

На правах рукописи



Жиляков Алексей Леонидович

**Обоснование параметров дисковой посевной
секции зернотуковой сеялки**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Воронеж – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Козлов Вячеслав Геннадиевич.

Официальные оппоненты: **Цепляев Алексей Николаевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», профессор кафедры «Технические системы в АПК»;
Мачнев Алексей Валентинович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств», профессор кафедры «Прикладная механика и инжиниринг технических систем».

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН).

Защита состоится 08 октября 2020 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 220.010.04, созданного на базе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Информация о деятельности диссертационных советов» – «Защиты» – «Д 220.010.04»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=7995>.

Автореферат разослан 27 августа 2020 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Технологический процесс традиционного производства зерна включает ряд операций: обработка почвы, внесение удобрений, посев, уход за посевом, уборка урожая. Для этого привлекается большое количество энергонасыщенной и металлоемкой техники, многократно перемещающейся по полю, негативно влияющей на структуру почвы и, как следствие, приводящей к недобору урожая. Эффективным способом снижения затрат при производстве зерновых культур является объединение нескольких операций за один проход агрегата, таких как разуплотнение почвы и внесение основного удобрения, подготовка почвы к посеву, посев и другие. Одной из проблем сохранения плодородного горизонта на склонах полей, с которых при паводках и ливневых дождях идет смыв почв и внесенных удобрений, а также идет разрушение биологической составляющей почв, является разработка и внедрение более совершенных способов обработки почвы и создание современных машин, позволяющих проводить комбинированный посев зерновых культур, которые будут обладать более щадящим воздействием на плодородный горизонт почвы и вместе с этим повышать урожайность.

Степень разработанности. Вопросами совершенствования средств механизации посева зерновых с одновременным внесением удобрений занимались: Нефедов Б.А., Дементьев А.И., Скурятин Н.Ф., Сендряков И.Ф., Цепляев А.Н., Мачнев А.В. и другие. Способами внесения минеральных удобрений занимались видные ученые ряда НИИ и вузов: Синягин И.И., Ковалев Н.Д., Аксененко И.А., Булаев В.Е., Подгорный П.И., Завражнов А.И. и ряд других известных ученых. Однако вопросы энергосбережения при комбинированном посеве зерновых и одновременном выполнении трех-четырёх операций разработаны недостаточно полно.

Диссертация посвящена совершенствованию технологического процесса посева зерновых культур и обоснованию конструктивных параметров дисковой посевной секции.

Цель исследования: повышение эффективности работы зернотуковой сеялки путем обоснования параметров дисковой посевной секции.

Задачи исследования:

- 1) предложить методику образования борозд под основное удобрение и семена и разработать схему посевной секции зернотуковой сеялки на базе дисков;
- 2) разработать аналитическую модель взаимодействия дисков посевной секции с почвой, формирующих в ней борозды для размещения двух рядков семян одновременно с внесением основного удобрения ниже уровня посева;
- 3) установить основные конструктивные параметры посевной секции зернотуковой сеялки на базе дисков.

Объект исследования: процесс взаимодействия конструктивных элементов дисковой посевной секции с почвой.

Предмет исследований: закономерности формирования борозд под основное удобрение и семена дисковыми рабочими органами.

Научная новизна заключается в усовершенствовании:

- 1) методики образования борозды в виде равнобедренного треугольника,

вершина которого обращена вниз, куда укладывается основное удобрение, а выше их слева и справа на расстоянии, равном ширине междурядья, размещаются семена, отличающаяся тем, что борозды формируются плоскими дисками;

2) аналитической модели взаимодействия конструктивных элементов дисковой посевной секции с почвой, отличающейся тем, что учитывает глубину заделки удобрений и расстояние между рядками;

3) технического решения посевной секции (патент России № 138141), выполняющей за один проход агрегата четыре операции: рыхление почвы, внесение основного удобрения, посев двух рядков выше основного удобрения и уплотнение почвы над семенами.

Теоретическая значимость. Полученные аналитические зависимости, описывающие процесс формирования борозд под основное удобрение и двух рядков семян, а также зависимости, позволяющие определить условия устойчивости хода посевной секции в горизонтальной и вертикальной плоскостях, являются необходимым условием достижения равномерности глубины посева и дополняют теорию посевных агрегатов.

Практическая значимость. Разработана дисковая посевная секция, выполняющая за один проход агрегата четыре операции: рыхление почвы, внесение основного удобрения, посев двух рядков выше основного удобрения и уплотнение почвы над семенами, и обеспечивающая повышение эффективности работы зернотуковой сеялки.

Методология и методы исследования. При исследовании взаимодействия центрального и посевных дисков с почвой использовалось математическое моделирование, а при разработке конструктивно-технологических схем посевной секции и экспериментальных установок – эвристический метод. Исследования влияния глубины погружения диска в почву на силу сопротивления проводились на опытных полях с использованием разработанной и изготовленной установки (Патент РФ № 152066). Равномерность формирования борозды под семена определяли с применением опытного образца дисковой посевной секции. Данные результаты экспериментальных исследований обрабатывались известными статистическими методами.

Положения, выносимые на защиту:

1) конструктивно-технологическая схема посевной секции зернотуковой сеялки на базе дисков, позволяющая реализовать четыре технологические операции за один проход посевной машины;

2) аналитическая модель взаимодействия конструктивных элементов дисковой посевной секции с почвой, позволяющая установить рациональные их параметры;

3) конструктивно-технологические параметры разработанной посевной секции на базе дисков, обеспечивающие устойчивость хода посевной секции в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов диссертационной работы подтверждена:

1) численной реализацией аналитических зависимостей;

2) использованием апробированных методов исследования;

3) удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Опытный образец зернотуковой сеялки, изготовленный на базе зернотуковой сеялки прямого посева «Обь-43Т», апробирован в Белгородском отделении ЗАО «Краснояржская зерновая компания». Отдельные результаты исследования используются при дипломном проектировании студентами инженерного факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

Основные положения диссертационной работы и полученные результаты исследований докладывались на конференциях в Белгородском ГАУ (2012-2019 г.), Воронежском ГАУ (2015-2016 г.), Алтайском ГАУ (2015 г.), Мичуринском ГАУ (2016 г.).

