

Обоснование технологических параметров комбинированного лушильника

О. В. Лисунов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и технический сервис в АПК»

М. В. Богиня, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и технический сервис в АПК»

А. А. Васильев, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и технический сервис в АПК»

Н. М. Богиня, аспирант кафедры «Механизация и технический сервис в АПК»

ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»,

660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90

✉ ovn@kgau.ru

Резюме. Одним из основных факторов повышения продуктивности отрасли растениеводства является предпосевная обработка почвы, учитывающая зональные особенности и основывающаяся на использовании почвообрабатывающих машин с новыми рабочими органами. Анализ рабочего процесса современных сельскохозяйственных машин показал, что достижение оптимальных агротехнических показателей и высокой производительности при минимуме энергозатрат возможно при комбинировании рабочих органов дискового типа с плоскорежущими рабочими органами. Цель работы – повышение качества поверхностной обработки почвы путем установки на дисковый лушильник плоскорежущих лап. В результате проведения теоретических исследований установлены недостатки в функционировании рабочих органов дисковых лушильников и лаповых культиваторов, и рассчитаны их параметры и режимы совместной работы. Качество обработки почвы экспериментального орудия определяли в сравнении с серийными машинами – лушильником ЛДГ-5 и двумя культиваторами КПС-4 в сцепке с зубowymi бородами БЗСС-1,0 при осуществлении последовательных проходов. В ходе лабораторных и полевых исследований, проведенных в 2023 году на паровых полях ООО «Учхоз «Миндерлинское» Сухобузимского района Красноярского края, подтверждены полученные расчетные значения конструктивных и технологических параметров комбинированного почвообрабатывающего орудия. Оптимальными конструктивными параметрами рабочих органов являются: угол атаки дисков $\alpha = 20^\circ$, ширина крыла лапы $b = 18$ мм, угол крошения крыла лапы $\beta = 30^\circ$, угол скоса лезвия лапы $\gamma = 50^\circ$. Исследования экспериментального комбинированного агрегата с новой конфигурацией рабочих органов в полевых условиях показали, что по сравнению с эталонным агрегатом удельное тяговое сопротивление снижается на 25...30 % при одновременном улучшении агротехнических показателей почвообработки: гребнистость поверхности поля и дна борозды соответствует агротехнически допустимым нормам и составляет 0,5...1,5 см. Увеличение угла атаки дисков лушильника повышает гребнистость на всех скоростных режимах почвообработки.

Ключевые слова: почва, технология, параметр, диск, лапа, орудие.

Для цитирования: Обоснование технологических параметров комбинированного лушильника / О. В. Лисунов, М. В. Богиня, А. А. Васильев и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №1 (69). С. 179-185. doi:10.18286/1816-4501-2025-1-179-185

Justification of the technological parameters of the combined husker

O. V. Lisunov, M. V. Boginya, A. A. Vasiliev, N. M. Boginya

Krasnoyarsk State Agrarian University

660049, Krasnoyarsk, Ave Mira 90.

✉ ovn@kgau.ru

Abstract. One of the main factors in increasing the productivity of the crop industry is pre-sowing tillage, which takes into account zonal features and is based on the use of tillage machines with new working bodies. An analysis of the workflow of modern agricultural machines has shown that achieving optimal agrotechnical performance and high productivity with minimal energy consumption is possible by combining disc-type working bodies with flat-cutting working bodies. The purpose of the work is to improve the quality of surface tillage by installing flat-cutting paws on a disk peeling machine. As a result of theoretical studies, deficiencies in the functioning of the working bodies of disc peelers and paw cultivators have been identified, and their parameters and modes of joint operation have been calculated. The quality of tillage of the experimental implement was determined in comparison with serial LDG-5 husking machines and two KPS-4 cultivators coupled with BZSS-1,0 tooth harrows during sequential passes. In the course of laboratory and field studies conducted in 2023 on the steam fields of Uchkhoz Minderlinskoye LLC in the Sukhobuzimsky district of the

