И. В. Божко

Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Российская Федерация

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС РЫХЛЕНИЯ ПОЧВЫ ПЛОСКОРЕЖУЩЕЙ ЛАПОЙ И СТОЙКОЙ

Цель: изучение технологического процесса рыхления почвы плоскорежущей лапой и стойкой. **Материалы и методы:** в исследовании применены методы анализа силового воздействия на стойку, а также теоретические положения гипотез прочности. В качестве объекта исследований были рассмотрены рабочие органы орудий с горизонтальной режущей кромкой, а именно плоскорежущие лапы, которые применяются для сплошной обработки почвы. **Результаты:** в результате исследований установлено, что к основным параметрам плоскорежущих лап относятся: ширина захвата B_i , угол раствора 2γ , угол крошения β^0 , угол заострения i^0 , ширина крыльев b , определяющие форму лап и характер воздействия на почву. При рассмотрении схемы расположения зон деформации почвы, т. е. одновременного совместного воздействия стойки и лемехов горизонтальной лапы, установлено, что зоны получения мелких фракций почвы увеличиваются, а уменьшение толщины t стойки и ширины захвата лемеха B влияет на величину крошения. Это в свою очередь позволяет регулировать зоны получения мелких фракций почвы и определять оптимальный состав ширины захвата лап и толщины стойки для лучшего крошения. **Выводы:** по итогам исследований установлено, что обобщенный оценочный показатель (W) вариантов для глубокой обработки почвы колеблется от 0,82 до 0,84, для мелкого рыхления от 0,84 до 0,87, а для поверхностной мелкой обработки от 0,845 до 0,870. Для рыхления почвы с перемешиванием пожнивных остатков с частицами почвы приемлем вариант $W = 0,84$ с вертикальной стойкой $t = 2,0$ см и шириной захвата лапы, равной 42,0 см. Для поверхностной и предпосевной обработки наиболее подходят варианты $W_X = 0,87$ и $W_{XI} = 0,85$, позволяющие вести обработку почвы на глубину 6–10 см.

Ключевые слова: рыхление почвы; плоскорежущая лапа; стойка; технологический процесс; аналитический метод.

S. I. Kambulov, O. S. Babenko

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

I. V. Bozhko

Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Russian Federation

TECHNOLOGICAL PROCESS OF SOIL LOOSENING BY FLAT CUTTING BLADE AND TINE

Purpose: to study the technological process of loosening the soil with a flat-cutting blade and a tine. **Materials and methods:** the methods of analyzing the power impact on the tine, as well as the theoretical provisions of failure hypotheses are used. As an object of research, the working bodies of tools with a horizontal cutting edge were considered, namely,



flat-cutting blades which are used for overall tillage. **Results:** as a result of studies it was found that the main parameters of flat-cutting blades include: operating width B_i , opening angle 2γ , crumbling angle β^0 , edge angle i^0 , band width b , which determine the blades shape and the nature of the impact on the soil. When considering the layout of the soil deformation zones, i. e., the simultaneous combined effect of the tine and plowshares of the horizontal blade, it was found that the zones for obtaining fine soil fractions increase, and a decrease in the thickness t of tine and the operating width of the share B affects the crumbling value. This, in turn, allows regulating the zones for obtaining fine soil fractions and determining the optimal composition of blade width and tine thickness for better crumbling. **Conclusions:** according to the research results, it was found that the generalized estimated indicator (W) of options for deep tillage ranges from 0.82 to 0.84, for shallow loosening from 0.84 to 0.87, and for surface shallow tillage from 0.845 to 0.870. For loosening soil with mixing crop residues with soil particles, the option $W = 0.84$ with a vertical tine $t = 2.0$ cm and a blade operating width of 42.0 cm is acceptable. For surface and presowing tillage, the most suitable options are $W_X = 0.87$ and $W_{XI} = 0.85$, allowing carrying tillage to a depth of 6–10 cm.

Key words: soil loosening; flat-cutting blade; tine; technological process; analytical method.

Введение. В настоящее время в вопросе рыхления почвы проведено множество исследований. Технологический процесс рыхления обеспечивается культиваторами, в т. ч. оснащенными плоскорезными лапами. Рыхление поверхности почвы такими рабочими органами осуществляется на глубину до 12 см для мелкой обработки почвы и до 25 см для глубокого рыхления, при этом осуществляется уничтожение сорной растительности.

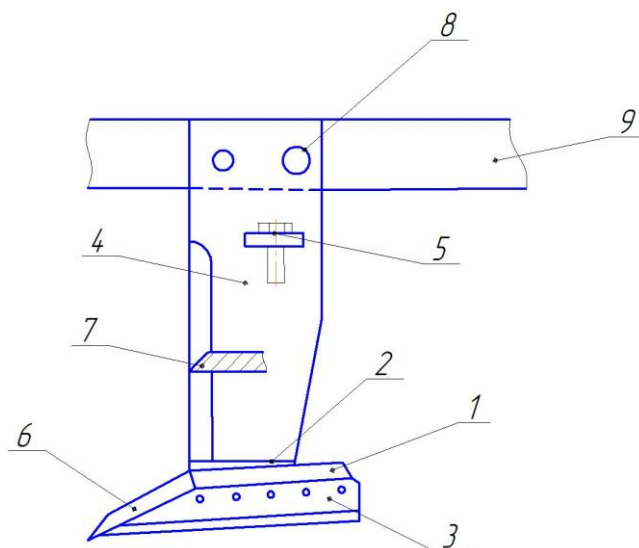
К культивации предъявляются следующие основные агротехнические требования: рыхление почвы должно происходить без выноса влажных слоев на поверхность, без уплотнения частиц почвы и их распыления; поверхность поля должна быть ровной, без образования гребней и борозд, при сплошной обработке почвы; плоскорезные лапы культиваторов должны уничтожать не менее 98–99 % сорной растительности; отклонение от заданной глубины рыхления допускается не более ± 1 см [1, 2].

