

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕМЕШНОГО И ДИСКОВОГО ПРЕДПЛУЖНИКОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Ф.И. Назаров,

*доцент каф. технологий и механизации животноводства и переработки
сельскохозяйственной продукции БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

Е.В. Лещенко,

аспирант каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ

И.С. Крук,

проректор по научной работе БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В статье представлены результаты исследований влияния технологических параметров и режимов работы различных конструкций предплужников на энергетические затраты и качество проведения основной обработки почвы. Описана конструкция экспериментальной установки, позволяющей оценить величину тягового сопротивления почвообрабатывающих орудий.

Ключевые слова: почва, плуг, предплужник, сферический диск, пластинчатый отвал, качество обработки.

The article presents the results of research on the influence of technological parameters and operating modes of different skimmer designs on energy costs and performance quality of basic tillage. The design of the experimental installation is described, which allows evaluating the value of tillage implements traction resistance.

Key words: soil, plow, skimmer, concave disk, slat moldboard, tillage quality.

Введение

Качественная и своевременная основная обработка почвы позволяет заложить основу будущего урожая и снизить энергетические затраты на проведение последующих почвообрабатывающих технологических операций. Одной из задач основной обработки почвы является качественная заделка органических и минеральных удобрений, а также равномерное распределение в пахотном слое органических остатков предшественника (пожнивные остатки, солома и др.) и промежуточных культур [1-5].

С целью повышения степени заделки растительных остатков, на плуг устанавливают предплужники различных типов и конструктивных исполнений, которые при работе перемещают верхний слой почвы с растительными остатками на дно борозды, в результате чего корпусу плуга требуется только обеспечить крошение и равномерное их закрытие оборачиваемыми пластами почвы.

При выборе предплужника для установки на плуг необходимо учитывать дополнительное сопротивление, возникающее при его работе, что приводит к увеличению необходимого тягового усилия, которое, по некоторым данным, может достигать 40 %. Следует также учитывать дальность отбрасывания

почвы предплужником, которая оказывает влияние на степень заделки растительных остатков.

Исследованиям предплужников большое внимание уделяли В.П. Горячкин, Г.Н. Синеоков, М.В. Сабликов, А.Р. Нормирзаев, Г.Е. Листопад, К.А. Полевицкий, Б.Н. Усовский, Н.В. Щучкин и другие ученые [5-8]. В их трудах описано устройство и работа предплужников различных конструкций.

Цель данной работы – исследование влияния технологических параметров и режимов работы различных конструкций предплужников на энергетические затраты и качество проведения основной обработки почвы.

Основная часть

Самым распространенным видом предплужника является лемешный (рис. 1), который отличается от корпуса плуга конструктивными параметрами и отсутствием полевой доски. Ему свойственны те же недостатки, которые возникают и при работе корпуса плуга. Одним из путей совершенствования лемешного предплужника является замена сплошного отвала пластинчатым, что позволяет уменьшить площадь трения почвы о сталь, а следовательно, снизить энергетические затраты [5, 6].