Krasnoyarsk Territory, the calculated values of the design and technological parameters of the combined tillage implement were confirmed. The optimal design parameters of the working bodies are: the angle of attack of the discs $\alpha = 20^\circ$, the width of the paw wing $b = 18 \text{ mm}$, the angle of crumbling of the paw wing $\beta = 30^\circ$, the angle of bevel of the paw blade $\gamma = 50^\circ$. Studies of an experimental combined unit with a new configuration of working bodies in the field have shown that, compared with the reference unit, the specific traction resistance decreases by 25...30% while improving the agrotechnical parameters of tillage: the ridge surface of the field and the bottom of the furrow corresponds to agrotechnically acceptable standards and is 0.5...1.5 cm. An increase in the angle of attack of the peeling discs increases the ridge at all high-speed tillage modes.

Keywords: soil, technology, parameter, disk, paw, implement.

For citation: Justification of the technological parameters of the combined husker / O. V. Lisunov, M. V. Boginya, A. A. Vasiliev, et al // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;1(69): 179-185 doi:10.18286/1816-4501-2025-1-179-185

Исследование и публикация статьи выполнены при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в ходе выполнения научных исследований по проекту «Разработка рабочих органов и узлов для посевного комплекса, адаптированного к природно-производственным условиям Красноярского края»

Введение

Современные почвообрабатывающие машины должны обеспечивать в полной мере выполнение требований качества подготовки почвы к посеву. Однако применяемые в настоящее время рабочие органы почвообрабатывающих машин имеют те или иные недостатки при создании наиболее благоприятных условий для прорастания и развития растений.

Для решения этой проблемы было предложено совместить работу полусферических дисковых рабочих органов и плоскорежущих односторонних лап, установленных на одном орудии, для получения ровного дна борозды и поверхности поля с малой гребнистостью [1].

Материалы и методы

Рассмотрение различных конструктивных схем сочетания рабочих органов сельскохозяйственных машин для обработки почвы позволило выбрать оптимальную комбинацию расстановки дисков и лап культиватора. Такое сочетание рабочих органов обеспечивает выровненное дно борозды путем подрезания почвенных гребней, образованных при проходе дисков (рис. 1) [2].

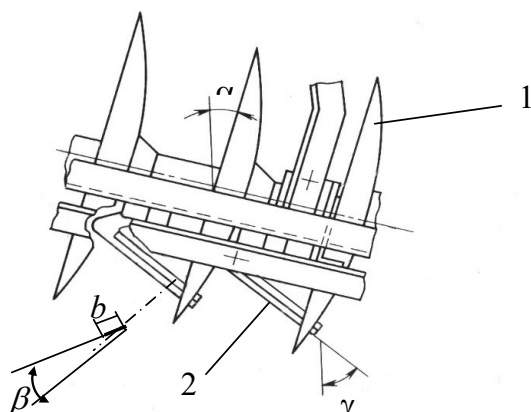


Рис. 1. Секция комбинированного почвообрабатывающего орудия:

1 – полусферические диски; 2 – односторонние плоскорежущие лапы

Подрезание междисковых гребней позволяет уменьшить угол атаки дисков с 35° до 20° и образование поверхностных неровностей (гребней и борозд). Уменьшение угла атаки также приводит к снижению тягового сопротивления и, соответственно, к повышению производительности [3].

Для определения затрат энергии на разрушение почвенного пласта, срезаемого дисковым рабочим органом, и гребня между двумя смежными дисками, который срезает плоскорежущая лапа, необходимо определить площадь сечения гребня [4].

При работе полусферических дисковых рабочих органов поперечное сечение борозды будет представлять собой эллипс, соответствующий контуру диска, установленного под определенным углом атаки на заданной глубине (рис. 2).