Личный вклад соискателя. Вклад соискателя прослеживается на всех этапах выполнения работы: обзор научной, патентной и технической литературы, производственная постановка задач, выбор методов исследований, разработка конструктивно-технологических схем посевной секции зернотуковой сеялки, установок для определения сил, действующих на центральный и посевные диски, составление математических моделей взаимодействия дисков с почвой, организация полевых испытаний опытного образца посевной секции, обработка результатов опытов, подготовка публикаций, формирование выводов и рекомендаций.

Публикации результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 5 патентов России, отдельные результаты исследований вошли в две монографии.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографического списка, включающего 111 наименований, из них 2 на иностранных языках. Диссертация изложена на 134 страницах машинописного текста, включает три таблицы, 42 рисунка и пять приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность проблемы, представлена цель и научная гипотеза, сформулированы задачи исследований, их научная и практическая значимость, определены основные научные положения, выносимые на защиту и их новизна.

В первой главе «Состояние вопроса, цель и задачи исследования» рассмотрены особенности технологии возделывания зерновых на склонах, агроэкономическая эффективность совмещения операций обработки почвы, внесения минеральных удобрений и посева, преимущества и особенности прямого посева зерновых, технические средства посева зерновых культур и тенденции их развития, а также приведены: выводы, цель и задачи исследования.

Во второй главе «Разработка конструктивно-технологической схемы дисковой посевной секции и обоснование ее основных параметров» проведено усовершенствование способа посева зерновых на склонах, заключающееся в использовании вместо специальной стрельчатой лапы, формировавшей борозду в виде трапеции в поперечной плоскости, дискового ножа, создающего борозду в виде равнобедренного треугольника.

При движении поперек склона в образованные борозды попадает паводковая и ливневая вода, ее объем пропорционален поперечному сечению борозды (рисунок 1), а именно площади треугольника АСЖ.

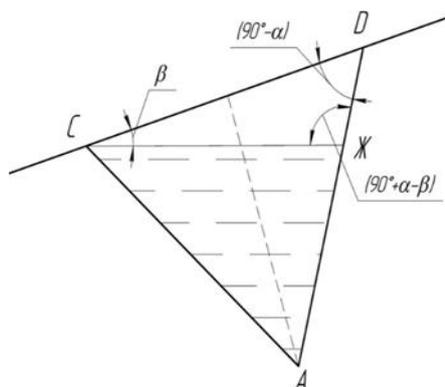


Рисунок 1 – Схема накопления воды в бороздах на склоне

Углы в вершинах треугольника CDЖ соответственно равны:

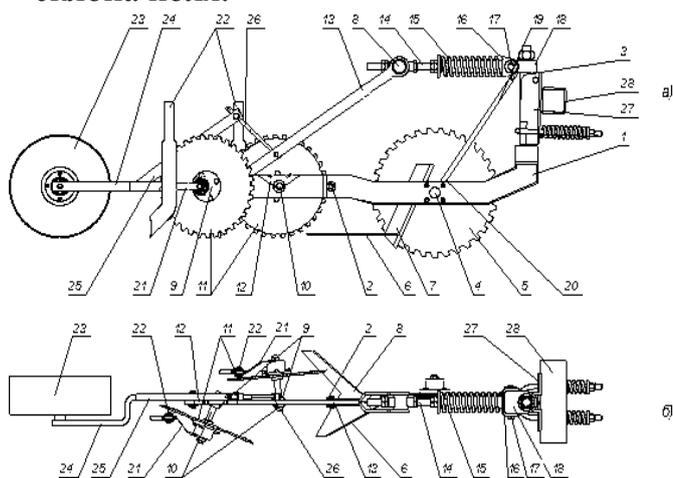
- в вершине С – угол склона поля β ;
- в вершине D – $(90 - 2\alpha)$
- в вершине Ж – $(180 - 90 + 2\alpha - \beta) = (90 + 2\alpha - \beta)$.

площадь поперечного сечения борозды $S_{АСЖ}$ определяется зависимостью:

$$S_{АСЖ} = h_{y0}^2 \cdot tg\alpha - 4h_{y0}^2 tg^2\alpha \frac{\sin\beta \cdot \sin(90-2\alpha)}{\sin(90+2\alpha-\beta)}, \quad (1)$$

где h_{y0} – глубина погружения дискового ножа, α – угол скалывания почвы.

Анализ полученного выражения показывает, что потенциальный объем накопления воды в бороздах, образованных дисковым ножом на склоне зависит от глубины внесения удобрений, угла скалывания почвы и угла склона поля.



а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – Г-образная стойка, 2 – шарнир, 3 – втулка, 4 – передняя ось, 5 – центральный дисковый нож, 6 – плоскорежущая стрелчатая лапа, 7 – стойка-тукопровод, 8 – втулка, 9 – шаровые шарниры, 10 – оси, 11 – посевные диски, 12 – крышки шаровых шарниров, 13 – кронштейн, 14 – регулируемая по длине тяга, 15 – пружина, 16 – вилка, 17 – палец, 18 – втулка, 19 – упор, 20 – выступ, 21 – кронштейны, 22 – тукосемяпроводы, 23 – каток, 24 – поводок, 25 – кронштейн, 26 – регулируемая тяга, 27 – кронштейн, 28 – рама

Рисунок 2 – Конструктивно-технологическая схема дисковой посевной секции зернотуковой сеялки.

Усовершенствованный способ посева зерновых на склонах реализуется модернизированной дисковой посевной секцией зернотуковой сеялки, включающей конструктивные элементы в виде дискового ножа, тукопровода и двух посевных дисков с семяпроводами (рисунок 2). (Патент РФ № 138141).

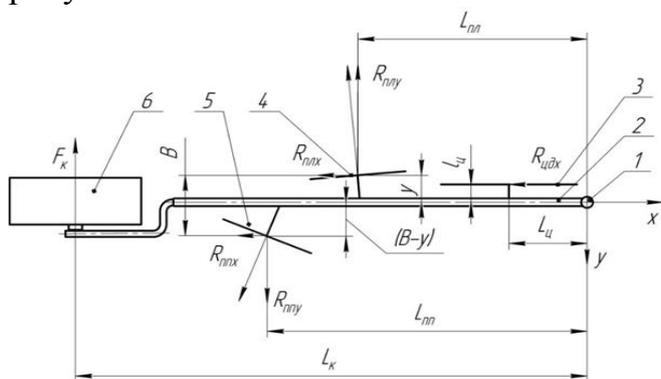
Дисковая посевная секция зернотуковой сеялки работает следующим образом. При опускании ее в рабочее положение сначала центральный дисковый нож 5, затем плоскорежущую лапу 6 и стойка-тукопровод 7 погружают в почву. Центральный дисковый нож 5 разрезает пожнивные остатки и корневища сорной растительности. Центральный дисковый нож 5 и конец стойки-тукопровода 7 образуют щель, куда по стойке-тукопроводу 7 подают основную дозу минеральных удобрений, обеспечивающую питание двум рядкам зерновых культур. Плоскорежущая стрелчатая лапа 6

подрезает и рыхлит почву на глубине посева. Посевные диски 11, идущие по уплотненному плоскорежущей стрелчатой лапой 6 ложу, создают борозды, куда по тукосемяпроводам 22 подают семена и стартовое удобрение.

