

а) увеличением подачи семян распределительными дисками с прорезями, что при постоянной скорости воздушного потока приводит к уменьшению средней скорости потока семян, а, следовательно, к увеличению времени их пребывания в пневмокамере протравливания;

б) увеличением скорости воздушного потока при постоянной подаче семян, что приводит к увеличению средней скорости движения семян и уменьшению времени пребывания их в камере протравливания

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буга, С.Ф. Ретроспективный анализ данных по эффективности протравителей семян яровых зерновых культур, применяемых в Республике Беларусь в последние годы / С.Ф. Буга // Ахова раслін.–2002.–№ 1.– С. 29-35.

2. Клочков, А.В. Анализ способов и технических средств протравливания семян и перспективы их раз-

вития /А.В. Клочков, О.В. Гордеенко, С.С. Шкуратов, В.В. Азаренко // Агропанорама. –2019. – № 2 (132).– С. 20-25.

3. Успенский, В.А. Пневматический транспорт материалов во взвешенном состоянии / В.А. Успенский. – Свердловск: Metallurgizdat, 1952. – 146 с.

4. Клочков, А.В. Обоснование параметров технологического процесса протравливания семян в восходящем воздушном потоке / А.В. Клочков, И.В. Гордеенко // Математическое моделирование сельскохозяйственных объектов – основа проектирования технологий и машин XXI века: матер. междунар. науч.-практич. конф. / Акад. аграр. наук Респ. Беларусь; Беларус. науч.-исслед. ин-т механизации с.-х. – Минск, 2001. – С. 56-61.

5. Гупало, Ю.П. О переходе слоя твердых частиц во взвешенное состояние / Ю.П. Гупало, Г.П. Черепанов // Изв. Акад. наук СССР. – 1969. – №1.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 31.07.2019

УДК 631.312

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЬЧАТО-ПРУТКОВЫХ КАТКОВ

Ф.И. Назаров,

ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

И.С. Крук,

проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния конструктивных и технологических параметров кольчато-прутковых катков на качество обработки почвы. Определены рациональные конструктивные и технологические параметры кольчато-прутковых катков. Обоснованы параметры установки катковых приставок относительно корпусов плуга.

Ключевые слова: почва, каток, эксперимент, плотность, кольчато-прутковый рабочий орган, установка.

The article presents the results of experimental studies of structural and technological parameters of ring-rod compactors influence on soil preparation quality. Rational design and technological parameters of ring-rod compactors are determined. The mounting parameters of compactor accessories relative to the plow body are substantiated.

Keywords: soil, compactor, experiment, density, ring-rod working body, mounting.

Введение

Важным направлением в развитии перспективной техники является разработка новых рабочих органов и машин, существенно повышающих качество обработки почвы и посева [1]. С целью улучшения процесса основной обработки почвы и снижения энергетических затрат на последующие технологические операции с плугами, применяются катковые приставки с кольчато-прутковыми рабочими органами (рис. 1), которые крошат, рыхлят и уплотняют

верхний слой обороченного пласта [2, 3]. При этом обеспечивается разрушение почвенных глыб и предотвращение их образования, более тесное размещение почвенных агрегатов, увеличение капиллярной пористости, а также создается более однородное состояние обрабатываемого слоя и частичное выравнивание поверхности почвы. Качественная обработка верхнего слоя почв легкого механического состава рабочими органами приставок позволяет уменьшить количество последующих обработок и сократить сро-



Рис. 1. Плуг ПО-(8+4)-40 с приставками в процессе работы

ки подготовки к посеву, а значит, сохранить влагу в почве и провести ранний сев.

На качество обработки почвы оказывают влияние следующие геометрические параметры кольчато-пруткового катка: диаметр дисков, толщина и угол заточки их кромок, диаметр окружности, на которой закреплены прутки, шаг установки и их диаметр. Также качество обработки почвы определяют скорость движения агрегата, место установки и масса катков. Изменяя данные параметры, в зависимости от физико-механических свойств почвы, можно достигнуть заданного качества обработки при наименьших энергетических затратах [3, 4].

Цель настоящей работы – повышение качества основной обработки почвы оборотными плугами с катковыми приставками обоснованием конструктивных и технологических параметров кольчато-прутковых катков.

Основная часть

Исследования проводились в лабораторных (почвенный канал БГАТУ) и полевых условиях.