Решением основной задачи получения качественного рыхления почвы является оптимальный выбор комбинации параметров стойки с плоскорезной лапой.

Целью настоящей работы является изучение технологического процесса рыхления почвы плоскорезной лапой и стойкой с выбором оптимальной комбинации их параметров.

Материалы и методы. Исследования основаны на аналитических методах анализа силового воздействия на стойку и плоскорежущую лапу, а также на теоретических положениях гипотез прочности.

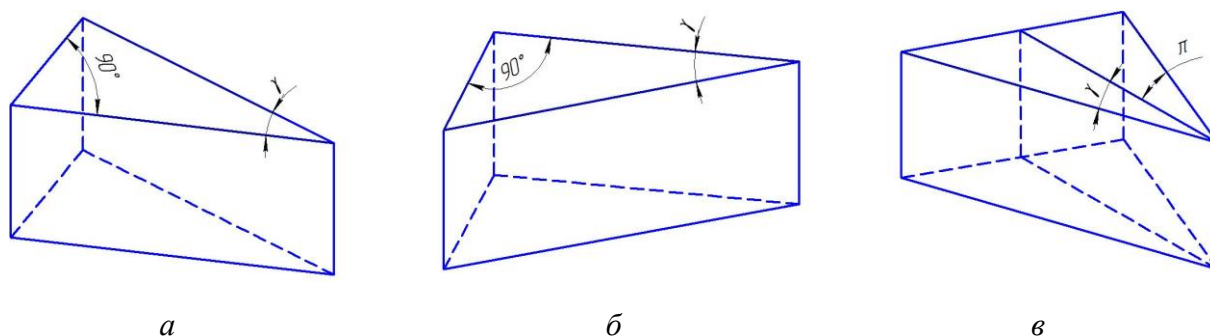
Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлено конструктивное исполнение узкозахватной плоскорежущей лапы с вертикальной стойкой.



1 – плоскорежущая лапа; 2 – подлапник; 3 – лемех; 4 – стойка;
5 – регулировочный болт; 6 – долото, установленное на лемех;
7 – односторонняя заточка стойки, вертикально расположенной
к горизонту; 8 – отверстие продолговатое; 9 – несущая система

Рисунок 1 – Конструктивное исполнение узкозахватной плоскорежущей лапы с вертикальной стойкой

Сечение стоек плоскорежущей лапы с односторонней (а, б), двухсторонней (в) заточками представлено на рисунке 2.



а – стойка левосторонней заточки; б – стойка с правосторонней заточкой; в – двухсторонняя заточка стойки

Рисунок 2 – Схема расположения клина в зависимости от заточки стойки

В зависимости от их расположения относительно линии движения стойки работают в почвенной среде как двухгранный или трехгранный клин. При установке вертикально к опорной плоскости несущей системы стойка действует на почву как двухгранный клин рабочей поверхностью в продольно-вертикальной плоскости с углом γ в горизонтальной плоскости [3, 4].

При движении в почве стойка передней кромкой разрезает, а боковыми гранями раздвигает почву, сжимает и несколько перемещает ее частицы [5]. При этом от трения частиц почвы или от ударного действия стойки происходит разрыхление почвы, т. е. измельчение ее. Характер воздействия стойки на почву зависит от величины угла γ и скорости движения стойки V .

На частицу почвы действует нормальная сила давления R и силы трения частицы с поверхностью стойки [6] (рисунок 3).