Благодаря наличию шаровых шарниров 9, оси 10 с резьбовыми концами отклонены назад на угол, не превышающий 15° . После прохода посевных дисков 11 почва, смещенная ими к центру, занимает свое исходное положение, смыкая образованные борозды, после этого почву уплотняет каток 23. Силу прижатия катка 23 к почве контролируют регулировкой его по высоте относительно задней части Г-образной стойки 1 посредством изменения длины регулируемой тяги 26.

При наезде катка 23 на препятствие задняя часть Г-образной стойки 1 за счет шарнира 2 поднимается вверх на некоторый угол, сжимая пружину 15 тяги 14. После преодоления препятствия пружина 15 возвращает заднюю часть Г-образной стойки 1 в исходное положение.

Схема сил, действующих на конструктивные элементы дисковой посевной секции в горизонтальной плоскости в координатах xOy , представлена на рисунке 3.



B – ширина междурядья; $L_{ц}, l_{ц}$ – расстояние от оси поворота Г-образной стойки соответственно до оси вращения центрального диска и удаления его от оси симметрии стойки; $L_{пл}, L_{пп}, L_{к}$ – расстояние от оси поворота Г-образной стойки соответственно до точки приложения сил к левому, правому посевным дискам и катку; $l_{пл}, l_{пп}$ – расстояние от точки вращения соответственно

левого и правого посевных дисков до оси симметрии Г-образной стойки; 1 – ось поворота секции; 2 – Г-образная стойка; 3 – диск центральный; 4 – левый посевной диск; 5 – правый посевной диск; 6 – каток; F_k – сила трения катка о почву, направленная в поперечном направлении движению секции; $R_{тпу}$ и $R_{тпх}$ – силы сопротивления движению правого посевного диска в направлении соответственно оси Y и X ; $R_{плу}$ и $R_{плх}$ – силы сопротивления движению левого посевного диска в направлении соответственно оси Y и X ; $R_{цдх}$ – лобовое сопротивление центральному диску

Рисунок 3 – Схема сил (вид сверху)

Заметим, что сумма расстояний от точки вращения до оси симметрии Г-образной стойки левого и правого посевных дисков равна ширине междурядья.

Из схемы сил, действующих на конструктивные элементы посевной секции, видно, что она будет в равновесии в горизонтальной плоскости xOy при равенстве моментов, действующих по часовой и против часовой стрелки, а именно:

$$F_k \cdot L_k + R_{плу} \cdot L_{пл} + R_{тпх}(B - Y) = R_{цдх} \cdot l_{ц} + R_{плх} \cdot Y + R_{тпу} \cdot L_{пп} \quad (2)$$

Для решения уравнения моментов (2) необходимо знать силы, действующие на конструктивные элементы секции и плечи приложения этих сил.

Горизонтальная составляющая равнодействующей силы $R_{цдх}$ (рисунок 4), может быть найдена, если будет известна вертикальная составляющая $R_{цдз}$ и угол γ между вектором равнодействующей силы $R_{цд}$ и вертикалью.

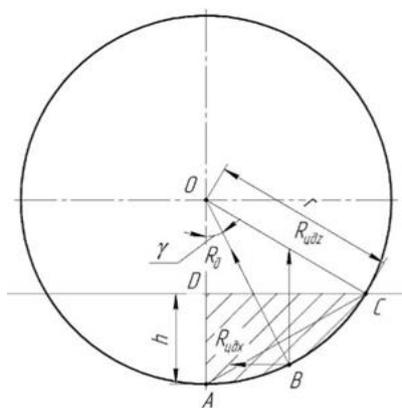


Рисунок 4 – Схема сил, действующих на центральный диск со стороны почвы

$$\frac{R_{цдх}}{R_{цдз}} = \operatorname{tg} \gamma, \text{ откуда } R_{цдх} = R_{цдз} \operatorname{tg} \gamma \quad (3)$$

Определим угол γ . Треугольники АОВ и DCA образованы взаимно перпендикулярными сторонами, поэтому углы АОВ и DCA равны углу γ .

Следовательно угол γ равен:

$$\gamma = \operatorname{arcsin} \sqrt{\frac{h}{2r}} \quad (4)$$

Тогда значение горизонтальной составляющей сопротивления диску со стороны почвы равно:

$$R_{цдх} = R_{цдз} \operatorname{tg} \operatorname{arcsin} \sqrt{\frac{h}{2r}} \quad (5)$$

В первом приближении работу диска, установленного под углом к направлению движения, возможно сравнить с работой отвала плуга. Исходя

из принятого допущения, лобовое сопротивление посевных дисков рассчитаем как произведение проекции площади сегмента АКВС на плоскость xOz и коэффициента удельного сопротивления почвы K_y , тогда сила $R_{плх}$ будет равна:

$$R_{плх} = S_{AKBC} \cdot \sin \tau_{л} \cdot K_y. \quad (6)$$

Произведение $S_{AKBC} \cdot K_y$ следует рассматривать как равнодействующую силу, приложенную к диску в горизонтальной плоскости xOy , расположенного под углом $\tau_{л}$.

Определим площадь поперечного сечения борозды, выраженную через глубину посева h_c и радиус диска $r_{п}$. Для этого необходимо знать площадь сегмента левого посевного диска, погруженного в почву (рисунок 5) и его угол атаки.