Лабораторная установка (рис. 2) представляла собой бетонное основание, изготовленное в виде канала, который в зависимости от эксперимента, может заполняться почвой различного механического состава. В канале установлена электрифицированная нагрузочная тележка с навесным устройством и набором контрольно-измерительного оборудования.

На навесное устройство нагрузочной тележки почвенного канала был установлен двухкорпусный плуг, а на ее раму – кронштейны для крепления лабораторного образца катковой секции. Конструкция кронштейнов позволяла выдерживать ось тяги параллельно горизонту. Привод ведущих колес тележки осуществлялся двумя электродвигателями. Скорость движения тележки можно изменять в зависимости от требований эксперимента. С целью регулирования величины механического воздействия катков на почву, на продолжении рамки секции установлен нагрузочный лоток для грузов.

Лабораторный образец секции катков (рис. 3) состоял из рамы 1, оси 2 с посаженными на ней экспериментальными катками 4 и нагрузочного лотка 3. Расстояние между дисками изменялось установкой распорных втулок различной длины.

Нагрузочный лоток заполнялся грузами массой 5, 10, 15 кг, в результате масса равномерно распределялась между дисками, обеспечивая удельную нагрузку от 20 до 80 Н/см (шаг изменения 20 Н/см).

Диаметр оси лабораторного образца секции катков был подобран так, чтобы на этой же установке можно было снять основные показатели выпускаемых отечественных и зарубежных рабочих органов приставок, для их последующего сравнения с исследуемыми дисками.

Основными агротехническими показателями, характеризующими качество обработки почвы приставками, являются средняя высота микронеровностей, среднее квадратичное отклонение высоты микронеровностей, крошение, разрушение комков, плотность и твердость слоев почвы.

Плотность обрабатываемого слоя при механической обработке почвы претерпевает значительные изменения. Диапазон изменения плотности при вспашке плугом чернозема обыкновенного достигает 0,31-0,36 г/см³ [5-8]. Для исследуемого типа почвы (дерново-подзолистая) плотность после вспашки находится в пределах 0,87-0,91 г/см³.

Поскольку накопление и расход влаги, ее передвижение по горизонтам почвы происходят в соответствии с законами влагопереноса, в засушливых районах системой обработок необходимо создать мульчирующий верхний слой, а на глубине 5-6 см сформировать уплотненный слой, с меньшим эффек-



Рис. 2. Установка для исследований работы рабочих органов приставок в лабораторных условиях



Рис. 3. Общий вид лабораторного образца катковой секции: 1 – рама; 2 – ось; 3 – нагрузочный лоток; 4 – экспериментальный каток

тивным размером капилляров относительно основной массы почвы, способствующий снижению потерь влаги на испарение. Если верхний слой почвы излишне уплотнен, испарение увеличивается многократно и на большую глубину, поэтому необходимо поддерживать верхний слой (0-5 см) в постоянно сухом и рыхлом состоянии (плотность 0,7-0,9 г/см³). Независимо от способа основной обработки почвы, плотность слоя 5-10 см желательно поддерживать на уровне от 1,1 до 1,15 г/см³, но не более 1,30 г/см³. Такая двухслойная структура пахотного горизонта обеспечивает сохранение влаги в почве и защищает от излишнего испарения и не препятствует накоплению ее при выпадении осадков [9, 10].

Для обоснования рациональных параметров и режимов работы машины, наиболее рационально выбрать единственный параметр оптимизации, а на другие характеристики процесса наложить ограничения.

В лабораторных условиях были проведены исследования по обоснованию конструктивных параметров кольчато-прутковых катков и их влияния на уплотнение почвы в поверхностном слое (до 10 см).

В качестве основных факторов, влияющих на параметр «плотность почвы», были выбраны: масса грузов, диаметр диска, шаг установки прутков. Уровни и интервалы варьирования приведены в таблице 1.

Почва для опытов в почвенном канале подготавливалась следующим образом. За сутки до начала опытов почву увлажняли. Проводилась проверка исходного состояния почвы. Поверхность выравнивалась с помощью выравнивающего бруса. Для увлажнения почвы и поддержания значения влажности в заданных пределах, применялся метод искусственного дождевания. Влажность почвы доводилась до величин, соответствующих условиям работы катковых приставок при предпосевной обработке почвы в реальных условиях для легких и средних, по механическому составу, дерново-подзолистых почв. Для имитации плужной подошвы, на глубине пахотного слоя была заложена доска. Для оборота пласта и создания условий, наиболее приближенных к реальным, использовался двухкорпусный плуг. Далее проводились опыты при постоянной скорости движения лабораторного образца катковой секции.