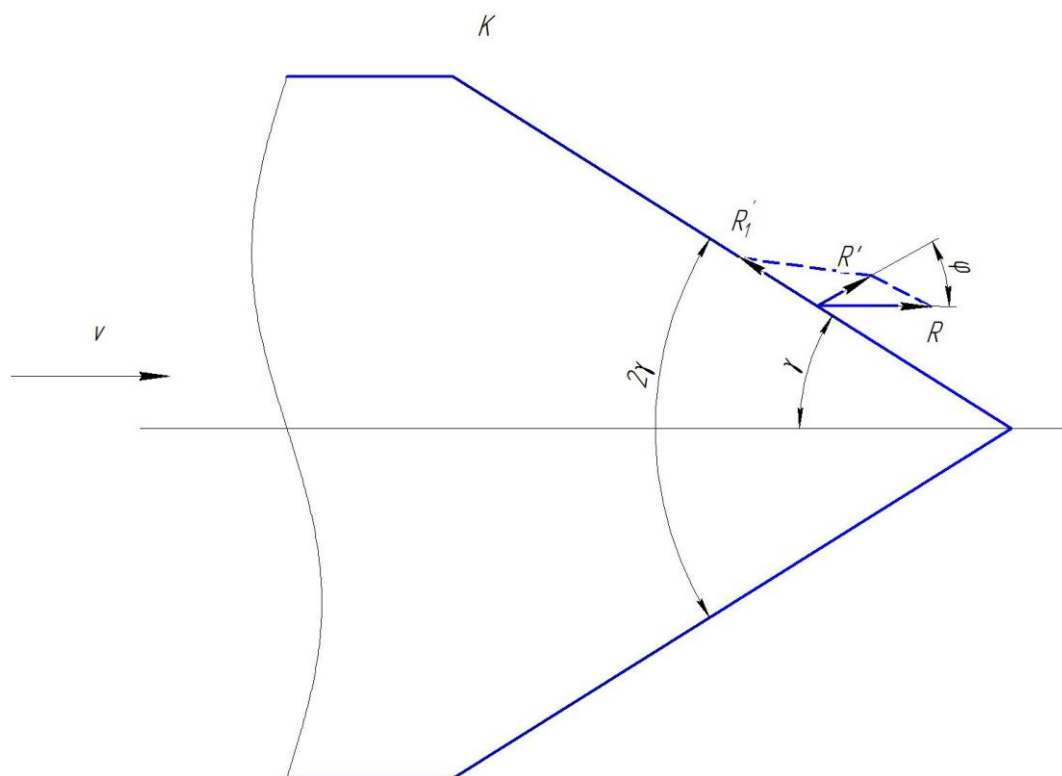
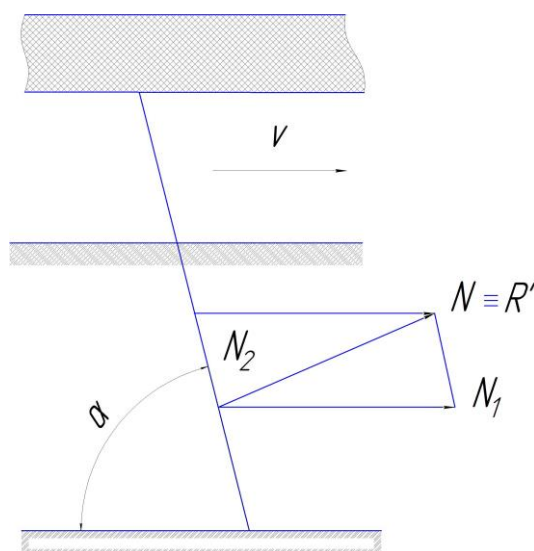


Рисунок 3 – Силы, действующие на стойки с двухсторонней заточкой

Результирующую этих сил R' можно разложить по направлению движения V стойки (рисунок 4) и по направлению боковой грани стойки R'_1 .



V – направление движения; N – нормальная сила; α – угол наклона стойки к горизонту; N_2 и N_1 – составляющие нормальной силы

Рисунок 4 – Схема сил, действующих на стойку в вертикально-продольной плоскости

Получим $R'_1 = R' \frac{\cos(\gamma + \varphi)}{\sin \gamma}$, но $R' = \frac{R}{\cos \varphi}$, где φ – угол трения,

град, следовательно:

$$R'_1 = R \frac{\cos(\gamma + \varphi)}{\cos \varphi \sin \gamma}. \quad (1)$$

Как видно из формулы (1), при $\gamma = 90^\circ - \varphi$ слагающая $R'_1 = 0$, и только при $\gamma < 90^\circ - \varphi$ частицы почвы будут находиться под действием силы R'_1 , направленной по боковой грани стойки назад [7, 8]. Чем меньше угол 2γ , тем больше эта сила, поэтому увеличение угла γ затрудняет движение частиц почвы, в результате чего деформация почвы в поперечном направлении увеличивается, с боковых граней заточки стойки область деформации ограничивается плоскостями nm и mp (рисунок 5), составляющими с продольно-вертикальными плоскостями заточки угол $\equiv \gamma / 2$.

Величина γ зависит от почвенных условий (глубины обработки) и отчасти от величины и формы заточки и изменяется от 20 до 50° .

Таким образом, стойки рыхлят почву неравномерно по глубине и по ширине, т. е. по мере удаления от стойки величина деформации уменьшается.

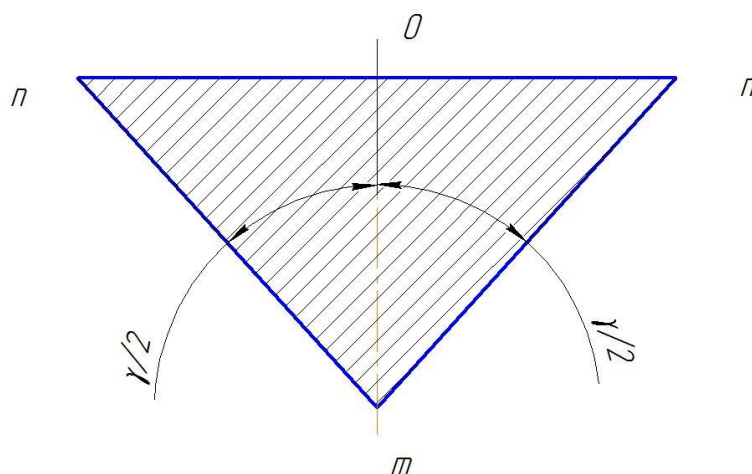


Рисунок 5 – Схема деформации почвы стойкой

Треугольное сечение деформации от стойки показывает, что при обработке почвы дно получается неровное [9].