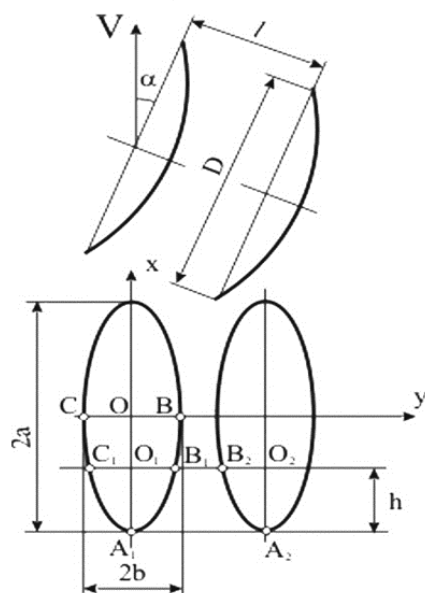


Рис. 2. Схема воздействия дисков на почву

Площадь поперечного сечения почвенного пласта, срезаемого дисками $F_{пл} = F_{C1A1B1}$, рассчитывается при условии, что глубина лущения почвы $h < R$, где R – радиус диска.

$$F_{пл} = \sin \alpha \left(\frac{\pi D^2}{8} - \frac{D^2}{4} \arcsin \frac{D-2h}{D} - \left(\frac{D}{2} - h \right) \sqrt{h(D-h)} \right). \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что площадь поперечного сечения почвенного пласта $F_{пл}$, подрезаемого дисковым рабочим органом, будет зависеть от установленного угла атаки дисков α , диаметра диска D и заданного условия $h \leq c$, где c – высота гребня, образованного после прохода смежных дисков.

Площадь гребня между дисками, установленными с расстоянием l , найдем по следующей формуле:

$$F_r = F_{A_1B_1B_2A_2} = F_{O_1A_1A_2O_2} - 2F_{O_1A_1B_1}, \quad (2)$$

где $F_{O_1A_1A_2O_2} = hl \cos \alpha$; $2F_{O_1A_1B_1} = F_{пл}$.

Раскрыв выражение (2), получим развернутую зависимость:

$$F_r = hl \cos \alpha - \sin \alpha \left(\frac{\pi D^2}{8} - \frac{D^2}{4} \arcsin \frac{D-2h}{D} - \left(\frac{D}{2} - h \right) \sqrt{h(D-h)} \right). \quad (3)$$

При работе дисковых орудий устанавливают угол атаки в пределах $\alpha = 25...35^\circ$. Глубина обработки h при этом составляет 0,08...0,12 м. При таких условиях высота c почвенного гребня, образованного между смежными дисками, будет меньше глубины h обработки почвы (рис. 3). Учитывая эти условия, площадь поперечного сечения почвенного пласта будет определяться выражением:

$$F_{пл}^1 = F_{O_1A_1KB_2} + F_{B_2A_2O_2} = F_{O_1A_1A_2O_2} - F_{A_1KA_2} \quad (4)$$

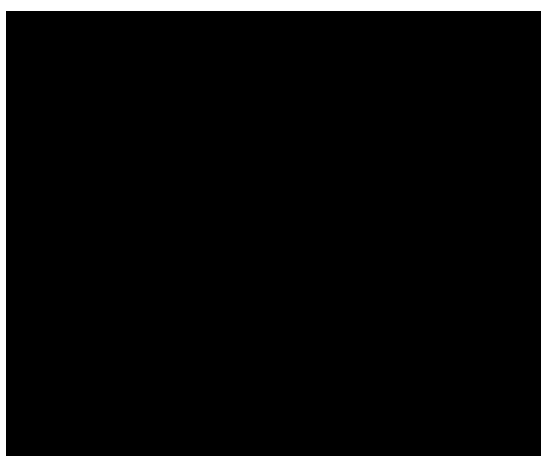


Рис. 3. Схема воздействия дисков лущильника на почву при условии, что $h > c$

С учетом конструктивных и технологических параметров дискового орудия площадь почвенного

гребня F_r^1 между смежными дисками определим по выражению (5).

$$F_r^1 = \frac{l \cos \alpha}{2} \left(D - \frac{\sqrt{D^2 - l^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}}{D} \right) - \frac{D^2}{4} \sin \alpha \left(\arcsin \frac{\sqrt{D^2 - l^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}}{D} - \frac{\pi}{2} \right). \quad (5)$$

Тогда площадь поперечного сечения пласта, срезаемого смежными дисками при условии, что $h > c$, определяется выражением (6):

$$F_{пл}^1 = hl \cos \alpha - \frac{l \cos \alpha}{2} \left(D - \frac{\sqrt{D^2 - l^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}}{D} \right) - \frac{D^2}{4} \sin \alpha \left(\arcsin \frac{\sqrt{D^2 - l^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}}{D} - \frac{\pi}{2} \right). \quad (6)$$

Подставив в уравнения (1) и (6) фактические значения диаметра D диска, угла атаки α , глубины обработки h и решив их, получим площадь поперечного сечения пласта, срезаемого смежными дисками. Полученные результаты представлены в виде графических зависимостей (рис.4).