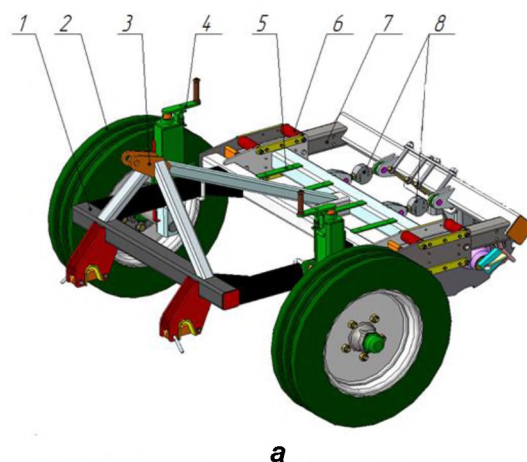
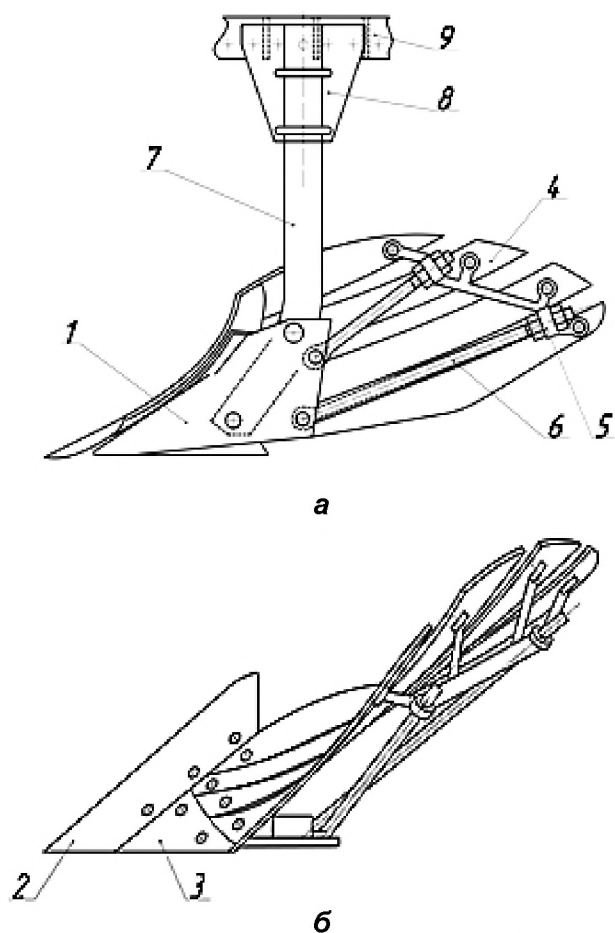


Рисунок 1. Предплужник лемешный с пластинчатым отвалом: а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – башмак; 2 – лемех; 3 – грудь отвала; 4 – пластина отвала; 5 – кронштейн; 6 – распорка; 7 – стойка; 8 – пластина; 9 – кронштейн

Рисунок 2. Экспериментальная установка для определения тягового сопротивления предплужников: а – 3D модель; б – общий вид; в – крепление предплужника; 1 – рама; 2 – ход колесный; 3 – устройство навесное; 4 – механизм регулировочный; 5 – площадка для грузов; 6 – опора; 7 – рамка подвижная; 8 – тензометрические датчики

С целью оценки тягового сопротивления лемешного предплужника с пластинчатым отвалом и дальности отбрасывания им почвы в полевых условиях, при различных режимах его работы, разработана и изготовлена экспериментальная установка (рис. 2). Она состоит из следующих основных узлов: рамы 1, хода колесного 2, устройства навесного 3, механизма регулировочного 4, площадки для грузов 5, опоры 6, рамки подвижной 7, тензометрических датчиков 8. Измерение, накопление и анализ данных о тяговом сопротивлении предплужников осуществлялись за счет применения программного и аппаратного обеспечения экспериментальной установки.

Испытания лемешного предплужника проводились на испытательном полигоне РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в соответствии с разработанной и утвержденной методикой и программой проведения исследований. Для этого была выбрана делянка с длиной гона 300 м. Уклон поля не превышал 1°. Обязательным условием измерений являлось установившееся движение трактора с заданной скоростью. Условия проведения испытаний представлены в таблице 1.

При измерении тягового сопротивления и дальности отбрасывания почвы лемешного предплужника изменялась рабочая скорость движения экспериментальной установки и глубина обработки почвы согласно плану эксперимента (табл. 2).

Таблица 1. Условия проведения испытаний лемешного предплужника

Наименование показателя	Значение
Дата	8 июня 2023 г.
Температура воздуха, °С	24
Относительная влажность воздуха, %	58
Скорость ветра, м/с	4
Тип почвы	дерново-подзолистые легкосуглинистые
Влажность почвы, %	8,1
Плотность почвы, г/см ³ , в слое (см) от 0 до 10 включ.	1,146
Масса растительных остатков на 1 м ² , г	273
Высота растительных остатков, см	5
Предшествующая обработка почвы	культивация

Результаты испытаний заносились в журнал исследований. После их обработки были получены уравнения регрессии, позволяющие определить изменение сопротивления почвы Y_1 в зависимости от рабочей скорости X_1 и глубины обработки X_2 :

$$Y_1 = 9,07 + 2,19X_1 + 0,44X_2. \quad (1)$$

Проверка адекватности полученной модели по F – критерию Фишера показала, что она адекватна на уровне значимости 0,05 ($F_{экс}=3,32 < F_{2;20;0,05}=3,49$). На основании полученных результатов эксперимента построена графическая зависимость, представленная на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что увеличение скорости движения и глубины обработки лемешного предплужника приводит к увеличению сопротивления почвы. Снижения сопротивления можно достигнуть, выбрав при работе минимальную глубину обработки почвы, подрезая только растительный слой почвы.

