УДК 631.5

АДАПТИВНЫЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК

ГУРЕЕВ И.И.,

доктор технических наук, профессор, Заслуженный изобретатель Российской Федерации, заведующий лабораторией адаптивных агротехнологий и средств их механизации, ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» - Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии, e-mail: gureev06@mail.ru, тел. 8-9103103908.

Реферат. Адаптивные агротехнологии предполагают большое количество различающихся почвенных фонов для посева сельскохозяйственных культур и, соответственно, многообразие посевных рабочих органов. Целью исследований явилось использование принципа скользящего резания для лезвий разрезающих дисков зерновых сеялок с тем, чтобы снизить необходимую вертикальную нагрузку на них и облегчить условия резания стеблей растительных остатков при посеве в минимально обработанную или необработанную почву. Для достижения поставленной цели, предложено подтормаживать разрезающие диски посредством их кинематической связи с опорными колёсами сеялки. Кинематический режим дисков подбирают таким образом, чтобы отношение окружной скорости их периметра к поступательной скорости сеялки было меньшим единицы. Теоретическими исследованиями показано, что для выполнения скользящего резания кинематический режим дисков должен быть меньшим 0,47. Для определения взаимосвязи заглубления в почву разрезающего диска с конструктивными и кинематическими параметрами сеялки выполнен эксперимент. Установлено, что глубина заделки семян возрастает с уменьшением кинематического режима. Минимальное и наиболее приемлемое его значение 0,24. При дальнейшем уменьшении кинематического режима наблюдали сгуживание диском почвы и растительных остатков. Вертикальное усилие на проскальзывающий разрезающий диск в 1,8-1,9 раза меньшее, чем на свободно перекатывающийся, при заделке семян на глубину 4 см в почву твёрдостью 1,71 МПа.

Ключевые слова: зерновые культуры, посев, глубина заделки семян, сошник, разрезающий диск, скользящее резание, почва, растительные остатки.

ADAPTIVE WORKING AUTHORITIES OF GRAIN SEEDERS

GUREEV I.I.,

doctor of Engineering, Professor, Honored Inventor of the Russian Federation, Head of the Laboratory of Adaptive Agrotechnologies and Means of Their Mechanization, FSBSI «Kursk FARC» - All-Russian Research Institute of Agriculture and Soil Protection from Erosion, Karl Marx Street, 70-B, Kursk, 305021, Russia, e-mail: gureev06@mail.ru, tel. 8-9103103908.

Essay. Adaptive agricultural technologies involve a large number of different soil backgrounds for planting crops and, accordingly, a variety of sowing workers. The purpose of the research was to use the principle of sliding cutting for the blades of the cutting discs of grain seeders in order to reduce the necessary vertical load on them and to ease the cutting conditions of the stalks of plant residues when sown in minimally treated or untreated soil. To achieve this goal, it was proposed to slow down the cutting discs by means of their kinematic connection with the support wheels of the seeder. The kinematic mode of the disks is selected so that the ratio of the circumferential speed of their perimeter to the translational speed of the drill is less than one. Theoretical studies have determined that to perform sliding cutting, the kinematic mode of the disc should be less than 0.47. To determine the relationship of penetration of the cutting disc into the soil with the constructive and kinematic parameters of the drill, an experiment was performed using a specially designed laboratory unit. It is established that the depth of seeding increases with decreasing kinematic mode. Its minimum and most acceptable value is 0.24. With a further decrease in the kinematic regime, a disc loading of the soil and plant residues was observed. The vertical force on the slipping cutting disc is 1.8-1.9 times smaller than that freely rolling, when embedding seeds to a depth of 4 cm into the soil with a hardness of 1.71 MPa.

Keywords: grain crops, sowing, seed embedment depth, opener, cutting disk, sliding cutting, soil, plant residues.

Введение. Ресурсосбережение в адаптивных технологиях производства сельскохозяйственных культур ориентировано на минимизацию обработки почвы. По своим биологическим особенностям зерновые культуры более приспособлены к минимальным обработкам, выполняемым без оборота пласта. Для посева зерновых на таких фонах получили распространение сеялки, оснащённые конструктивно простыми и надёжными рабочими органами в виде разрезающих дисков и установленных по их следу двухдисковых сошников. Разрезающие диски формируют в почве посевные бороздки, на дно которых сошники укладывают семена [1].