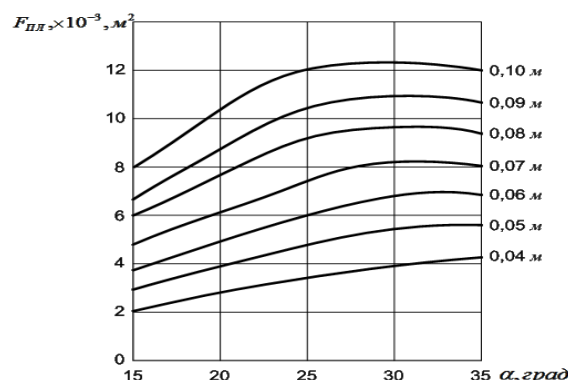


Рис. 4. Зависимость площади поперечного сечения почвенного пласта, срезаемого дисками, от угла атаки и глубины лущения

При анализе графиков изменения площади междискового пласта почвы установлено, что эта площадь увеличивается как от угла атаки, так и от глубины хода дисков.

Решив выражения (3) и (5), получим закономерности, отображенные на рисунке 5.

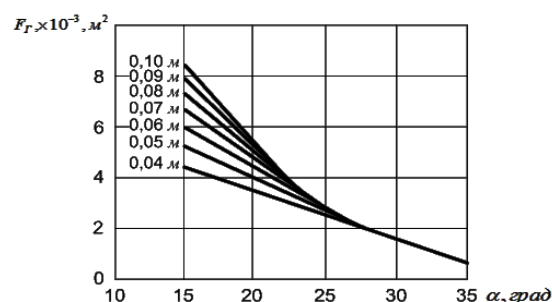
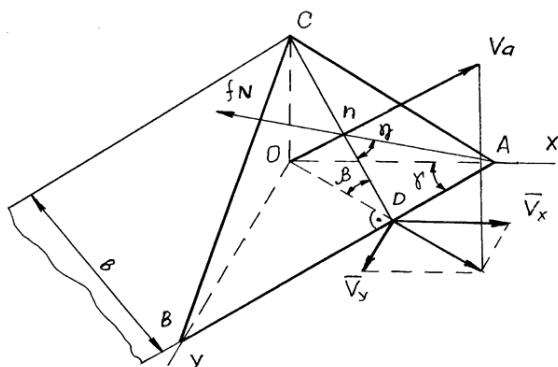


Рис. 5. Зависимость площади поперечного сечения междискового гребня от угла атаки и глубины лущения

Графические зависимости показывают, что значительное влияние на площадь поперечного сечения междискового гребня оказывают малые углы атаки и почти не оказывают большие. Таким образом, определив площадь междискового гребня, мы можем вычислить затраты энергии на его разрушение односторонней плоскорежущей лапой.

Обработанная комбинированным орудием почва должна иметь выравненную поверхность [5]. При работе с предлагаемой комбинацией рабочих органов между смежными дисками на поверхности почвы образуется борозда, тогда как по агротехническим требованиям высота гребней и глубина борозд не должна превышать 0,03 м. Для выравнивания поверхности поля необходимо, чтобы плоскорезающая лапа перемещала подрезанную ей почву в виде междискового гребня в сторону, противоположную перемещению почвы дисковыми рабочими органами. Причем объем смещенной почвы должен быть равен объему борозды [6]. Конструктивно данная задача решается установкой лапы в междисковое пространство.

Для определения объема отбрасываемой почвы рассмотрим процесс перемещения почвы как совокупность двух этапов – взаимодействия почвы с рабочей поверхностью лапы и перемещения ее в свободном полете (рис. 6).



**Рис. 6. Схема перемещения пласта почвы
трёхгранным клином**

Основными факторами, влияющими на объем отбрасываемой почвы, являются конструктивные параметры односторонней лапы [7].