Далее определялось влияние технологических параметров работы лемешного предплужника на дальность отбрасывания частиц почвы. После обработки данных получено уравнение регрессии, позволяющее определить дальность отбрасывания почвы Y_2 в зависимости от рабочей скорости X_1 и глубины обработки X_2 :

$$Y_2 = 713,8 + 39,3X_1 - 29,3X_2. \quad (2)$$

Таблица 2. Уровни и интервал варьирования факторов при экспериментальных исследованиях влияния технологических параметров работы предплужника на сопротивление почвы и дальность отбрасывания частиц

Факторы	Фактор I (скорость движения)		Фактор II (глубина обработки)	
	x_1 , км/ч	X_1	x_2 , м	X_2
Основной уровень	$x_{10} = 2,5$	0	$x_{20} = 0,10$	0
Интервал варьирования	$\Delta x_1 = 0,55$	1	$\Delta x_2 = 0,02$	1
Верхний уровень	$x_{2min} = 1,95$	+1	$x_{2min} = 0,08$	+1
Нижний уровень	$x_{1max} = 3,05$	-1	$x_{2max} = 0,12$	-1
Формула перевода натуральных значений факторов x в нормированные X и обратно	$X_1 = \frac{x_1 - 2,5}{0,55}$; $x_1 = 0,55X_1 + 2,5$ $X_2 = \frac{x_2 - 0,1}{0,02}$; $x_2 = 0,02X_2 + 0,1$			

Проверка адекватности полученной модели по F – критерию Фишера показала, что она адекватна на уровне значимости 0,05 ($F_{экс}=2,39 < F_{2;20;0,05}=3,49$). На основании полученных результатов эксперимента была построена графическая зависимость (рис. 4).

Анализ полученной графической зависимости показал, что скорость движения агрегата оказывает существенное влияние на дальность отбрасывания почвы. С увеличением глубины обработки дальность отбрасывания уменьшается. Из полученных результатов следует, что при более высоких скоростях движения агрегата предплужник целесообразно устанавливать на большую глубину. Это позволит улучшить качество заделки растительных остатков.

Проведенными исследованиями установлено, что повышение качества заделки растительных остатков лемешным предплужником приводит к увеличению сопротивления. Снизить его величину можно изменением угла резания лемеха в зависимости от скорости движения агрегата. В данной конструкции реализация этого условия довольно сложна, поэтому рассмотрим в качестве предплужника сферический диск, установленный на стойке с возможностью регулировки углов атаки и крена (рис. 5).

Исследование тягового сопротивления дискового предплужника проводилось также в соответствии с принятой программой и методикой исследований. Агротехнический фон и место испытания были аналогичны фону и месту, на котором проводились испытания лемешного предплужника (табл. 1).

Для проведения исследований изготовлен дисковый предплужник со сферическим вырезным диском на цилиндрической стойке с регулируемыми углами атаки и крена, закрепленным на раме экспериментальной установки пластинами и хомутами (рис. 6) [9-13]. Так как влияние глубины обработки почвы на работу предплужника было изучено при исследовании лемешного предплужника, то все последующие испытания проводились при заданной глубине обработки почвы – 80 мм.

При измерении тягового сопротивления и дальности отбрасывания почвы дискового предплужника варьировали рабочую скорость, углы атаки и крена (табл. 3).

Полученное в ходе обработки результатов испытаний уравнение регрессии первого порядка по критерию Фишера оказалось неадекватно, поэтому в полевых условиях был проведен еще один эксперимент с учетом звездных точек.