Для получения ровного дна обработки существующие конструкции стоек вертикальных рыхлителей снабжены, как правило, горизонтальными ножами – лемехами (рисунок 6а, 6б) с различным углом раствора и шириной захвата. Например, ширина захвата плоскорезущих орудий у различных культиваторов колеблется: КПП-250 от 250 до 100 см, КПШ-9 до 100 см, КПС-10 до 40 см, АПК-4 до 42 см.

Рассмотрим подробно рабочие органы орудий с горизонтальной режущей кромкой, а именно лапы, которые применяются для сплошной обработки. К основным параметрам лап относятся следующие величины: ширина захвата B_i , угол раствора 2γ , угол крошения β^0 , угол заострения i^0 , ширина крыльев b , определяющие их форму и характер воздействия на почву [10, 11].

Представленные лапы с указанными параметрами применяются для рыхления почвы без оборота пласта. Угол раствора 2γ стрелчатой лапы обусловлен стремлением обеспечить хорошее подрезание сорняков и устранение обволакивания режущей кромки лапы рыхлительными остатками. Если лапа при движении в почве встречается со стеблем (см. рисунок 6б), то сопротивление K дает составляющую T , которая стремится

продвинуть стебель вдоль лезвия. Очевидно, что условием скольжения стебля вдоль кромки лезвия будет:

$$F = N \operatorname{tg} \varphi < T, \quad (2)$$

где φ – угол трения стебля о кромку лезвия, град.

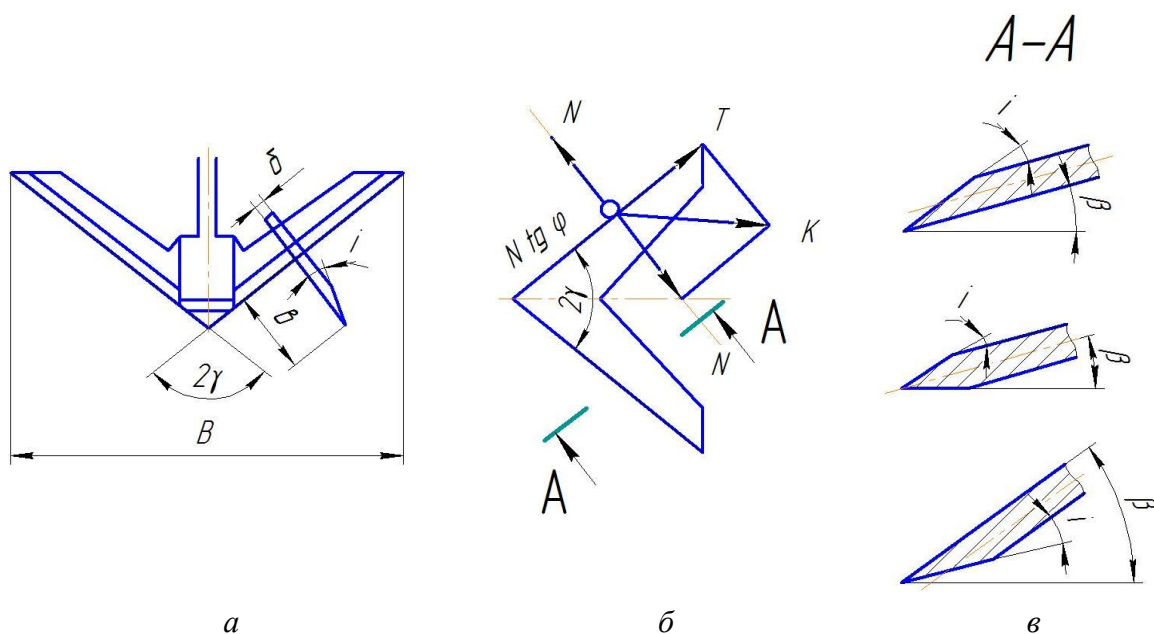


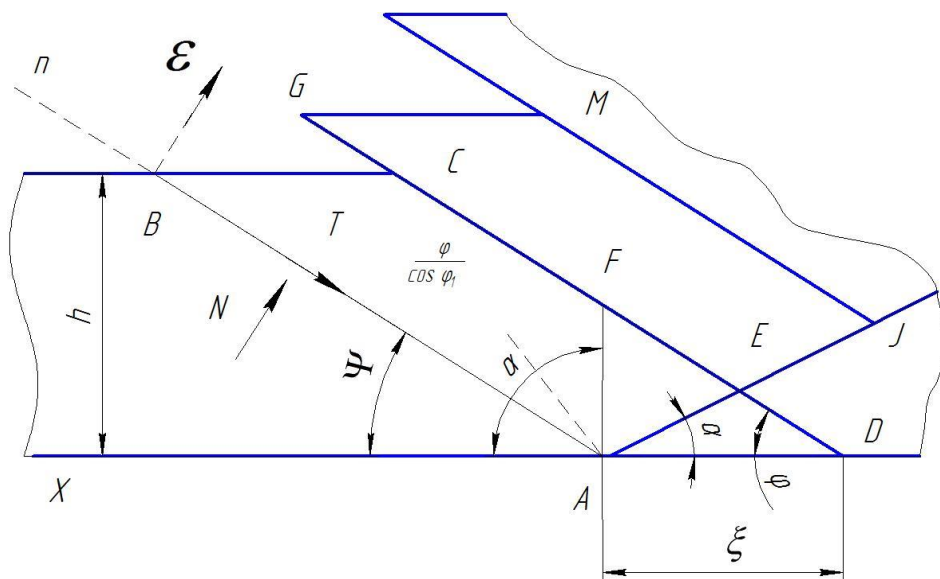
Рисунок 6 – Параметры лапы

Так как $N = R \sin \varphi$, а $T = -R \cos \gamma$, то неравенство (2) приводит к условию:

$$\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \gamma < 1, \quad \gamma < (90^\circ - \varphi).$$