Смещение почвы при нахождении ее на поверхности крыла

$$S_1 = \frac{b \sin^2 \beta \cos \gamma}{(\sin(\beta + \psi) \tan \psi)}, \quad (7)$$

где b – ширина крыла лапы, м; β – угол крошения, град; γ – угол скоса лезвия крыла лапы, град; φ – угол сдвига почвы, град.

$$\psi = \frac{90^\circ - (\beta + \phi + \phi^1)}{2},$$

где φ, φ^1 - углы трения почвы о клин и почвы о почву.

При отбрасывании лапой почвы она движется как брошенное под углом ψ к горизонту тело. Перемещение пласта почвы найдем по формуле:

$$S_2 = \frac{v^2 \sin^2 \beta \sin^2 \gamma \sin 2\psi \cos \gamma}{g \sin^2(\beta + \psi)}, \quad (8)$$

где V – поступательная скорость пласта почвы, м/с.

Суммарное перемещение почвы плоскорезу-
щей лапой

$$S_{обш} = \frac{b \sin^2 \beta \cos \gamma}{\sin(\beta+\psi) \tan \psi} + \frac{v^2 \sin^2 \beta \sin \gamma \sin 2\gamma \sin 2\psi}{2a \sin^2(\beta+\psi)}. \quad (9)$$

Анализ выражения (9) показывает, что на смещение почвы в сторону плоскорежущей лапой значительное влияние оказывает угол скоса лезвия лапы. Наибольший объем перемещаемой почвы достигается при угле γ в диапазоне $50...55^\circ$, а максимальное значение при $\gamma = 52^\circ$. Но при значениях угла скоса лезвия лапы больше 45° скорость перемещения почвы в направлении движения комбинированного лущильника становится больше скорости движения почвы в сторону. Такое изменение приводит к уменьшению дальности отбрасывания почвы в сторону [8].

Угол крошения крыла лапы β и скорость движения V оказывают значительное влияние на расстояние смещения почвы. Например, если перемещение почвы при $\beta = 25^\circ$ и $V = 1$ м/с достигает 0,01 м, то при $V = 3$ м/с оно увеличивается до 0,08 м.

Оценку работы предлагаемого экспериментального орудия ЛДГ-5П в агрегате с трактором Беларус 1221 проводили на паровом поле учхоза «Миндерлинское» Красноярского края со следующими характеристиками, определяемыми в соответствии с ГОСТ 20915-2011: почва – среднесуглинистый чернозем; влажность на глубине 0,05...0,12 м от 23 % до 27 %; плотность почвы в обрабатываемом слое 900...1020 кг/м³; глубина обработки 0,06...0,12 м; агрофон – паровое обработанное дисковой бороной БД-10 поле (рис. 7, 8) [9]. В качестве эталонных агрегатов использовали Беларус 1221 + ЛДГ-5 и Беларус 1221 + 2КПС-4П + 8Б3СС-1,0.

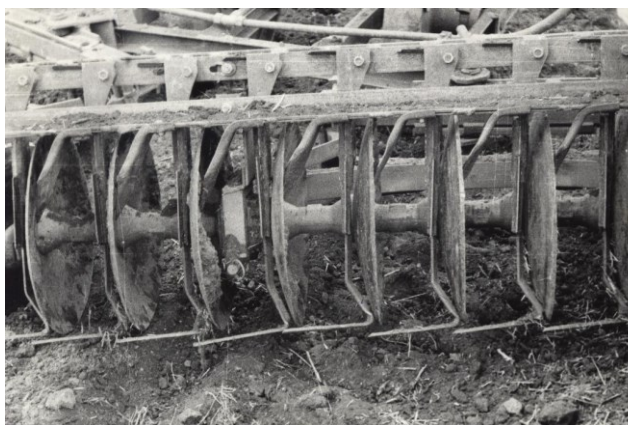


Рис. 7. Односторонние плоскорежущие лапы с изогнутой нижней частью стоек в комбинации с секцией сферических дисков луцильника



Рис. 8. Работа односторонних плоскорежущих лап с изогнутой нижней частью стоек в комбинации с секцией сферических дисков луцильника