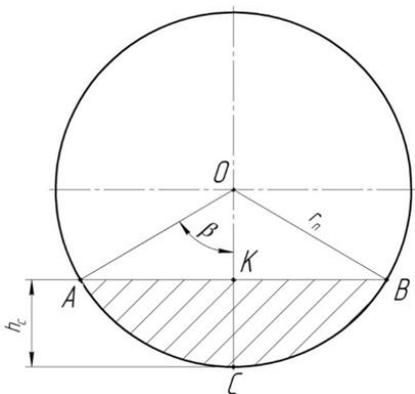


Рисунок 5 – Схема взаимодействия посевного диска с почвой

Площадь сегмента АКВС найдем по известным формулам, как разность сектора АОВС и треугольника АОВ:

$$S_{AKBC} = S_{AOBC} - S_{AOB}.$$

Площадь сектора АОВС равна:

$$S_{AOBC} = \frac{2\beta}{360} \pi r_{п}^2.$$

Угол β найдем из треугольника КОВ:

$$\frac{r_{п} - h_c}{r_{п}} = \sin \beta.$$

$$\text{Откуда } \beta = \operatorname{arcsin} \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right).$$

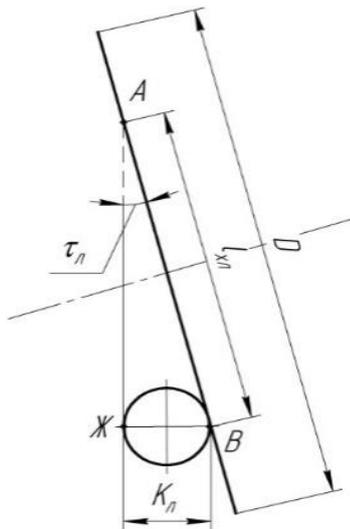
Площадь треугольника АОВ равна:

$$\begin{aligned} S_{AOB} &= (r_{п} - h_c) KB = (r_{п} - h_c) r_{п} \cos \beta = \\ &= (r_{п} - h_c) r_{п} \cos \operatorname{arcsin} \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right). \end{aligned}$$

Следовательно, площадь сегмента АКВС есть:

$$S_{AKBC} = \frac{2 \operatorname{arcsin} \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right) \pi r_{п}^2}{360} - r_{п} (r_{п} - h_c) \cos \operatorname{arcsin} \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right).$$

Так как посевной диск установлен под углом $\tau_{л}$ к направлению движения



$l_{хл}$ – длина хорды диска (границы контакта почвы с диском); D – диаметр диска; $\tau_{л}$ – угол атаки левого посевного диска; $K_{л}$ – ширина конца семяпровода, установленного за левым посевным диском

Рисунок 6 – Схема расположения левого посевного диска и семяпровода (вид сверху)

(рисунок б), площадь поперечного сечения борозды $S_{\delta л}$ будет равна:

$$S_{\delta л} = S_{AKBC} \sin \tau_{л}$$

За посевными дисками сбоку (в тени) установлены семяпроводы, их нижние концы помещены в борозды, следовательно, минимальная ширина верхней части борозды должна быть не менее ширины конца семяпровода $K_{л}$.

Угол атаки левого посевного диска определим исходя из минимального значения ширины борозды в верхней ее части, т.е. из треугольника АВЖ:

$$\frac{K_{л}}{l_{хл}} = \sin \tau_{л}.$$

Откуда $\tau_{л} = \arcsin \frac{K_{л}}{l_{хл}}$,

Но длина хорды $l_{хл}$ определяется зависимостью

$$l_{хл} = 2r \cos \beta = 2r \cos \arcsin \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right).$$

Следовательно, угол атаки левого посевного диска $\tau_{л}$ равен:

$$\tau_{л} = \arcsin \frac{K_{л}}{2r_{п} \cos \arcsin \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right)}.$$

Тогда с учетом выражения (6), зависимость (5) примет вид:

$$R_{плх} = \left[\frac{2 \arcsin \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right)}{360} \pi r_{п}^2 - r_{п} (r_{п} - h_c) \arcsin \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right) \right] \cdot \sin \arcsin \frac{K_{л}}{2r_{п} \cos \arcsin \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right)} K_y. \quad (7)$$

Сила, действующая по оси Y на левый посевной диск. $R_{плу}$, равна:

$$R_{плу} = \left[\frac{2 \arcsin \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right)}{360} \pi r_{п}^2 - r_{п} (r_{п} - h_c) \arcsin \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right) \right] \cos \arcsin \frac{K_{л}}{2r_{п} \cos \arcsin \left(1 - \frac{h_c}{r_{п}} \right)} \cdot K_y \quad (8)$$

Таким образом, силы, действующие на левый посевной диск в горизонтальной плоскости xOy, зависят от: ширины конца семяпровода, $K_{л}$ радиуса диска $r_{п}$, глубины посева h_c и удельного сопротивления почвы K_y .

Вертикальную составляющую силы $R_{плз}$ найдем исходя из принятого положения, что равнодействующая горизонтальной $R_{плх}$ и вертикальной силы $R_{плз}$, действующей на диск, проходит через его ось вращения, т.е. необходимо знать угол $\gamma_{пл}$ между вертикалью и равнодействующей силой, он определяется зависимостью:

$$\gamma_{пл} = \arcsin \sqrt{\frac{h_c}{2r_{п}}}$$

Тогда вертикальная составляющая $R_{плз}$ силы, действующей на левый посевной диск, определится как:

$$R_{плз} = \frac{R_{плх}}{tg\gamma_{пл}} = \frac{R_{плх}}{tg\arcsin\sqrt{\frac{h_c}{r_{пл}}}} \quad (9)$$

Выразим составляющие равнодействующей, приложенной к правому полевому диску, через угол атаки $\tau_{пл}$.

Силу, действующую на правый полевой диск по оси OX и OY $R_{плх}$ найдем по зависимостям аналогичным (7) и (8):

$$R_{плх} = \left[\frac{2\arcsin\left(1-\frac{h_c}{r_{пл}}\right)}{360} \pi r_{пл}^2 - r_{пл}(r_{пл} - h_c) \cos \arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_{пл}}\right) \right] K_y \sin \tau_{пл}. \quad (10)$$

$$R_{плу} = \left[\frac{2\arcsin\left(1-\frac{h_c}{r_{пл}}\right)}{360} \pi r_{пл}^2 - r_{пл}(r_{пл} - h_c) \cos \arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_{пл}}\right) \right] K_y \cos \tau_{пл}. \quad (11)$$

Силу сопротивления правого полевого диска на оси Oz установим по зависимости аналогичной (4), т. е.:

$$R_{плз} = \frac{R_{плх}}{tg\gamma_{пл}} = \frac{R_{плх}}{tg\arcsin\sqrt{\frac{h_c}{r_{пл}}}}. \quad (12)$$

Здесь $\gamma_{пл}$ – угол между равнодействующей силой, проходящей через центр вращения правого полевого диска и вертикалью.