После прохода лабораторного образца катковой приставки измерялись значения влажности и плотности почвы по слоям.

Для определения степени влияния параметров на дальность полета частиц пласта и определения места

установки приставки в реальных условиях, была разработана и изготовлена установка (рис. 4), состоящая

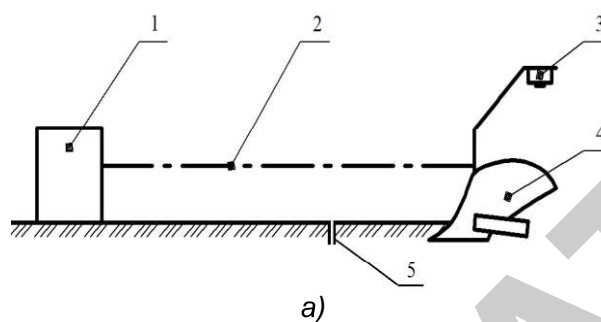


Рис. 4. Схема (а) и общий вид (б) лабораторной установки: 1 – электротяга; 2 – трос; 3 – камера; 4 – плуг; 5 – индикаторный слой

из электротяги 1, троса 2, скоростной камеры 3 и конного плуга 4. За базовый вариант установки была принята тяга сельскохозяйственная ЛС-100А [11]. Основные технические характеристики установки приведены в таблице 2.

Перед проведением эксперимента определялись основные физико-механические свойства почвы (влажность, твердость, плотность, коэффициент внешнего трения) и характеристики участка (тип почвы, температура почвы, засоренность участка сорными растениями, камнями, уклон местности).

На плуг крепилась камера (GoPro 4), при помощи которой проводилась съемка движения пласта почвы по поверхности корпуса и за его пределами до полного осадения на поверхности поля.

При работе плуг оборачивает пласт почвы в сторону необработанного участка поля, а камера фиксирует

Таблица 1. Уровни и интервал варьирования факторов при экспериментальных исследованиях влияния параметров кольчато-прутковых рабочих органов на плотность почвы по слоям

Факторы	1-й фактор (масса грузов)		2-й фактор (диаметр диска)		3-й фактор (шаг установки прутков)	
	x_1 , кг	X_1	x_2 , мм	X_2	x_3 , мм	X_3
Основной уровень	$x_{10}=53,5$	0	$x_{20}=450$	0	$x_{30}=48$	0
Интервал варьирования	$\Delta x_1=26,5$	-	$\Delta x_2=60$	-	$\Delta x_3=48$	-
Верхний уровень	$x_{1max}=80$	+1	$x_{2max}=510$	+1	$x_{3max}=96$	+1
Нижний уровень	$x_{1min}=27$	-1	$x_{2min}=390$	-1	$x_{3min}=0$	-1

Таблица 2. Технические характеристики лабораторной установки

Номинальная потребляемая мощность, Вт	1500
Тип отвала	цилиндрический
Глубина обработки	0,15 м
Ширина захвата	0,20 м
Скорости перемещения рабочего органа	1,8 – 2,5 км/ч (0,5 – 0,7 м/с)
Длина тягового каната, м	20
Габаритные размеры, мм	590x500x1100
Масса лебедки, кг	60

максимальную дальность полета его частиц. На основании скоростной съемки можно оценить скорость движения почвы на кромке отвала. Для этого на всю глубину обработки пласта закладывался индикаторный слой белого цвета и фиксировалось время начала его движения по поверхности плуга до точки схода с него.

Эксперимент проводился на дерново-подзолистых почвах, среднего суглинка, при влажности 17 %, по стерне многолетних трав. Глубина вспашки составляла 15 см и ширина захвата корпуса плуга – 20 см. В качестве основного фактора, влияющего на дальность полета частицы, была выбрана скорость движения агрегата. При проведении эксперимента лебедкой изменялась скорость движения корпуса плуга в пределах от 0,20 – 0,70 м/с. Скоростной режим был ограничен техническими характеристиками установки.

На основании представленной методики исследований был проведен эксперимент в полевых условиях.