Необходимое заглубление разрезающих дисков в минимально обработанную или необработанную почву достигают повышенным вертикальным давлением на них, из-за чего сеялки приходится догружать балластными грузами. Кроме того, разрезающие диски, перекатываясь без скольжения по полю, не перерезают стебли пожнивных остатков, а затягивают их на дно бороздок. При минерализации в почве пожнивных остатки выделяют токсины, негативно сказывающиеся на всхожести семян и снижающие урожайность выращиваемых культур.

Цель и задачи исследования. Использование принципа скользящего резания для разрезающих дисков зерновых сеялок. При скольжении лезвия диска по перерезаемому материалу облегчаются условия резания стеблей растительных остатков и снижается необходимая вертикальная нагрузка для заглубления диска [2].

Условия, материалы и методы. Предложены рабочие органы, содержащие на подпружиненных поводках разрезающий диск 1 с лезвием по периметру и размещённый по его следу двухдисковый сошник 2. Вал диска 1 системой механических передач 3 и 4 состоит в кинематической связи с валом опорного колеса сеялки 5 (рисунок 1).

Кинематический режим λ разрезающего диска подбирают таким образом, чтобы отношение окружной скорости его периметра V_1 к поступательной скорости сеялки V_2 было меньшим единицы, т.е. $\lambda = \frac{V_1}{V_2} < 1$. Поэтому в

рабочем положении опорное колесо 5 перекатывается по полю и подтормаживает вращение диска 1. Лезвие диска проскальзывает относительно перерезаемого материала, осуществляя скользящее резание почвы и растительных остатков, за счёт которого снижается энергоёмкость нарезания посевных бороздок и повышается заглубляющая способность сошника 2.

Рисунок 1 – Схема рабочих органов зерновой сеялки

Рассмотрим проскальзывающий разрезающий диск, нарезающий посевные бороздки на глубину h (рисунок 2).

Рисунок 2 – Кинематика разрезающего диска

Лезвие диска на дуге EC контактирует с необработанной почвой. Внутри дуги EC расположена точка B . Скользящее резание возможно, когда угол τ между направлением движения V_b рассматриваемой точки B лезвия и нормалью N_b , проходящей через эту точку,

превышает угол трения φ лезвия о перерезаемый материал, $\tau > \varphi$.

При определении взаимосвязи угла τ с конструктивными и кинематическими параметрами диска использован методологический подход академика В.П. Горячкина. С действительным диском радиуса R концентрично по отношению к нему жёстко связывается условный диск радиуса $R + \Delta R$, периметр которого перемещается без проскальзывания. Поэтому мгновенный центр скоростей периметра находится в нижней точке A вертикального диа-

метра и $\frac{\omega(R + \Delta R)}{V_2} = 1$, откуда:

$$\Delta R = \frac{R(1 - \lambda)}{\lambda}, \text{ м;} \quad (1)$$

где ω – угловая скорость вращения диска, с^{-1} .

Из точки A проведём прямую касательную периметра действительного диска в точке C . В этой точке совпадают направления нормали N_c и абсолютной скорости точки V_c , т.е. $\tau = 0$ и скольжение диска относительно перерезаемого материала отсутствует. Рассматривая треугольник AOC с учётом (1), имеем:

$$\frac{h}{R} = 1 - \lambda.$$

Полученная линейная зависимость представлена графически сплошной прямой линией на рисунке 3. Из графика видно, что с увеличением λ от 0 до 1 отношение $\frac{h}{R}$ изменяется в диапазоне 1,0-0. Выше этой прямой соотношение конструктивных и кинематических параметров разрезающего диска соответствует рубящему резанию без продольного перемещения лезвия диска относительно перерезаемого материала. Ниже – зона с продольным перемещением лезвия.

В точках A и D угол $\tau = 90^\circ$, т.е. на дугах EC и CD угол τ принимает все численные значения диапазона $0-90^\circ$, в том числе значение угла трения φ , так как $0 < \varphi < 90^\circ$. Если в точке B угол $\tau = \varphi$, тогда ниже её угол $\tau > \varphi$ и на дуге EB периметр диска скользит по перерезаемому материалу.