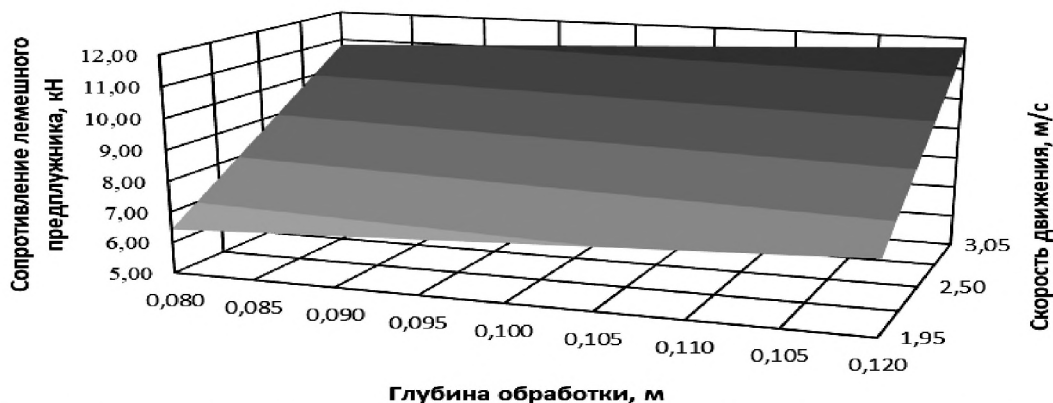


Рисунок 3. Графическая зависимость сопротивления почвы от рабочей скорости и глубины обработки лемешного предплужника

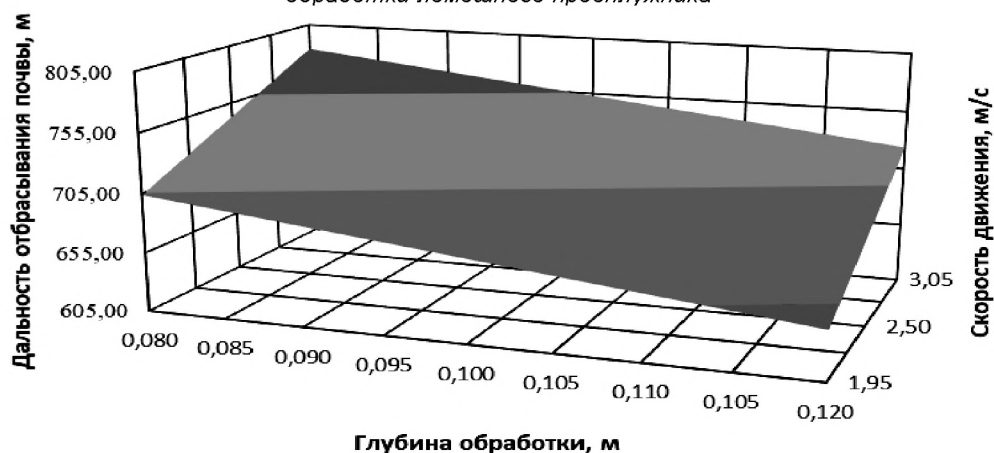


Рисунок 4. Графическая зависимость дальности отбрасывания почвы от рабочей скорости и глубины обработки лемешного предплужника

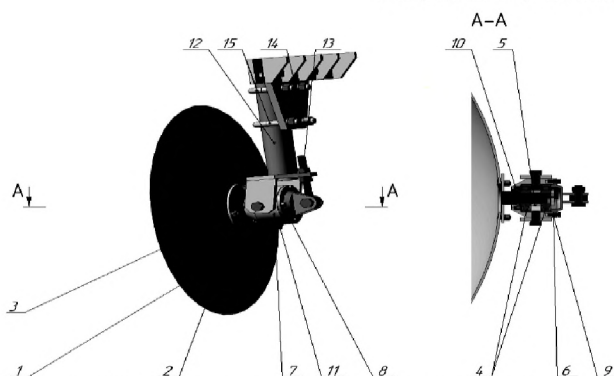


Рисунок 5. Конструкция дискового предплужника:
1 – сферический диск; 2 – ось; 3 – винт с потайной конической головкой; 4 – радиальный шарикоподшипник; 5 – втулка; 6 – стопорная шайба; 7 – корпус; 8 – крышка; 9 – картонная прокладка; 10 – армированная манжета; 11 – масленка; 12 – стойка; 13 – натяжник; 14 – пластина; 15 – скоба