После обработки экспериментальных данных, получены уравнения регрессии, позволяющие определить плотность почвы ρ (Y) в зависимости от массы приставки $m_{пр}$ (X_1), диаметра диска D_d (X_2) и шага установки прутков l (X_3):

для слоя 0 – 5 см:

$$\text{в кодированном виде: } Y = 0,998 - 0,104X_3;$$

$$\text{в натуральном виде: } \rho = 1,102 - 0,0022l; \quad (1)$$

для слоя 5 – 10 см:

в кодированном виде:

$$Y = 0,964 + 0,019X_1 - 0,021X_3 - 0,043X_1X_2 -$$

$$- 0,036X_1X_3 + 0,043X_2X_3 + 0,021X_1^2 -$$

$$- 0,026X_3^2;$$

в натуральном виде:

$$\rho = (2,99m_{пр}^2 - 1,13l^2 + 49m_{пр} + 9,78D_d + 127l - 0,361m_{пр}D_d - 2,83m_{пр}l + 0,199D_d l + 89000) \cdot 10^{-5}. \quad (2)$$

Проверка значимости рассчитанных коэффициентов по t -критерию Стьюдента в полученной регрессивной модели по исследованию уплотнения почвы в слое 0 – 5 см (1) показала, что коэффициенты X_1 и X_2 не значимы. Абсолютная величина коэффициента

модели показывает, что в слое почвы 0 – 5 см при увеличении массы приставки плотность уменьшается, происходит рыхление пласта. Проверка адекватности полученной модели по F – критерию Фишера показала, что она адекватна на уровне значимости 0,05 ($F_{экс}=1,118 < F_{0,05; 54; 7}=2,274$). На основании полученных результатов эксперимента был построен график изменения плотности в слое почвы 0-5 (рис. 5).

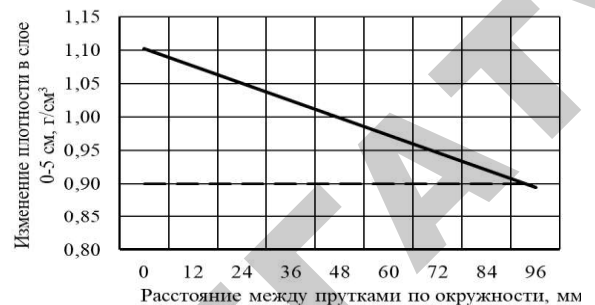


Рис. 5. График изменения плотности почвы в слое 0 – 5 см от шага установки прутков h

На рис. 5 видно, что наибольшее значение плотности в слое 0 – 5 см достигается при минимальном расстоянии между прутками (кольчато-дисковый каток). С увеличением шага уменьшается значение параметра и происходит разуплотнение почвы верхней поверхностью прутков.

Проверка значимости рассчитанных коэффициентов по t -критерию Стьюдента в полученной регрессивной модели по исследованию уплотнения почвы в слое 5 – 10 см (2) показала, что коэффициенты X_2 и X_3^2 не значимы. Абсолютные величины коэффициентов модели показывают, что в слое почвы 5 – 10 см все три фактора оказывают значительное влияние на изменение плотности. Проверка адекватности полученной модели по F – критерию Фишера показала, что она адекватна на уровне значимости 0,05 ($F_{экс}=2,089 < F_{0,05; 90; 7}=2,1$). На основании полученных результатов эксперимента были построены графики изменения плотности в слое почвы 5 – 10 см в зависимости от параметров катка (рис. 6-8).

С целью определения оптимальных параметров кольчато-пруткового рабочего органа, при которых достигается требуемая плотность почвы в слое почвы 5 – 10 см при минимальных конструктивных параметрах, был проведен поиск экстремальных значений регрессионного уравнения (2). Для этого уравнение последовательно было продифференцировано по X_1 , X_2 , X_3 , полученные уравнения приравнены к нулю и составлена система уравнений.

$$\begin{cases} 0,019 + 0,042X_1 - 0,043X_2 - 0,036X_3 = 0; \\ -0,043X_1 = 0; \\ -0,036X_1 + 0,043X_2 - 0,052X_3 = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Решение вышеуказанной системы уравнений показало, что максимальная плотность $\rho = 0,96$ г/см³ при минимальных габаритных размерах достигается при массе катковой секции – 53,5 кг, диаметре диска –