Используя теорему синусов для треугольника AOB , получим:

$$\frac{h}{R} = 1 - \cos[\varphi - \arccos(\lambda \cos[\varphi])]. \quad (2)$$

Коэффициент трения скольжения о лезвие стального диска стеблей растительных остатков при их влажности 6,7-17 % составляет 0,24-0,29, что соответствует углу трения $\varphi = 13,5-17,8^\circ$ [3, 4]. Зависимость (2) для $\varphi = 17,8^\circ$ представлена на рисунке 3 штриховой линией, ниже которой располагается зона скользящего резания. Уч-

итывая, что отношение $\frac{h}{R}$ у сеялок не может превышать 0,3, гарантированно условие $\tau > \varphi$ соблюдается при $\lambda < 0,47$ (рисунок 3).

Рисунок 3 – Характер резания в зависимости от глубины хода и кинематического режима разрезающего диска

Результаты и обсуждение. Для оценки заглубляющей способности разрезающего диска выполнен эксперимент. По схеме на рисунке 1 создана лабораторная установка, которая позволяет в процессе исследований изменять независимо следующие факторы: кинематический режим диска λ , вертикальное усилие на него G , продольное расстояние L между сошником и диском, угол наклона поводка α и поступательную скорость V_2 .

Исследования проведены в опытном хозяйстве ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии на стерне озимой пшеницы. Твёрдость почвы 1,71 МПа, влажность в слое 0-5 см – 19,7%, высота и масса стерни, соответственно, 19 см и 0,21 кг/м^2 . В эксперименте использовали стандартный разрезающий диск диаметром 350 мм.

В результате отсеивающего эксперимента факторы α и V_2 не оказали значимого влияния на показатели работы разрезающего диска. Со значимыми факторами реализован полный факторный эксперимент. Уровни и интервалы варьирования факторов установлены на основании априорной информации и данных отсеивающего эксперимента (таблица 1).

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни варьирования:				
	- кодовые				
	-1,215	-1,0	0	+1,0	+1,215
Кинематический режим разрезающего диска λ	0,24	0,26	0,37	0,48	0,50
Вертикальное усилие на диск G , кН	0,131	0,140	0,180	0,220	0,229
Продольное расстояние между сошником и разрезающим диском L , мм	90	115	230	345	370

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента

№ опытов	Уровни факторов			Глубина заделки семян в почву, см			
	λ	G	L	h_1	h_2	h_3	Среднее, h
1	-1	+1	+1	3,8	4,2	4,3	4,1
2	-1	-1	+1	2,1	2,3	1,6	2,0
3	-1	-1	-1	1,7	2,4	1,8	1,97
4	-1	+1	-1	3,6	4,1	3,7	3,8
5	+1	+1	-1	3,0	3,2	3,2	3,13
6	+1	+1	+1	2,6	3,1	3,3	3,0
7	+1	-1	+1	1,0	1,3	1,2	1,17
8	+1	-1	-1	0,8	1,5	1,4	1,23
9	-1,215	0	0	2,3	2,7	2,7	2,57
10	+1,215	0	0	2,1	2,4	1,9	2,13
11	0	-1,215	0	1,2	1,3	1,6	1,37
12	0	+1,215	0	3,5	3,4	3,9	3,6
13	0	0	0	2,1	2,5	2,6	2,4
14	0	0	-1,215	2,4	2,2	2,5	2,37
15	0	0	+1,215	2,3	2,7	2,4	2,47

В исследованиях использован ортогональный композиционный план, где в качестве параметра оптимизации принята глубина заделки семян в почву h , которую определяли по этиолированной части растений культуры после появления не менее 75% всходов. По принятому плану выполнено 15 опытов в трёхкратной повторности (таблица 2).

Максимальное значение соотношения $\frac{h}{R}$ составляло 0,245, что соответствовало рабочему режиму разрезающего диска в условиях скользящего резания.

Для исключения систематических ошибок проходы агрегата с лабораторной установкой повторяли в случайном порядке. Определена дисперсия воспроизводимости эксперимента, коэффициенты уравнения регрессии и их дисперсии. Статистическая значимость коэффициентов оценена по t -критерию. После исключения незначимых коэффициентов получено линейное уравнение регрессии, которое адекватно описывает процесс с 90-процентной доверительной вероятностью по критерию Фишера:

$$h = -0,71 - 3,31\lambda + 23,7G, \text{ см} \quad (3)$$

На рисунке 4 эмпирическая зависимость (3) отображена графически.