Теперь рассмотрим вопрос получения оптимального фракционного состава почвы (до 50 мм), полученного при исследовании технологических процессов почвообработки. Для анализа этого процесса используются теоретические положения тех или иных гипотез прочности. Трудности в экспериментальное изучение данной проблемы вносит наличие в почве множества дефектов строения: пустот, трещин, твердых включений и пр. Своеобразный метод исследования технологического процесса лапы в виде плоского клина предложил Ю. Ф. Новиков. Рассматривая схему деформации почвы клином (рисунок 7), где пласт, по его предположению, толщиной h и шириной b разрушается по некоторой поверхности AB , наклонен-

ной под углом γ к оси x , получим хорошо известную систему сил, рассмотренную академиком В. П. Горячкиным.



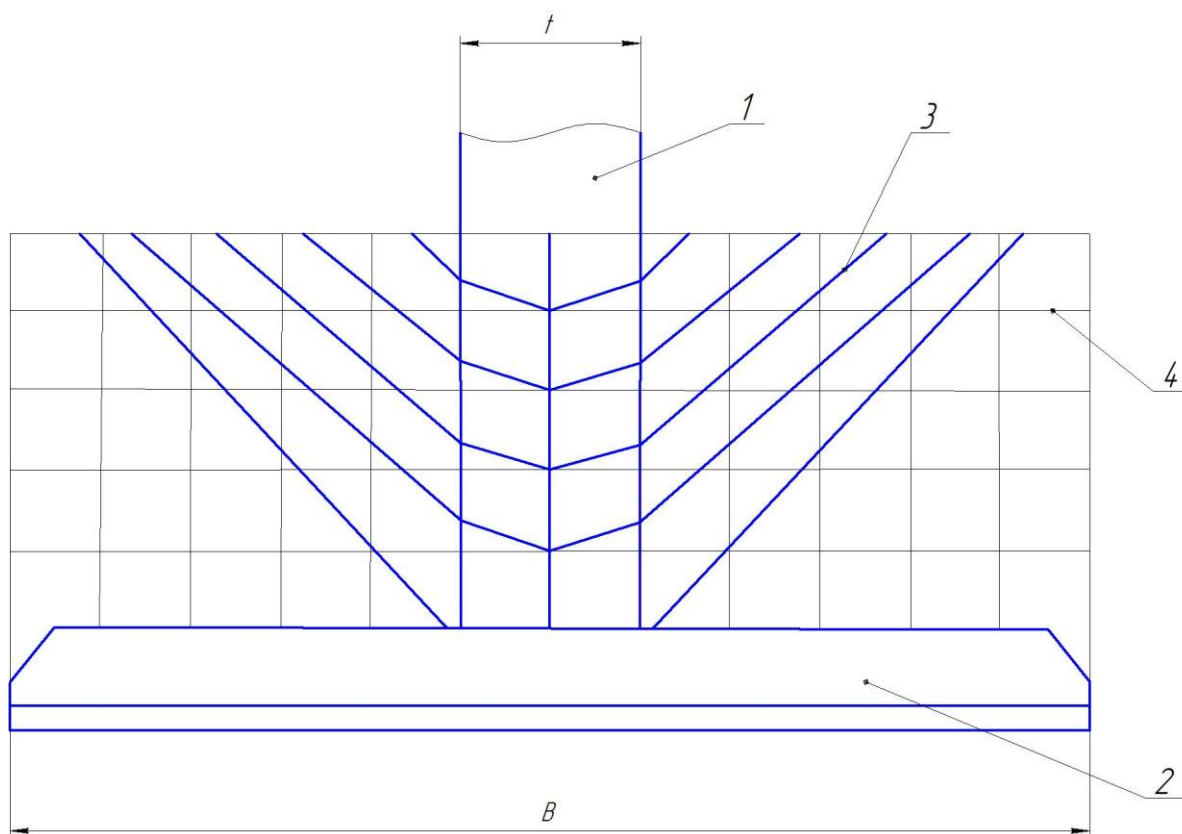
l – клин; h – размер пласта; AB – плоскость разрушения на крупные фракции $EGMJ$; AF – плоскость разрезанной почвы на мелкие фракции AFE ; ξ – размер основной напряженной зоны работы плоскорежущего клина; ψ – угол среза пласта почвы

Рисунок 7 – Технологическая схема работы горизонтального ножа в виде клина

Далее Ю. Ф. Новиковым рассмотрен вопрос о том, за счет каких напряжений происходит крошение пласта. Он установил, что после отделения от массива пласта, поступающего на клин, образуется элемент фракций почвы $EGMJ$ (см. рисунок 7), а вдоль плоскости EG и при последующем продвижении клина на величину E очередное разрушение почвы происходит не по длине плоскости AB , наклоненной к дну борозды под углом φ , а вдоль плоскости AF , положение которой характеризуется углом γ . Кроме того, Ю. Ф. Новиковым [12] установлен количественный показатель образования крупных и мелких фракций почвы. За период времени, характеризующий периодичность процесса $T = \frac{2\pi}{\omega_d}$, где ω_d – доминирующая частота процесса, произойдет по крайней мере 1–2 разрушения по плоскости AF . Таким образом, на один случай образования крупного блока почвы на поверхности AB приходится несколько случаев образования мелких фракций.