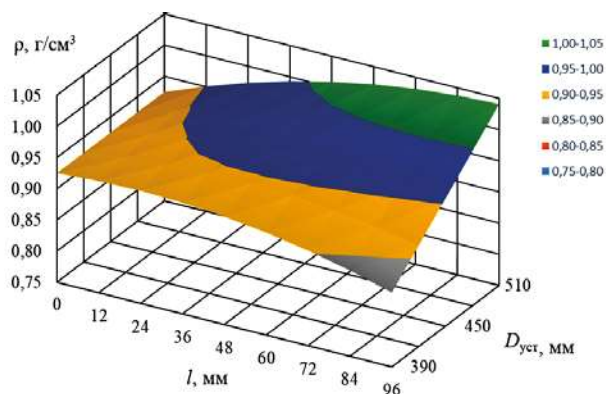


Рис. 6. Зависимость плотности почвы в слое 5-10 см от диаметра диска и расстояния между прутками при массе катка – 27 кг

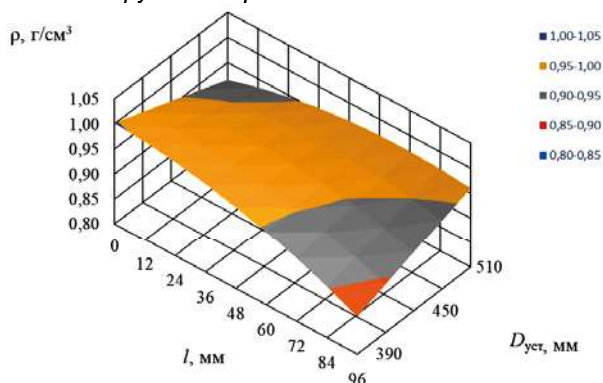


Рис. 7. Зависимость плотности почвы в слое 5-10 см от диаметра диска и расстояния между прутками при массе катка – 53,5 кг

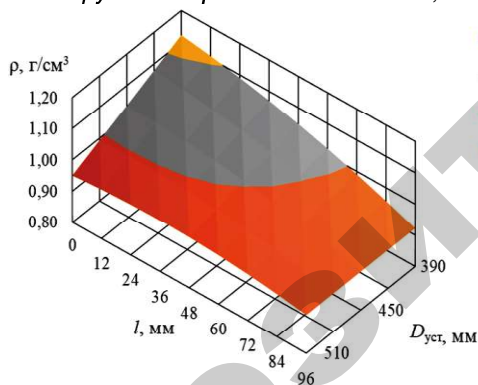


Рис. 8. Зависимость плотности почвы в слое 5-10 см от диаметра диска и расстояния между прутками при массе катка – 80 кг

0,465 м, диаметре установки прутков – 0,405 м и шаге между прутками – 0,058 м.

После обработки экспериментальных данных полевого эксперимента, получена зависимость дальности полета частицы $x_{пч}$ (Y) от скорости движения агрегата $v_{арп}$ (X_4):

– в кодированном виде: $Y = 0,03X_4 + 0,178$;

– в натуральном виде: $x_{пч} = 0,15v_{арп} + 0,1$ (4)

На рисунке 9 для рассматриваемого в эксперименте корпуса плуга приведены графики зависимости дальности полета почвенного пласта в зависимости от скорости агрегата (а – график, построенный по формуле движения пласта почвы по корпусу плуга [1, 3, 4]; б – график, построенный по результатам экспериментальных исследований (4)).

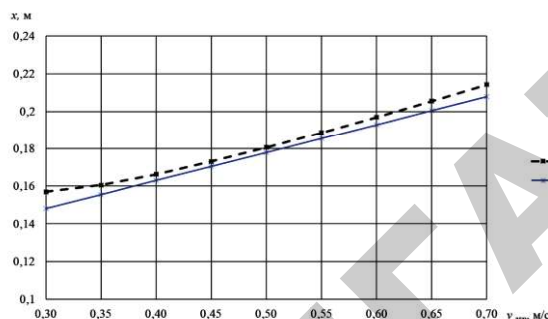


Рис. 9. Графики зависимостей дальности полета пласта почвы от скорости движения агрегата: а – теоретическая; б – экспериментальная

При проведении эксперимента на скорости 0,3 м/с, кроме дальности полета частицы пласта почвы, фиксировалась скорость почвенной частицы на кромке отвала (0,21 м/с) и время движения пласта по поверхности плуга (2,1 с). При этом дальность полета частицы составила 0,14 м, для данной точки теоретически полученная дальность полета частицы составляет 0,143 м, следовательно, погрешность теоретической зависимости по отношению к экспериментальной в данной точке будет 2,8 %, что соответствует наибольшей относительной погрешности на исследуемом участке.