Рисунок 6. Крепление дискового предплужника на экспериментальной установке

После обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, позволяющие определить изменение сопротивления почвы Y_1 в зависимости от угла крена X_3 , угла атаки X_4 и скорости движения X_1 :

$$Y_1 = 1,942 + 0,105X_3 + 0,142X_4 + 0,031 X_3 X_4 + 0,113 X_3 X_1 + 0,083 X_2 X_1 + 0,065 X_3^2 - 0,085 X_1^2. \quad (3)$$

Проверка адекватности полученной модели по F – критерию Фишера показала, что она адекватна на

Таблица 3. Уровни и интервал варьирования факторов при экспериментальных исследованиях влияния технологических параметров работы предплужника на сопротивление почвы и дальность отбрасывания частиц

Факторы	Фактор I (угол крена)		Фактор II (угол атаки)		Фактор III (скорость движения)	
	x_3 , град	X_3	x_4 , град	X_4	x_1 , м/с	X_1
Основной уровень	$x_{10} = 0$	0	$x_{20} = 25$	0	$x_{30} = 2,5$	0
Интервал варьирования	$\Delta x_1 = 10$	1	$\Delta x_{20} = 15$	1	$\Delta x_3 = 0,55$	1
Верхний уровень	$x_{2max} = 10$	+1	$x_{2max} = 40$	+1	$x_{3max} = 3,05$	+1
Нижний уровень	$x_{1min} = -10$	-1	$x_{2min} = 10$	-1	$x_{2min} = 1,95$	-1
Формула перевода натуральных значений факторов x в нормированные X и обратно	$X_3 = \frac{x_3}{10};$ $x_3 = 10X_3$		$X_4 = \frac{x_4 - 25}{15};$ $x_4 = 15X_4 + 25$		$X_1 = \frac{x_1 - 2,5}{0,55};$ $x_1 = 0,55X_1 + 2,5$	

уровне значимости 0,05 ($F_{экс} = 1,1 < F_{0,05; 54; 7} = 2,1$). На основании полученных результатов эксперимента были построены графические зависимости (рис. 7-9).

Из графика (рис. 7) видно, что на небольших рабочих скоростях увеличение или уменьшение угла крена относительно 0 приводит к увеличению тягового сопротивления. Угол атаки изменяет ширину захвата диска, что приводит к увеличению сопротивления.

Из графика (рис. 8) видно, что на более высоких рабочих скоростях с увеличением угла крена увели-

чивается тяговое сопротивление. Можно также отметить, что уменьшение угла крена при увеличении угла атаки, позволит получить более низкое сопротивление почвы предплужнику, благодаря снижению сопротивления, возникающего при подрезании пласта.

Анализ графических зависимостей, представленных на рисунках 7-9, показывает, что отрицательные углы крена соответствуют более низким значениям сопротивления почвы.

С целью определения рациональных параметров

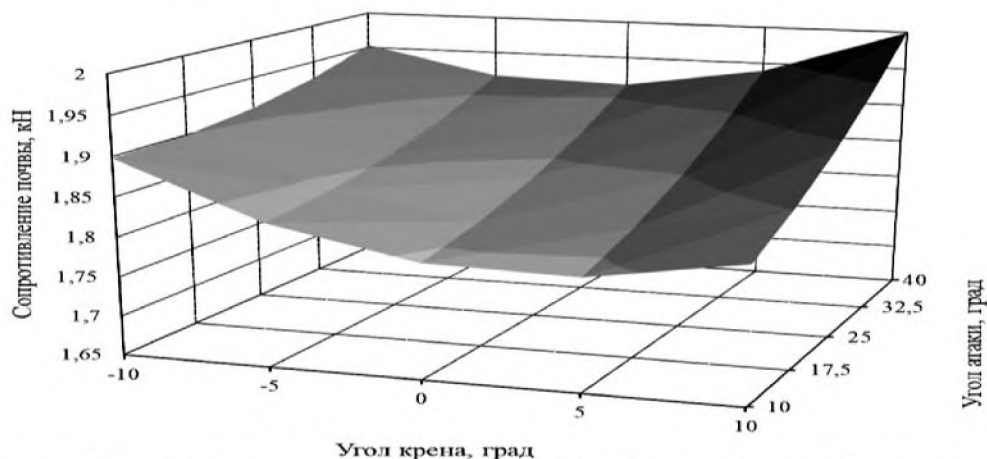


Рисунок 7. Графическая зависимость сопротивления почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 7 км/ч