Эти положения необходимы для оценки работы лапы со стойкой, расположенной над горизонтальным плоскорезным прямым клином, с учетом количественного увеличения фракций почвы мелкого размера. При рассмотрении стойки как клина, расположенного под прямым углом к горизонтальной лапе, возможно образование такого же количественного состава фракций почвы, что и в горизонтальной плоскости.

При рассмотрении схемы расположения зон деформации почвы, одновременного совместного воздействия стойки 1 (рисунок 8) и лемехов 2 горизонтальной лапы очевидно, что зоны получения мелких фракций почвы увеличиваются, а уменьшение толщины t стойки 1 и ширины захвата лемеха влияет на величину крошения. Это позволяет регулировать зоны получения мелких фракций почвы и определять оптимальный состав B лап и t стойки для лучшего крошения.



1 – стойка; 2 – лемех; 3 – зона деформации почвы от воздействия стойки;
4 – зона деформации почвы от воздействия лемехов

Рисунок 8 – Схема расположения зон деформации почвы при совместном воздействии стойки и горизонтальных лемехов лапы

Кроме того, имеются и другие варианты влияния на величину зон, получение мелких фракций почвы, что в дальнейшем позволит оптимизировать ширину B лапы и толщину t стойки.

Рассмотрим ряд этих вариантов и требований, выполнение которых позволяет осуществить более качественную подготовку и обработку почвы плоскорезущим рабочим органом. Например, подрезание сорняков $K_1 = 98 \%$, заделка стерни в слое разрыхленного слоя $K_2 = 60 \%$, наличие фракций почвы диаметром менее 1 мм в слое 1–5 см менее $K_3 = 5 \%$, распределение пожнивных остатков на поверхности не менее $K_4 = 40 \%$, отклонение глубины хода лемехов от средней $\pm K_5 = 8,3 \%$, гребнистость дна борозды $\pm K_6 = 0,7 \%$, неравномерность поверхности обработанного участка между соседними проходами менее $K_7 = 45 \%$, забываемость рабочих элементов плоскорезной лапы более $K_8 = 100$ м, легкость изменения режимов работ менее $K_9 = 5$ с, легкость перехода работы лап со стойки с поверхностной обработки на мелкую менее $K_{10} = 6$ с, формирование верхнего слоя почвы без увеличения его первоначальной плотности более $K_{11} = 0,7$ кг/см³, материалоемкость процесса обработки почвы с рыхлением без оборота пласта не более $K_{12} = 1,3$ кг/см.

Фактическое значение критерия K зависит от формы лапы и параметров стойки. При анализе технологических процессов в различных почвенных условиях, например в благоприятных для развития возделываемых культур, имеют место следующие показатели: оптимальная влажность почвы с наличием незначительной влажности и количеством пожнивных остатков.

При низкой влажности и высокой твердости почвы с наличием значительного количества пожнивных остатков фактическое значение критерия будет отличаться от требуемого. Объединить отдельные элементы технологических и конструктивных параметров, принятых вариантов сочетания работы стойки с плоскорезущей лапой – лемехом можно при помощи

матрицы, позволяющей сочетать различные параметры стойки с изменяющимися параметрами лап (таблица 1, варианты I–IX).

Таблица 1 – Варианты сочетания параметров плоскорезной лапы и вертикальной стойки

Обрабатываемый оценочный показатель	Вариант	Параметр $t \times B$, мм	Элемент		Основной показатель назначения
			Лапа	Стойка	
0,85	I	35 × 250	широкозахватная	вертикальная	Обработка почвы для защиты ее от ветровой эрозии
0,85	II	30 × 250			
0,84	III	35 × 110			
0,81	IV	30 × 110	лапа с долотом	вертикальная	Рыхление почвы без оборота пласта
0,84	V	25 × 90	узкозахватная	вертикальная	Рыхление, перемешивание пожнивных остатков
0,83	VI	30 × 90			
0,83	VII	20 × 420	узкозахватная	вертикальная	Рыхление почвы, перемешивание верхнего слоя с пожновым слоем
0,84	VIII	16 × 300	узкозахватная	вертикальная	Мульчирование верхнего слоя, рыхление
0,85	IX	16 × 280	стрельчатая	только вертикальная	Мелкая обработка предпосевная
0,83	X	40 × 280	стрельчатая	широкозахватная	Мелкая обработка при подготовке почвы под посев
0,84	XI	40 × 310	узкозахватная	широкая вертикальная	Поверхностная обработка
0,85	XII	25 × 410	узкозахватная	вертикальная	Мелкая поверхностная обработка почвы

Все варианты подвергаются оценке по критериям K_i . Здесь возникает многокритериальная задача, выраженная формулой:

$$W = \sum_i^n a_i [K_i], \quad [K_i] = \sum a_i \beta_i,$$

где W – обобщенный оценочный показатель;

n – число критериев, в нашем случае 12;

a_i – весовой коэффициент $\sum a_i \beta_i$;

K_i и $[K_i]$ – фактическое и требуемое значение критерия;

$K:[K_i]$ – коэффициент соответствия плоскорезного модуля частным требованиям.