Одной из особенностей дисковой полевой секции является ее асимметричность: центральный диск смещен влево от оси симметрии Г-образной стойки; полевые диски устанавливаются под острыми углами к направлению движения и на различном расстоянии относительно оси поворота.

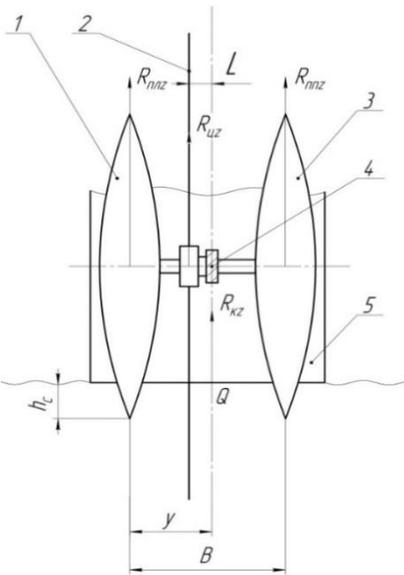
Принимаем условия: ось симметрии катка совпадает с осью симметрии Г-образной стойки; вертикальная сила, действующая на плоскорежущую лапу, со стороны пласта почвы, высотой равной глубине посева семян, мала и ею с целью упрощения аналитической модели ее работы пренебрежем.

Схема сил, действующих на дисковую полевую секцию в вертикальной поперечной плоскости, представлена на рисунке 7.

Уравнение моментов сил, действующих на дисковую полевую секцию в вертикальной поперечной плоскости uOz, относительно точки Q, лежащей на оси симметрии Г-образной стойки, имеет вид:

$$R_{плз} Y = R_{плз}(B - Y) + R_{цдз} L \quad (13)$$

Выше отмечалось, что сила $R_{плз}$ зависит от угла атаки $\tau_{пл}$, который не определен, следовательно полученная зависимость (13) есть функция двух переменных: угла атаки правого диска $\tau_{пл}$ и расстояния Y, на каком он установлен относительно оси симметрии Г-образной стойки. Это указывает на необходимость решения системы двух уравнений, включающих выражения (3) и (13).



- 1 - левый полевой диск;
- 2 - центральный диск;
- 3 - правый полевой диск;
- 4 - Г-образная стойка;
- 5 - каток

Рисунок 7 – Схема сил, действующих на дисковую полевую секцию в вертикальной поперечной плоскости (вид спереди)

$$\begin{cases} F_k L_k + R_{\text{плу}} L_{\text{пл}} + R_{\text{ппх}}(B - Y) - R_{\text{цдх}} l_{\text{ц}} - \\ \quad - R_{\text{плх}} Y - R_{\text{ппу}} L_{\text{пп}} = 0 \\ R_{\text{плз}} Y - R_{\text{ппз}}(B - Y) - R_{\text{цдз}} L = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Решая уравнения относительно переменных Y и $\tau_{\text{п}}$, найдем значение расстояния от линии движения правого посевного диска до оси симметрии Г-образной стойки и его угол атаки, тем самым обеспечим стабилизацию хода посевной секции как в плоскости xOy , так и в yOz .

Из второго уравнения системы находим выражение Y , получаем:

$$Y = \frac{R_{\text{ппз}} B + R_{\text{цдз}} L}{R_{\text{плз}} + R_{\text{ппз}}}$$

и подставим его в первое:

$$F_k L_k + R_{\text{плу}} L_{\text{пл}} + R_{\text{ппх}} B - (R_{\text{ппх}} + R_{\text{плх}}) \frac{R_{\text{ппз}} B + R_{\text{цдз}} L}{R_{\text{плз}} + R_{\text{ппз}}} - R_{\text{цдх}} l_{\text{ц}} - R_{\text{ппу}} L_{\text{пп}} = 0 \quad (15)$$

Изменяя угол $\tau_{\text{п}}$ и, находя значение сил, действующих на правый посевной диск, проводим расчеты по уравнению (15). Значение угла $\tau_{\text{п}}^{\text{опт}}$, когда будет выполнено условие (15), укажет на стабильность хода посевной секции в плоскости xOy .

В третьей главе «Программа и методика проведения экспериментальных исследований» в соответствии с поставленными задачами представлены экспериментальные установки, описаны методики получения экспериментальных данных и их обработки, приведено описание и принцип действия используемых приборов.

Для проведения исследований параметров дисковой посевной секции зернотуковой сеялки, была разработана установка для определения силы сопротивления погружению центрального диска (патент РФ № 152066), которая позволила изучить вопросы определения боковой силы, действующей на посевной диск, угла скалывания почвы плоским диском, равномерности глубины формирования борозд посевными дисками.

В четвертой главе «Результаты исследований и определение основных параметров дисковой посевной секции» определены основные геометрические размеры посевной секции, полученные в процессе разработки макетного образца путем изготовления ряда вариантов и их проверки на работоспособность на различных фонах, обеспечивающие процесс сева двух рядков семян и одного рядка удобрений ниже уровня посева.

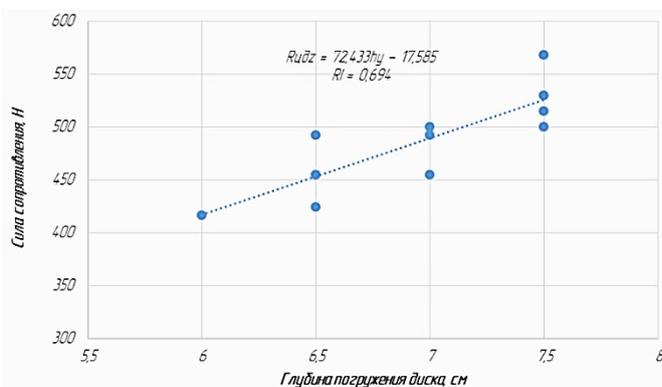


Рисунок 8 – Изменение силы сопротивления

На рисунке 8 представлены результаты экспериментальных исследований по изменению силы сопротивления погружению диска в почву при скорости движения 3,33 м/с. Из графика видно, что для погружения диска на глубину 7 см потребуется сила, равная 485 Н.