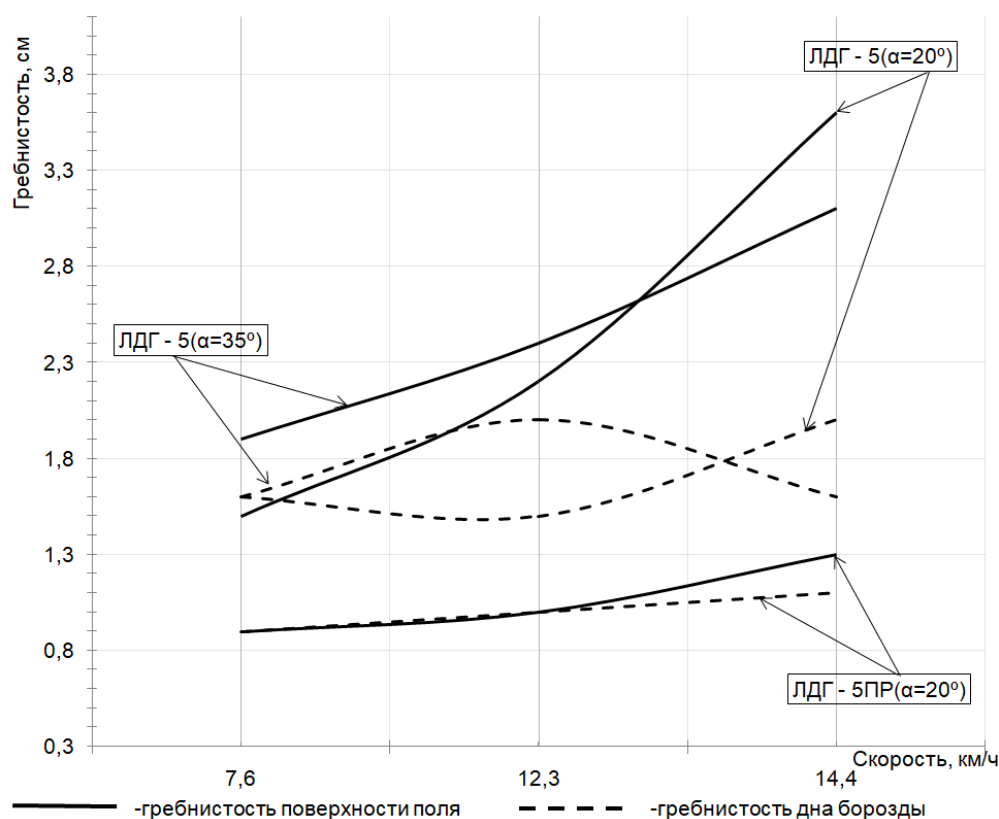


Рис. 9. Зависимости гребнистости поверхности поля и дна борозды от скорости и угла атаки дисков луцильника

При проведении исследований определяли гребнистость поверхности поля и дна борозды [10]. Полученные результаты представлены в виде графических зависимостей (рис. 9).

Полученные графики подтверждают, что гребнистость поверхности поля и дна борозды значительно меньше у экспериментального орудия и соответствует агротехнически допустимым нормам - 0,5...1,5 см. После прохода эталонного агрегата Беларусь 1221 + 2КПС-4П + 8БЗСС-1,0 наблюдалась повышенная гребнистость на всех скоростных режимах в пределах 2,2...2,9 см. Также можно сделать вывод о повышении гребнистости с увеличением угла атаки дисков луцильника.

Энергетическая оценка работы комбинированного культиватора позволила выявить зависимость тягового сопротивления от ширины захвата, глубины обработки и угла атаки дисков [11]. Полевые исследования проводили в соответствии с ГОСТом 30745-2001 [12]. Тяговое сопротивление луцильника ЛДГ-5 с углом атаки дисков $\alpha = 18...35^\circ$ и экспериментального комбинированного луцильника ЛДГ-5ПР при одинаковой ширине захвата 5 м определяли с помощью измерительной информационной системы ИП-264. Результаты исследований представлены в таблице.