Отношение β_i определяется расчетным путем для каждого варианта состояния параметров стойки и лемеха. Для определения критерия задаются не только параметры стойки (толщина t и ширина лемеха B), но и форма рабочей кромки, ширина лемеха и другие рабочие элементы, влияющие в итоге на числовые значения критериев, а также режимы работы. Обобщенные оценочные показатели для вариантов I–XII приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Обобщенные оценочные показатели

Вариант опыта	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Величина опытного показателя	0,835	0,84	0,84	0,82	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,87	0,85	0,845

Выводы. В результате исследований установлено, что обобщенный оценочный показатель W (таблица 2) вариантов I–VI для глубокой обработки почвы колеблется от 0,82 до 0,84, для мелкого рыхления от 0,84 до 0,87, а для поверхностной мелкой обработки от 0,845 до 0,870.

Таким образом, для конструкции лапы с долотом ($B = 110$ см с жесткой вертикальной стойкой, $t = 3,5$ см) для плоскорезных орудий подходит вариант III, который рыхлит почву без оборота пласта.

Для рыхления почвы с перемешиванием пожнивных остатков с частицами почвы приемлем вариант VII ($W = 0,84$) с вертикальной стойкой $t = 2,0$ см и шириной захвата лапы, равной 42,0 см.

Для поверхностной и предпосевной обработки выбираем варианты X ($W_X = 0,87$) и XI ($W_{XI} = 0,85$), позволяющие вести обработку почвы на глубину 6–10 см.

Список использованных источников

- 1 Абдулхаев, Х. Г. Обоснование параметров ножей выравнивателя-рыхлителя / Х. Г. Абдулхаев, М. М. Халилов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13, № 3. – С. 44–47. – DOI: 10.22314/2073-7599-201913-3-44-47.
- 2 Mamkagh, A. M. Effect of soil moisture, tillage speed, depth, ballast weight and, used implement on wheel slippage of the tractor: A review / A. M. Mamkagh // Asian Journal of Advances in Agricultural Research. – 2019. – 9(1). – P. 1–7. – DOI: 10.9734/AJAAR/2019/46706.
- 3 Влияние геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические и силовые характеристики / С. А. Сидоров, Я. П. Лобачевский,

Д. А. Миронов, А. С. Золотарев // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2020. – Т. 14, № 2. – С. 10–16. – DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-2-10-16.

4 Жук, А. Ф. Обеспеченность растениеводства почвообрабатывающей техникой: состояние и перспективы / А. Ф. Жук, Г. С. Юнусов, М. М. Ахмадеева // *Вестник Казанского ГАУ*. – 2018. – № 1(48). – С. 132–137. – DOI: 10.12737/article_5afc15a191d8c6.03289880.

5 Сыромятников, Ю. Н. Показатели качества работы почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины / Ю. Н. Сыромятников // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2018. – Т. 12, № 3. – С. 38–44. – DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44.

6 Результаты лабораторных исследований почворежущих рабочих органов / И. В. Лискин, Я. П. Лобачевский, Д. А. Миронов, С. А. Сидоров, А. И. Панов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2018. – Т. 12, № 4. – С. 41–47. – DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47.

7 Al-Suhaibani, S. A. Development and evaluation of tractors and tillage implements instrumentation system / S. A. Al-Suhaibani, A. A. Al-Janobi, Y. N. Al-Majhadi // *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2010. – Vol. 3, iss. 2. – P. 363–371. – DOI: 10.3844/ajeassp.2010.363.371.

8 A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements / M. Askari, M. H. Komarizade, A. M. Nikbakht, N. Nobakht, R. F. Teimourlou // *Research in Agricultural Engineering*. – 2011. – Vol. 57, iss. 4. – P. 128–136. – DOI: 10.17221/16/2011-RAE.

9 Impact of agricultural traffic and tillage technologies on the properties of soil / I. Tenu, P. Carlescu, P. Cojocariu, R. Rosca // *Resource Management for Sustainable Agriculture*. – 2012, Oct. – P. 263–296. – DOI: 10.5772/47746.

10 Rosa, U. A. Soil bin monorail for high-speed testing of narrow tillage tools / U. A. Rosa, D. Wulfsohn // *Biosystems Engineering*. – 2008. – Vol. 99, iss. 3. – P. 444–454. – DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2007.11.010.

11 Effect of different tillage practices on soil physical properties under wheat in semi-arid environment / M. Amin, M. J. Khan, M. T. Jan, M. U. Rehman, J. A. Tariq, M. Hanif, Z. Shah // *Soil and Environment*. – 2014, June. – Vol. 33, iss. 1. – P. 33–37.

12 Новиков, Ю. Ф. Методика корреляционного анализа процесса разрушения почвы под воздействием рабочих органов почвообрабатывающих машин / Ю. Ф. Новиков // *Методы исследований процессов механизации в сельском хозяйстве: сб. тр. / ВНИПТИМЭСХ*. – Ростов н/Д.: Рост. кн. изд-во, 1970. – Вып. 1. – С. 75–82.