Наряду с определением силы сопротивления погружению в почву определялся и угол скалывания (рисунок 9). Выполнено 50 замеров

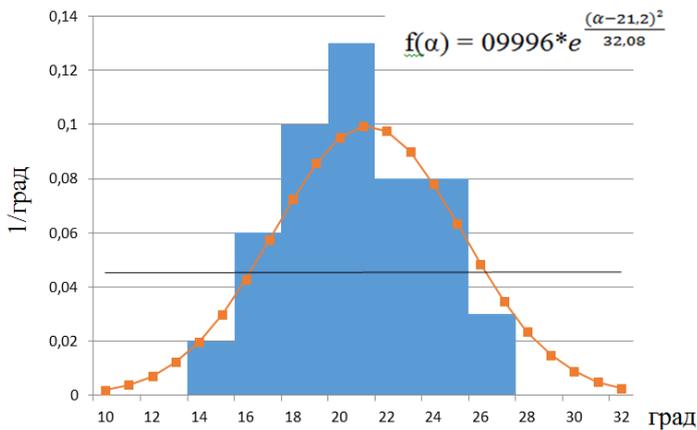


Рисунок 9 – Гистограмма и функция нормального распределения угла скалывания почвы

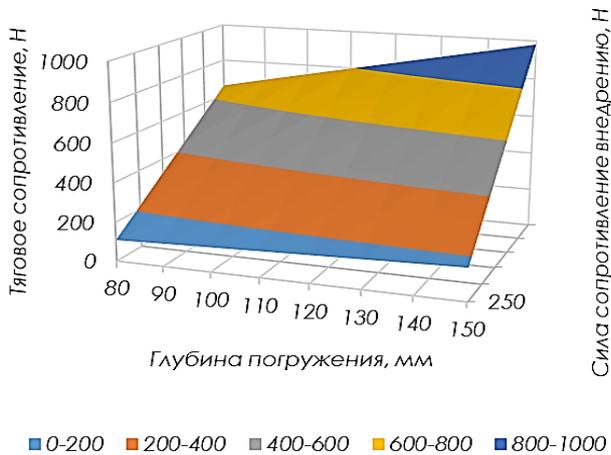


Рисунок 10 – Влияние глубины погружения и сопротивления внедрению диска в почву на его тяговое сопротивление

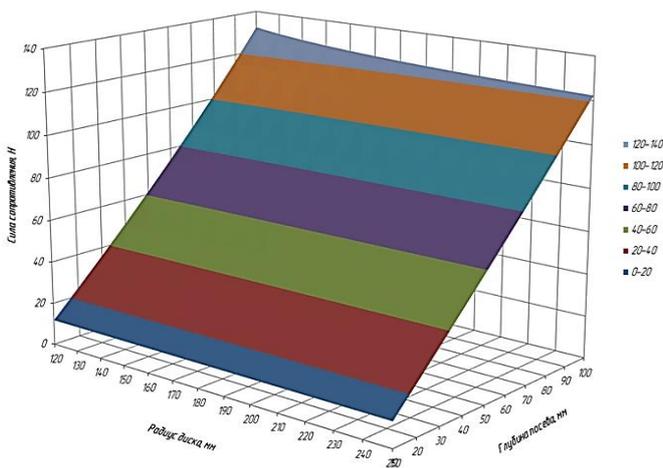


Рисунок 11 – Влияние радиуса левого посевного диска и глубины погружения в почву (глубины посева) на его тяговое сопротивление по оси O_x, Н

13. При удельном сопротивлении почвы сдвигу равном 35 кН/м^2 , глубине посева $h_c = 0,07 \text{ м}$ и радиусе посевного диска $r_{\text{п}} = 0,2 \text{ м}$ они соответственно равны

ширины борозды в верхней ее части и глубины.

В результате обработки экспериментальных данных, установлено: среднее значение угла скалывания почвы $\bar{\alpha} = 21,2$; среднеквадратическое отклонение $\sigma^2 = 4$.

Проверка работоспособности дисковой посевной секции в полевых условиях обусловило исследование сил, действующих на диски и каток. Изменение сопротивления центрального диска по оси O_x определяется формулой (5), а графическое изображение тягового сопротивления показано на рисунке 10.

Рисунок 10 показывает, что сопротивление внедрению плоского диска в почву оказывает влияние на силу тяги намного больше, чем глубина его погружения. Действительно, при изменении силы сопротивления погружению от 250 Н до 1500 Н тяговое сопротивление возрастает на 818 Н, а если изменить глубину рыхления с 0,08 м по до 0,15 м, то тяговое сопротивление увеличивается лишь на 55 Н.

Это происходит из-за разной длины проекций дуги окружности диска, находящейся в почве, на соответствующие оси. Тяговое сопротивление диска зависит от величины проекции дуги на вертикальную ось O_z, а сила сопротивления погружения – проекция на ось O_x, как видно из рисунка 4 она значительно больше проекции на ось O_z.

Графическое изображение изменения сил по осям O_x, O_y, O_z изображено на рисунках 11, 12 и

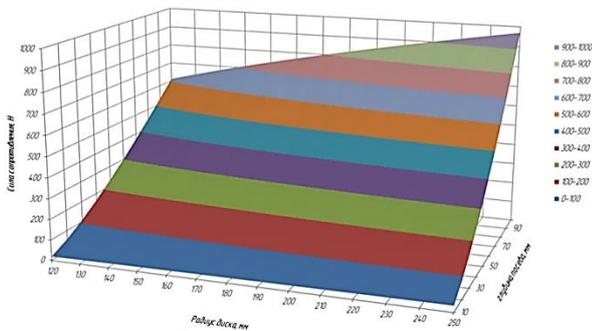


Рисунок 12 – Влияние радиуса левого посевного диска и глубины погружения (глубины посева) на силу сопротивления по оси Oy, Н

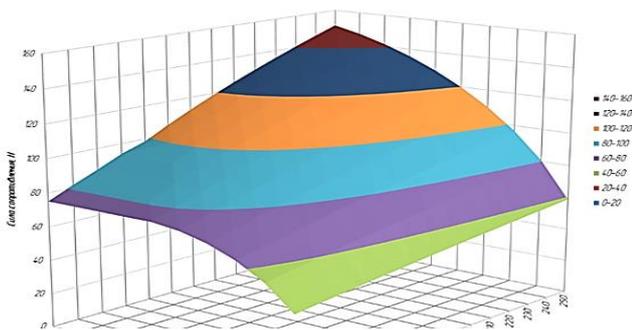


Рисунок 13 – Влияние радиуса левого посевного диска и глубины погружения в почву (глубины посева) на сопротивление по оси Oz, Н