Заключение

Экспериментальные исследования катка с кольчато-прутковыми рабочими органами, проведенные в лабораторных и полевых условиях, подтвердили теоретические положения о зависимости качества обработки почвы от ее состояния и конструктивных параметров катка. Получены экспериментальные зависимости изменения плотности по слоям (1), (2). Анализ их графических отображений (рис. 5-8) показал, что при минимальных габаритных размерах, наибольшая плотность составит $\rho = 0,96$ г/см³ и она достигается при массе катковой секции – 53,5 кг, диаметре диска – 0,465 м, диаметре окружности установки прутков – 0,405 м и шаге между ними – 0,058 м.

Анализ данных, полученных в ходе эксперимента по определению дальности отбрасывания частиц почвы, подтвердил, что полученная ранее математическая модель, описывающая движение почвы, как пласта по корпусу плуга, позволяет определить дальность полета частицы с точностью до 2,8 %. Это позволит установить приставку на минимально допустимом расстоянии от корпуса плуга и обеспечить вы-

полнение технологического процесса с наименьшей удельной материалоемкостью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лепешкин, Н.Д. Основные направления развития механизации обработки почвы и посева в Республике Беларусь до 2030 года / Н.Д. Лепешкин, А.А. Точицкий, В.В. Мижурич, Д.В. Заяц // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2018. – Вып. 51. – С. 10-16.

2. Назаров, Ф.И. Проектирование катковых приставок с кольчато-прутковыми рабочими органами и обоснование параметров их установки на раме плугов / Ф.И. Назаров // Агропанорама. – 2019. – № 1. – С. 9-16.

3. Проектирование катковых приставок для пахотных агрегатов. Рекомендации / И.С. Крук [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2017. – 104 с.

4. Крук, И.С. Обоснование параметров установки дополнительных орудий для поверхностной обработки почвенных пластов в пахотных агрегатах / И.С. Крук, Ф.И. Назаров, Ю.В. Чигарев, Н.Г. Бакач, Г.А. Радишевский, Ж.И. Пантелеева // Агропанорама. – 2017. – № 6. – С. 10-17.

5. Медведев, В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В.В. Медведев. – М.: Агропромиздат, 1988. – 157 с.

6. Медведев, В.В. Использование агрофизических свойств черноземов при разработке почвообрабатывающих машин / В.В. Медведев, П.И. Слободок, В.Ф. Пашенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 3. – С. 6-8.

7. Медведев, В.В. Некоторые изменения физических свойств черноземов при обработке / В.В. Медведев // Почвоведение. – 1979. – № 1. – С. 79-97.

8. Медведев, В.В. Физические свойства и характер залегания плужной подошвы в разных типах пахотных почв / В.В. Медведев // Почвоведение. – 2011. – № 12. – С. 148-149.

9. Кнауэс, А.А. Совершенствование катка-выравнивателя для подготовки почвы к посеву: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Кнауэс. – Новосибирск, 1987. – 163 с.

10. Кузыченко, Ю.А. Научное обоснование эффективности систем севооборотов на различных типах почв центрального и восточного предкавказья: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.01 / Ю.А. Кузыченко. – Ставрополь, 2014. – 290 л.

11. Лебедка сельскохозяйственная ЛС-100А [Электронный ресурс] ОАО «Могилевлифтмаш». – Режим доступа: <https://www.liftmach.by/catalog/lebyedki-selskokhozyaystvennye/>. – Дата доступа: 10.07.2019.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 31.07.2019

Радиоволновой влагомер зерна

Предназначен для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и обеспечивает автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход 4-20 мА, а также интерфейс RS-485.



Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна	от 9 до 25%
Основная абсолютная погрешность	не более 0,5%
Температура контролируемого материала	от +5 до +65°C
Цена деления младшего разряда блока индикации	0,1%
Напряжение питания	220 В 50Гц,
Потребляемая мощность	30ВА