References

1 Abdulkhaev Kh.G., Khalilov M.M., 2019. *Obosnovanie parametrov nozhey vyravnivatel'nykh-rykhlytel'nykh* [Determining the parameters of leveler-ripper shanks]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural Machines and Technologies], vol. 13, no. 3, pp. 44-47, DOI: 10.22314/2073-7599-201913-3-44-47. (In Russian).

2 Mamkagh A.M., 2019. Effect of soil moisture, tillage speed, depth, ballast weight and, used implement on wheel slippage of the tractor: A review. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, no. 9(1), pp. 1-7, DOI: 10.9734/AJAAR/2019/46706.

3 Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P., Mironov D.A., Zolotarev A.S., 2020. *Vliyaniye geometricheskikh i ustanovochnykh parametrov pluzhnykh rabochikh organov na agrotekhnicheskie i silovye kharakteristiki* [Influence of geometric and setup parameters of plow working bodies arrangement on agrotechnical and power characteristics]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural Machines and Technologies], vol. 14, no. 2, pp. 10-16, DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-2-10-16. (In Russian).

4 Zhuk A.F., Yunusov G.S., Akhmadeeva M.M., 2018. *Obespechennost' rastenievodstva*

*pochvoobrabatyvayushchey tekhniko*y: sostoyanie i perspektivy [Security of crop cultivation with tillage equipment: state and prospects]. *Vestnik Kazanskogo GAU* [Bulletin of Kazan GAU], no. 1(48), pp. 132-137, DOI: 10.12737/article_5afc15a191d8c6.03289880. (In Russian).

5 Syromyatnikov Yu.N., 2018. *Pokazateli kachestva raboty pochvoobrabatyvayushchey rykhritel'no-separiruyushchey mashiny* [Qualitative performance indicators of a ripping-separating machine]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural Machines and Technologies], vol. 12, no. 3, pp. 38-44, DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44. (In Russian).

6 Liskin I.V., Lobachevsky Ya.P., Mironov D.A., Sidorov S.A., Panov A.I., 2018. *Rezultaty laboratornykh issledovaniy pochvorezhushchikh rabochikh organov* [Results of laboratory studies of soil-cutting working bodies]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural Machines and Technologies], vol. 12, no. 4, pp. 41-47, DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47. (In Russian).

7 Al-Suhaibani S.A., Al-Janobi A.A., Al-Majhadi Y.N., 2010. Development and evaluation of tractors and tillage implements instrumentation system. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 3, iss. 2, pp. 363-371, DOI: 10.3844/ajeassp.2010.363.371.

8 Askari A.M., Komarizade M.H., Nikbakht A.M., Nobakht N., Teimourlou R.F., 2011. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements. *Research in Agricultural Engineering*, vol. 57, pp. 128-136, DOI: 10.17221/16/2011-RAE.

9 Tenu I., Carlescu P., Cojocariu P., Rosca R., 2012. Impact of agricultural traffic and tillage technologies on the properties of soil. *Resource Management for Sustainable Agriculture*, Oct., pp. 263-296, DOI: 10.5772/47746.

10 Rosap U.A., Wulfsohn D., 2008. Soil bin monorail for high-speed testing of narrow tillage tools. *Biosystems Engineering*, vol. 99, iss. 3, pp. 444-454, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2007.11.010.

11 Amin M., Khan M.J., Jan M.T., Rehman M.U., Tariq J.A., Hanif M., Shah Z., 2014. Effect of different tillage practices on soil physical properties under wheat in semi-arid environment. *Soil and Environment*, June, vol. 33, iss. 1, pp. 33-37.

12 Novikov Yu.F., 1970. *Metodika korrelyatsionnogo analiza protsessa razrusheniya pochvy pod vozdeystviem rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin* [Methods of correlation analysis of the process of soil destruction under the influence of working bodies of tillage machines]. *Metody issledovaniy protsessov mekhanizatsii v sel'skom khozyaystve: sb. tr.* [Methods of Research of Mechanization Processes in Agriculture: coll. of art.]. VNIPTIMESH, Rostov-on-Don, Rostov Publ., iss. 1, pp. 75-82. (In Russian).

Камбулов Сергей Иванович

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: профессор

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

Адрес организации: пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344000

E-mail: kambulov.s@mail.ru

Kambulov Sergey Ivanovich

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Professor

Affiliation: Don State Technical University

Affiliation address: sq. Gagarin, 1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344000

E-mail: kambulov.s@mail.ru

Бабенко Ольга Сергеевна

Должность: ассистент

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

Адрес организации: пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344000

E-mail: lelya.babenko.90@mail.ru

Babenko Olga Sergeyevna

Position: Assistant

Affiliation: Don State Technical University

Affiliation address: sq. Gagarin, 1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344000

E-mail: lelya.babenko.90@mail.ru

Божко Игорь Владимирович

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: младший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской»

Адрес организации: ул. им. Ленина, 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740

E-mail: i.v.bozhko@mail.ru

Bozhko Igor Vladimirovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Junior Researcher

Affiliation: Agricultural Research Center “Donskoy”

Affiliation address: st. Lenin, 14, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740

E-mail: i.v.bozhko@mail.ru

Поступила в редакцию 13.08.2020

После доработки 16.10.2020

Принята к публикации 23.10.2020