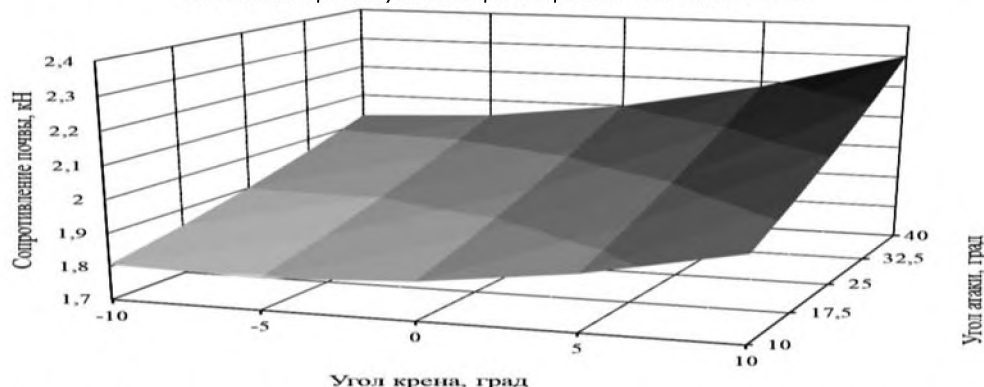


Рисунок 8. Графическая зависимость сопротивления почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 9 км/ч

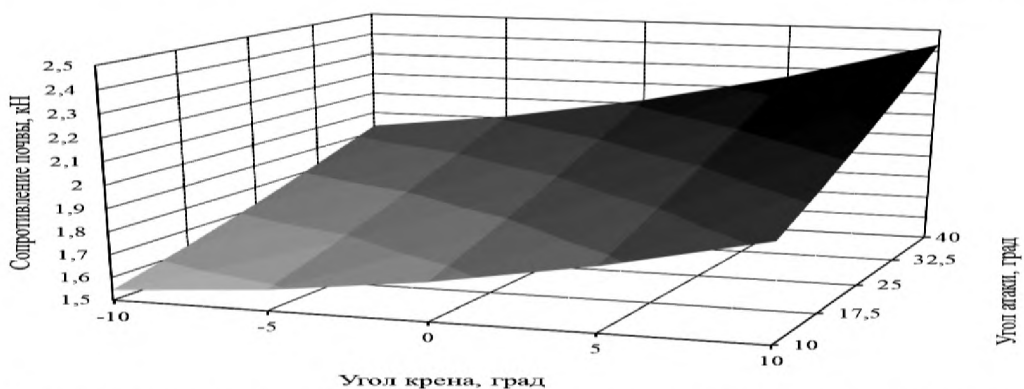


Рисунок 9. Графическая зависимость сопротивления почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 11 км/ч

дискового предплужника, при которых достигается минимальное сопротивление почвы, был проведен поиск экстремальных значений регрессионного уравнения. Полученные решения выходят за область рабочих режимов предплужников, поэтому при выборе параметров установки следует ориентироваться на качество заделки растительных остатков (дальность отбрасывания частиц почвы).

В ходе полевого эксперимента для всех технологических параметров производился замер дальности отбрасывания частиц. После обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, позволяющие определить дальность отбрасывания почвы Y_2 в зависимости от угла крена X_3 , угла атаки X_4 и скорости движения X_1 :

$$Y_2 = 0,703 + 0,037 X_3 + 0,132 X_4 + 0,066 X_1 + 0,037 X_3 X_4 + 0,052 X_3^2 - 0,045 X_1^2, \quad (4)$$

где коэффициенты уравнения регрессии имеют размерность.