Таблица – Результаты оценки энергетических параметров работы орудий

Марка орудия	Угол атаки, α , град	Скорость, м/с	Тяговое сопротивление		Снижение удельного тягового сопротивления, %
			$P_{ср}$, кН	$P_{уд}$, кН/м	
ЛДГ-5ПР	20	2,1	8,0	1,60	30,1
	20	3,5	9,95	1,99	29,4
	20	4,0	11,85	2,37	25,0
ЛДГ-5	35	2,1	11,45	2,29	0
	35	3,5	14,1	2,82	0
	35	4,0	15,8	3,16	0

Анализ приведенных в таблице данных показал, что удельное тяговое сопротивление экспериментального комбинированного луцильника ЛДГ-5ПР (1,60...2,37 кН/м) при рабочих скоростях 2,1...4,0 м/с с углом атаки 20° в сравнении с работой серийного дискового луцильника ЛДГ-5 (2,29...3,16 кН/м) с углом атаки $\alpha = 35^\circ$ снизилось на 25...30 %. По результатам исследований были получены оптимальные значения конструктивных и установочных параметров сферических дисков и одно-сторонних плоскорежущих лап.

Результаты

1. Проведенная энергетическая оценка работы плоскорежущей лапы в междисковом пространстве экспериментального комбинированного луцильника ЛДГ-5ПР показала, что удельное тяговое сопротивление орудия снижается на 25-30 % по сравнению с аналогичным показателем серийного дискового луцильника ЛДГ-5.

2. Анализ агротехнических показателей работы экспериментального орудия на всех скоростных режимах выявил соответствие показателей гребнистости поверхности поля и дна борозды агротехнически допустимым нормам для данной технологической операции ($H_{ср} = 0,005...0,015$ м), тогда как у серийного агрегата данные показатели превышали агротехнические нормы на 0,022...0,029 м.

3. Для достижения минимума энергозатрат оптимальными параметрами являются: угол атаки дисков $\alpha = 20^\circ$, ширина крыла лапы $b = 18$ мм, угол крошения крыла лапы $\beta = 30^\circ$, угол скоса лезвия лапы $\gamma = 50^\circ$.

Обсуждение

Качество работы серийно выпускаемых машин для предпосевной обработки почвы не полностью соответствуют агротехническим требованиям при минимально возможных энергозатратах. Применение разработанного почвообрабатывающего орудия на предпосевной обработке почвы, в конструкции которого использованы ценные качества как дискового луцильника, так и лапового культиватора, позволяет обеспечить показатели качества, удовлетворяющие агротребованиям с одновременным снижением затрат энергии.

Полученный эффект обеспечивает установка одно-сторонних плоскорежущих лап между дисковыми рабочими органами при расположении стоек плоскорежущих лап за дисками. При этом лапы срезают почвенные гребни в междисковом пространстве, перемещая срезанный объем почвы в сторону, противоположную направлению отбрасывания почвы дисками, исключая таким образом образование борозд.

Заключение

В результате проведенных полевых исследований подтверждены полученные расчетные значения конструктивных и технологических параметров экспериментального комбинированного почвообрабатывающего орудия. Применение комбинированного орудия для предпосевной обработки почвы с комбинацией дисковых рабочих органов и одно-сторонних плоскорежущих лап позволило снизить гребнистость поверхности поля на 13 % при максимальной у ЛДГ-5ПР (1,3 см) и минимальной у ЛДГ-5 (1,5 см), а также гребнистость дна борозды на 15 % при максимальной у ЛДГ-5ПР (1,1 см) и минимальной у ЛДГ-5 (1,3 см).

Литература

1. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы. Режим доступа https://www.minobrnauki.gov.ru/common/upload/library/2020/16/Postanovlenie_Pravitelstva_N_996.pdf.
2. А.с. № 1489588 СССР МКИ А 01В 7/00. Дисковое почвообрабатывающее орудие / О.В. Лисунов, П.П. Коваленко, П.А. Пыльник, В.К. Загурский. – Оpubл. в Б.И. – 1989. – № 24.
3. Волков А. И. Артизанов А. В., Сивандаев М. В. Анализ конструкционных особенностей современных почвообрабатывающих агрегатов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2020. № 22. С. 548-551.
4. Обзор конструкций машин для предпосевной обработки почвы / О.В. Лисунов, М.В. Богиня, А.А. Васильев и др. // В сборнике: Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России. Материалы II Международной научной конференции. Красноярск, 2022. С. 25-32.
5. Инновационная технология предпосевной обработки почвы с использованием почвообрабатывающего посевного комплекса Р-4,2 / Д.Г. Мельников, А.К. Ерусланов, Ю.А. Царев и др. // Техника и оборудование для села. 2018. № 3. С. 16-20.