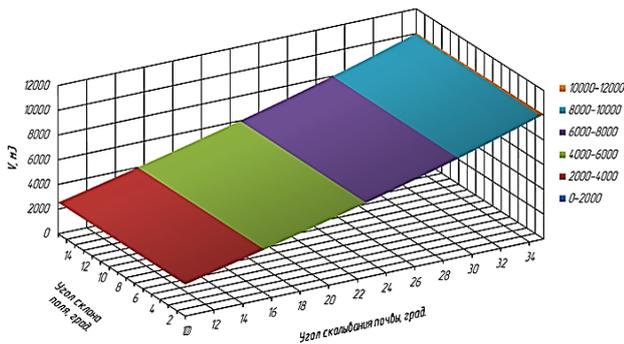


Рисунок 14 – Влияние углов склона и скалывания почвы на изменение потенциального объема воды в бороздах

Характер изменения потенциального объема накопления воды от угла скалывания почвы и угла склона поля показан на рисунке 14.

Исследованиями установлено, что среднее значение угла скалывания почвы равно $21,2^\circ$, а среднее значение угла откоса полей для Центрально-Черноземной зоны – $2,01^\circ$. Тогда при глубине погружения диска $h_{y_0} = 0,12$ м, потенциальный объем накопления влаги на одном гектаре составит 5235 м^3 .

В пятой главе «Эффективность применения разработанной дисковой посевной секции зернотуковой сеялки» установлено, что при среднем значе-

$$R_{\text{плх}} = 85 \text{ Н}, \quad R_{\text{плу}} = 510 \text{ Н}, \quad R_{\text{плз}} = 116 \text{ Н}.$$

Как видно, наибольшее значение содержит составляющая равнодействующей силы направленная по оси Oy, действующая в поперечном направлении движению секции, это есть результат значительного размера проекции площади соприкосновения контакта посевного диска с почвой на плоскость xOz.

Левый и правый посевные диски выполняют одни и те же функции, по этой причине расчет сил по осям Ox, Oy, Oz, действующих на невинный правый диск, будет проводиться по формулам, аналогичным выше приведенным, с той только лишь разницей, что введена переменная угол атаки $\tau_{\text{п}}$ (11), (12), (13).

Выполненные расчеты показали, что при удельном сопротивлении почвы 35 кН/м^2 , радиусе посевного диска 0,20 м тяговое сопротивление от глубины посева и угла атаки по оси Ox изменяется незначительно, так при изменении глубины посева от 0,01 м до 0,10 м и угла атаки начиная от 0 до 20° сопротивление изменилось от 0 до 284 Н, но по оси Oy – от 30 до 808 Н.

Причем с увеличением угла атаки правого посевного диска сила сопротивления по оси Oy снижается, так при глубине посева 70 мм изменение угла атаки с 6 до 20° она уменьшилась с 514 до 485 Н, но по оси Ox она выросла с 54 до 90 Н, это объясняется тем, что при повороте посевного диска изменяется площадь проекции части диска, находящейся в почве, на плоскости соответственно xOz и yOz.

нии угла склона $2,5^\circ$, угле скалывания $21,2^\circ$ и глубине погружения $0,12$ м потенциальный объем накопленной влаги составляет 6285 м^3 на 1 га. Экономическая эффективность применения зернотуковой сеялки, оснащенной разработанной дисковой посевной секцией, в сравнении с зарубежным аналогом за весь срок службы составит $4,11$ млн. рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа использования средств механизации по комбинированному посеву зерновых культур с одновременным внесением удобрения разработана конструктивно-технологическая схема посевной секции зернотуковой сеялки на базе дисков, обеспечивающая выполнение четырех технологических операций за один проход агрегата: рыхление почвы в зоне посева, внесение основного удобрения ниже уровня размещения семян, посев двух рядков стартовым удобрением, уплотнение почвы над семенами. (Патент РФ №138141).

2. Разработаны аналитические модели:

- формирования борозды под основное удобрение, позволяющая определить ее параметры и объем накопления влаги при работе агрегата поперек склона от угла скалывания почвы и склона;

- взаимодействия дисков с почвой, позволяющая установить конструктивно-технологические параметры посевной секции: углы атаки посевных дисков, расстояние установки их до оси симметрии Г-образной стойки, силу прижатия катка к почве.

3. С целью экспериментального определения составляющих равнодействующих сил центрального и посевных дисков разработана, изготовлена и использована установка (Патент Российская федерация РФ №152066) для определения зависимости силы от глубины погружения. Определено, что в диапазоне глубины погружения плоского диска радиусом $0,25$ м от $0,05$ до $0,10$ м зависимость имеет линейный характер, при твердости почвы $43,1 \text{ Н/см}^2$ и погружении диска на $0,07$ м сила сопротивления внедрению составила 485 Н .

4. Установлено, что ширина борозды для семян в верхней ее части $0,05$ м обеспечивается посевным диском радиусом $0,20$ м при угле атаки $5,7^\circ$. Изменение угла атаки в пределах от $5,7^\circ$ до 20° при глубине хода посевного диска $0,07$ м приводит к снижению силы сопротивления в поперечной плоскости лишь на 29 Н , такой характер изменения силы исключает возможность стабилизации хода посевной секции в горизонтальной плоскости путем изменения углов атаки посевных дисков без учета стабилизирующей роли катка.

5. Расчеты показывают, что в диапазоне изменения глубины посева от $0,03$ до $0,10$ м и расстояния правого посевного диска до оси симметрии Г-образной стойки от $0,03$ до $0,13$ м, сила прижатия катка, обеспечивающая стабилизацию хода посевной секции в горизонтальной и вертикальной плоскостях изменяются от 70 до 428 Н , при глубине посева $0,07$ м и расстоянии правого посевного диска от оси симметрии стойки $0,07$ м сила прижатия катка должна составлять 262 Н .

6. Экспериментальными исследованиями установлено, что угол скалывания почвы при проходе плоского диска радиусом $0,25$ м описывается законом нормального распределения при среднем значении равном $21,2^\circ$, среднеквадра-

тическом отклонении - 4° , потенциальный объем накопления влаги в бороздах при обычном среднем значении угла склона поля $2,5^\circ$ составляет 5235 м^3 .

7. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлены рациональные параметры дисковой посевной секции, они равны: расстояние от оси поворота секции до места установки на Г-образной стойки центрального диска радиусом $0,25 \text{ м} - 0,37 \text{ м}$, х посевных дисков радиусом $0,20 \text{ м}$ соответственно левого - $0,87 \text{ м}$, правого - $1,27 \text{ м}$, их углы атаки - $5,7^\circ$, расстояние от оси поворота до оси катка радиусом $0,23 \text{ м} - 1,86 \text{ м}$, сила прижатия катка не менее 428 Н .

8. Экономический эффект от применения зернотуковой сеялки, оснащенной разработанной дисковой посевной секцией, в сравнении с зарубежным аналогом за весь срок службы составит $4,11 \text{ млн. руб.}$

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях

1. Скурятин Н.Ф. Обоснование конструктивно-технологической схемы сошника анкерного типа [Текст] / Скурятин Н.Ф., Жилияков А.Л., Ларин А.А. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. №4. С. 94-98.

2. Скурятин Н.Ф. Четыре операции за один проход [Текст] / Скурятин Н.Ф., Скурятин А.Н., Новицкий А.С., Жилияков А.Л. // Сельский механизатор. 2014 №12. С. 4-5.

3. Бондарев А.В. Разработка конструктивно-технологической схемы посевной секции зернотуковой сеялки прессового типа [Текст] / Бондарев А.В., Жилияков А.Л., Журбенко С.Ю., Скурятин Н.Ф. // Вестник НГИЭИ. 2016. №12(67). С. 40-45.

Патенты

4. Патент 138141 РФ, МПК А01С7/00 (2006,01). Посевная секция зернотуковой сеялки. [Текст] / Новицкий А.С., Жилияков А.Л., Скурятин А.Н.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Белгородская государственная академия имени В.Я. Горина». – 2013150758/13; заяв. 14.11.2013; опубл. 27.02.2014.

5. Патент 2569630 РФ, МПК А01С7/20 (2006.01), А01С5/06 (2006.01). Посевная секция анкерного типа [Текст] / Скурятин Н.Ф., Жилияков А.Л., Ларин А.А., Цыпкина И.В.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Белгородская государственная академия имени В.Я. Горина». – 2014103712/13; заяв. 10.08.2015; опубл. 27.11.2015.

6. Патент 152066 РФ, МПК А01В17/00 (2006.01). Установка для определения силы сопротивления погружению диска в почву [Текст] / Скурятин Н.Ф., Новицкий А.С., Жилияков А.Л., Журбенко С.Ю.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Белгородская государственная академия имени В.Я. Горина». – 2015100540/13; заяв. 12.01.2015; опубл. 27.04.2015.

7. Патент 165367 РФ, МПК А01В17/00 (2006.01). Устройство для определения сил, действующих на диск, установленный под углом к направлению движения [Текст] / Скурятин Н.Ф., Новицкий А.С., Жилияков А.Л., Журбенко С.Ю.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Белгородская государственная академия имени В.Я. Горина». – 2016108595/13; заяв. 09.03.2016; опубл. 20.10.2016.

8. Патент 2614800 РФ, А01С7/20 (2006.01). Посевная секция зернотуковой сеялки прессового типа. [Текст] / Скурятин Н.Ф., Бондарев А.В., Жилияков А.Л.,

Журбенко С.Ю.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Белгородский ГАУ имени В.Я. Горина». – 2015150799; заяв. 26.11.2015; опублик. 29.03.2017.

Статьи в других изданиях

9. Скурятин Н.Ф. Совершенствование дисковой посевной секции зернотуковой сеялки прямого посева [Текст] / Скурятин Н.Ф., Скурятин А.Н., Хализев Я.П., Жилияков А.Л. // в сборнике: Современные проблемы инновационного развития агроинженерии Материалы международной научно-производственной конференции в 2 частях. 2012. – С. 100.

10. Новицкий А.С. Обоснование конструктивно-технологической схемы дисковой посевной секции зернотуковой сеялки прямого посева [Текст] / Новицкий А.С., Жилияков А.Л. // в сборнике: Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика Материалы международной заочной научно-практической конференции 2014 г. №3 ч.4. С. 443-446.

11. Скурятин Н.Ф. Совершенствование способа посева зерновых на склонах [Текст] / Скурятин Н.Ф., Новицкий А.С., Бондарев А.В., Жилияков А.Л., // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2015. №2 (6). С. 14-19.

12. Скурятин Н.Ф. К вопросу посева зерновых на склонах [Текст] / Скурятин Н.Ф., Новицкий А.С., Жилияков А.Л. // в сборнике: Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий Материалы XIX Международной научно-производственной конференции. ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. 2015. С. 67-68.

13. Жилияков А.Л. Оценка устойчивости хода дисковой посевной секции зернотуковой сеялки [Текст] / Жилияков А.Л., Бондарев А.В., Скурятин Н.Ф., // в сборнике Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий Материалы XX Международной научно-производственной конференции. 2016. С. 33-34.

14. Жилияков А.Л. Агроэкологическая оценка формирования борозд под удобрение на склоне [Текст] / Жилияков А.Л., Скурятин Н.Ф., // в сборнике Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения Материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 41-44.

Монографии

15. Скурятин Н.Ф. Ресурсосбережение при посеве зерновых культур [Текст] / Скурятин Н.Ф., Новицкий А.С., Захаржевский А.П., Жилияков А.Л., Бондарев А.В. // Монография. – Москва-Белгород, 2015.

16. Новые технические решения для комбинированного посева зерновых культур: монография. / Н. Ф. Скурятин, А. В. Бондарев, А. С. Новицкий, А.Л. Жилияков, А.С. Куликов. – Москва; Белгород: ООО «Центральный коллектор библиотек «БИБКОМ», 2018 – 144 с. ISBN 978-5-905563-96-6.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 220.010.04 или выслать ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю. Телефон: (473)224-39-39, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Подписано в печать 2.07.2020г. Формат 60x84¹/₁₆. Бумага кн.-журн.

П.л. 1,0. Гарнитура Таймс. Тираж 100 экз. Заказ №20864.

Типография ФГБОУ ВО ВГАУ 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1.