Проверка адекватности полученной модели по F -критерию Фишера показала, что она адекватна на уровне значимости 0,05 ($F_{\text{экс}} = 1,83 < F_{0,05; 54; 7} = 2,1$). На основании полученных результатов эксперимента были построены графические зависимости (рис. 10-12).

Анализ полученных графических зависимостей свидетельствует о том, что с увеличением рабочей скорости движения, дальность полета частиц почвы увеличивается. Увеличение угла атаки приводит к увеличению дальности отбрасывания почвы, а следо-

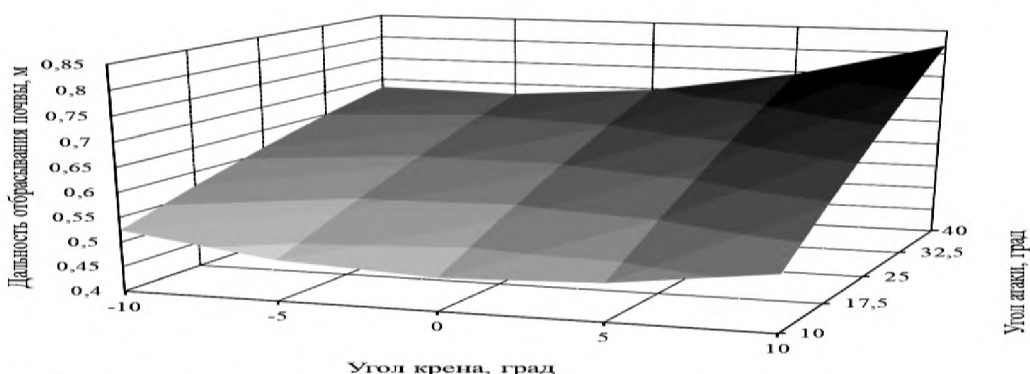


Рисунок 10. Графическая зависимость дальности отбрасывания почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 7 км/ч

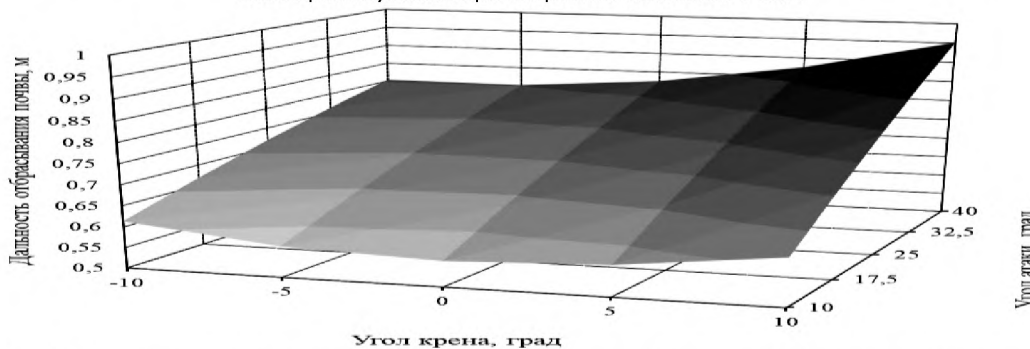


Рисунок 11. Графическая зависимость дальности отбрасывания почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 9 км/ч

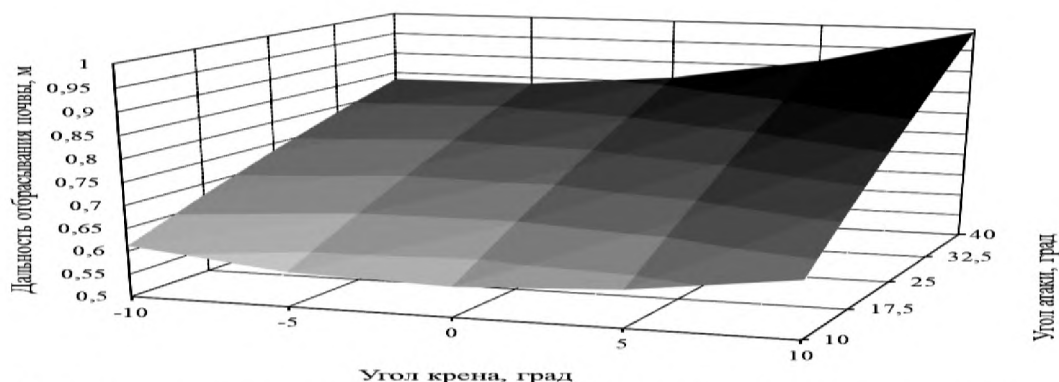


Рисунок 12. Графическая зависимость дальности отбрасывания почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 11 км/ч