6. Конкурентоспособная модель комбинированного почвообрабатывающего агрегата / Н.М. Ожегов, В.А. Ружьев, Е.А. Криштанов и др. // Вестник АПК Ставрополя. 2018. № 1(29). С. 18-22.
7. Обзор рабочих органов пропашных культиваторов и разработка новых в концепции экологического земледелия / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, С. В. Стуканов и др. // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 121-126.
8. Мазур, В.В. Оценка эффективности применения комбинаций рабочих органов культиватора для возделывания кукурузы // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. С. 37-41. doi: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41.
9. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. Введ. 01.01.2013. М.: Стандартинформ, 2013. 24 с.
10. ГОСТ 33687-2015 Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. Введ. 07.01.2017. М.: АО «Кодекс», 2020. 35 с.
11. ГОСТ Р 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. Введ. 13.11.2007. М.: Стандартинформ, 2007. 11 с.
12. ГОСТ 30745-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. Введ. 01.01.2003. М.: Издательство стандартов, 2002. 11 с.

References

1. The Federal Scientific and Technical Program for the development of agriculture for 2017-2025. Access mode https://www.minobrnauki.gov.ru/common/upload/library/2020/16/Postanovlenie_Pravitelstva_N_996.pdf.
2. A.S. No. 1489588 USSR MCI A 01B 7/00. Disk tillage tool / O.V. Lisunov, P.P. Kovalenko, P.A. Pylnik, V.K. Zagursky. Publ. in B.I. 1989. No. 24.
3. Volkov A. I. Artizanov A.V., Sivandaev M. V. Analysis of the structural features of modern tillage units // Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products. 2020. No. 22. P. 548-551.
- 4.. Review of machine designs for pre-sowing tillage / O.V.Lisunov, M.V. Boginya, A.A. Vasiliev et al. // In the collection: Resource-saving technologies in the agro-industrial complex of Russia. Proceedings of the II International Scientific Conference. Krasnoyarsk, 2022. P. 25-32.
5. Innovative technology of pre-sowing tillage using the R-4,2 tillage sowing complex / D.G. Melnikov, A.K. Yerulayev, Yu.A. Tsarev and others // Machinery and equipment for the village. 2018. No. 3. P. 16-20.
6. A competitive model of a combined tillage unit / N.M. Ozhegov, V.A. Ruzhev, E.A. Krishtanov, and others // Bulletin of the Agroindustrial Complex of Stavropol. 2018. No. 1(29). P. 18-22.
7. Review of the working bodies of row cultivators and the development of new ones in the concept of ecological agriculture / A. I. Filippov, E. V. Zayats, S. V. Stukanov and others // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2020. No. 4. P. 121-126
8. Mazur, V.V. Evaluation of the effectiveness of using combinations of cultivator working bodies for corn cultivation // Agroengineering. 2022. Vol. 24. No. 4. P. 37-41. doi: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41
9. ГОСТ 20915-2011. Testing of agricultural machinery. Methods for determining test conditions. Introduction. 01.01.2013. Moscow: Standartinform, 2013. 24 p.
10. ГОСТ 33687-2015 Machines and implements for surface tillage. Test methods. Introduction. 07.01.2017. Moscow: JSC "Codex", 2020. 35 p.
11. ГОСТ Р 52777-2007. Agricultural machinery. Methods of energy assessment. Introduction. 13.11.2007. Moscow: Standartinform, 2007. 11 p.
12. ГОСТ 30745-2001. Agricultural tractors. Determination of traction indicators – Introduction. 01.01.2003. Moscow: Publishing House of Standards, 2002. 11 p.