Рисунок 4 – Зависимость глубины заделки семян от кинематического режима разрезающего диска и величины вертикальной нагрузки на него

Анализ полученных данных показал следующее.

На заглубляющую способность разрезающего диска существенное влияние оказали кинематический режим и величина вертикальной нагрузки. Фактор расстояния между сошником и разрезающим диском в принятом

интервале варьирования не оказал значимого влияния на величину параметра оптимизации.

Установлено, что глубина заделки семян увеличивается с уменьшением кинематического режима. Минимальное наиболее приемлемое его значение $\lambda=0,24$. При дальнейшем уменьшении данного параметра наблюдали сгруживание почвы и растительных остатков перед диском, что повышало энергоёмкость и ухудшение качества нарезки посевных бороздок.

При подтормаживании разрезающего диска до $\lambda=0,24$ и вертикальной нагрузке на него $G=0,22$ кН глубина заделки семян достигла 4 см, что в 5 раз больше в сравнении со свободно перекатывающимся диском ($\lambda=1$). Заглубить на такую же глубину не подторможенный диск возможно лишь при нагрузке на него равной $G=0,4-0,5$ кН. Таким образом, для достижения одинаковой глубины заделки семян, но при $\lambda=0,24$, требуется меньшее в 1,8-

1,9 раз вертикальное усилие на разрезающий диск.

Вывод. Снижение энергоёмкости и повышение качества посева зерновых культур по минимально обработанному или необработанному почвенному фону достигается нарезанием в почве посевных бороздок разрезающим диском, осуществляющим скользящее резание почвы и растительных остатков. Для этого разрезающий диск состоит в кинематической связи с опорными колёсами сеялки и подтормаживаются ими. Кинематический режим разрезающего диска определяется отношением окружной скорости его периметра к поступательной скорости сеялки. Величина его для осуществления скользящего резания должна быть меньше 0,47. Наиболее приемлемое значение 0,24. Вертикальное усилие на проскальзывающий разрезающий диск в 1,8-1,9 раза меньше, чем на свободно перекатывающийся, при заделке семян на глубину 4 см в почву твёрдостью 1,71 МПа.

Список использованных источников

1. Гуреев И.И. Повышение заглубляющей способности сошников сеялок прямого посева / И.И. Гуреев, Н.С. Климов // Актуальные проблемы инженерно-технического обеспечения АПК (материалы Международной научно-практической конференции, 23-25 января 2013 г., г. Курск). – Изд-во Курск. гос. с.-х. ак., 2013. – С. 8-9.
2. Основы теории резания лезвием. URL: <https://helpiks.org/8-24126.html> (дата обращения 24.05.2019).
3. Механико-технологические свойства стеблей сельскохозяйственных культур. Приборы и методы их изучения. URL: <https://mehanik-ua.ru/lektsii-po-mtsskhm/183-tekhnologicheskie-svoystva-steble.html> (дата обращения 24.05.2019).
4. Физико-механические свойства пшеницы, ржи, овса, ячменя. URL: http://razvitie-pu.ru/?page_id=6621 (дата обращения 24.05.2019).

List of used sources

1. Gureev I.I. Increasing the penetrating capacity of the direct sowing coulters / I.I. Gureev, N.S. Klimov // Actual problems of engineering and technical support of the agroindustrial complex (materials of the International Scientific and Practical Conference, January 23-25, 2013, Kursk). - Publishing house of Kursk State Agricultural Academy. - Kursk. - 2013. - P. 8-9.
2. Fundamentals of blade cutting theory. URL: <https://helpiks.org/8-24126.html> (appeal date 05/24/2019).
3. Mechanical and technological properties of stalks of agricultural crops. Instruments and methods for their study. URL: <https://mehanik-ua.ru/lektsii-po-mtsskhm/183-tekhnologicheskie-svoystva-steble.html> (access date 24.05.2019).
4. Physical and mechanical properties of wheat, rye, oats, barley. URL: http://razvitie-pu.ru/?page_id=6621 (appeal date 05/24/2019).