вательно, на больших скоростях может приводить к снижению качества заделки растительных остатков. Графики показывают, что регулирование угла крена в зависимости от остальных параметров предплужника позволяет обеспечить качественную заделку пласта.

Заключение

В результате проведения экспериментальных исследований двух типов предплужников установлено, что применение дискового предплужника (по сравнению с лемешным) позволяет снизить сопротивление почвы в три раза. Это достигается за счет перераспределения действующих сил, наличия трения-качения и трения-скольжения, меньшего обрабатываемого профиля пласта, присутствия эффекта самоочистки и резания стерни почвы со скольжением.

Применение дискового предплужника с возможностью регулировки угла крена позволит производить качественную основную обработку почвы на высоких скоростях при максимально допустимой ширине захвата диска. Данный эффект достигается при отрицательных углах крена.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зерновые культуры (выращивание, уборка, обработка и использование) / Д. Шпаар [и др.]; под ред. Д. Шпаара. – 3-е изд., испр. – М.: DLV АГРОДЕЛО, 2008. – 656 с.
2. Панов, И.М. Физические основы механики почв / И.М. Панов, В.И. Ветохин. – К.: Феникс, 2008. – 266 с.
3. Клочков, А.В. Сельскохозяйственные машины: учеб. пособие / А.В. Клочков, Н.В. Чайчиц, В.П. Буяшов. – Минск: Ураджай, 1997. – 492 с.
4. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / В.И. Александров [и др.]; под ред. А.В. Красниченко. – М.: Машиностроение, 1961. – 864 с.
5. Проектирование корпусов плуга с вибрационными пластинчатыми отвалами. Рекомендации / В.П. Чеботарев [и др.] / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь; Белор. гос. аграр.-техн. ун-т. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 93-101.
6. Лещенко, Е.В. Анализ конструкций предплужников / Е.В. Лещенко, В.В. Зыбайло, Ф.И. Назаров // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник науч. статей Междунар. науч.-практич. конф., г. Минск, 23-24 ноября 2023 г. / Белорус. гос. аграр.-техн. ун-т.; редкол.: В.П. Чеботарев (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 90-91.
7. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
8. Горячкин, В.П. Геометрия отвала. Собрание сочинений: в 3 т. / В.П. Горячкин. – 2-е изд. – М.: Колос, 1968. – Т. 2. – С. 105.
9. Нормирзаев, А.Р. Отбрасывание почвы сферическим дисковым предплужником / А.Р. Нормирзаев, Б.М. Нишонов // Вестник науки и творчества. – 2017. – № 1 (13). – С. 86-90.
10. Обзор рабочих органов дисковой бороны / В.Д. Липин, И.Б. Тришкин, Т.В. Подлеснова [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического ун-та им. П.А. Костычева. – 2020. – № 2 (11). – С. 104-110.
11. Определение кинематических параметров движения пласта почвы по рабочей поверхности дискового предплужника / И.С. Крук, Ф.И. Назаров, И.С. Назаров [и др.] // Агропанорама. – 2022. – № 4. – С. 14-18.
12. Программа и методика лабораторных исследований дискового предплужника / Е.В. Лещенко [и др.] // Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения, оснащения и технического сервиса в АПК: сборник науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6-7 июня 2023 г. / Белорус. гос. аграр.-техн. ун-т; редкол.: Крук И.С. [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 128-131.
13. Романцов, Ю.Ф. Дисковый предплужник для заделки измельченной соломы в почву / Ю.Ф. Романцов, В.А. Пшеничный // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. – 2016. – № 10. – С. 220-222.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.02.2025