

На правах рукописи

ГАБАЕВ АЛИЙ ХАЛИСОВИЧ

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЕЯЛКИ В УСЛОВИЯХ
ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нальчик – 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова» (г. Нальчик, КБР).

Научный руководитель: **Каскулов Мусабий Хабасович,**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Кобяков Иван Демидович,**
доктор технических наук, профессор

Кулаев Егор Владимирович,
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской»

Защита состоится «26» сентября 2017 г. в 13 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 220.060.06 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» по адресу: 196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2, (ФГБОУ ВО СПбГАУ), 2-й учебный корпус, ауд. 719.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан «__» _____ 2017 г. и размещен на сайтах: <http://vak2.ed.gov.ru>, <http://spbgau.ru>.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., профессор

Смирнов Василий
Тимофеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для осуществления заделки семян в почву применяются сошники различных конструкций. Наибольшее распространение получили сошники двухдисковые, анкерные, килевидные и лаповые.

Существующие сошники создают недостаточно благоприятные условия для прорастания семян и, как правило, неудовлетворительно работают в условиях повышенной влажности почв.

Исходя из вышеизложенного, актуальным является вопрос совершенствования технологии заделки семян и конструкции заделывающих рабочих органов для улучшения условий прорастания семян и обеспечения качества работы сеялок. Решение этого вопроса является важной задачей, имеющей научное и хозяйственное значение.

Данная работа направлена на совершенствование технологии заделки семян в почву и обоснование конструкции и параметров нового заделывающего рабочего органа, обеспечивающего создание более благоприятных условий для прорастания семян и эффективную работу посевного агрегата в условиях повышенной влажности почв.

Степень разработанности темы. Вопросами заделки семян в почву в разные годы занимались; П. Я. Лобачевский, С. Г. Ломакин, А. Б. Лурье, Е.И. Давидсон, В. В., Демчук Е.В., Ли, А. С. Абашкин, Кобяков И.Д, Комаристов, М. К. Амирханов, А. И. Беднов, Г. М. Бузенков, В. К. Бурлаков, Х. С. Гайнанов, А. П. Глотов, В. Г. Гнзюмедов, Г. К. Демидов, С. А. Ивженко, М.Х. Каскулов, А. Я. Карпенко, М. Б. Ероков, и др. Их исследования посвящены совершенствованию технологического процесса и конструкций различных рабочих органов посевных машин, в том числе заделывающих семена в почву.

Анализ работ по теме показал, что в настоящее время отсутствуют технологические и технические решения, направленные на создание новых посевных машин, которые обеспечивали бы качественное выполнение агротехнических требований при работе сеялок в условиях повышенной влажности.

Основной проблемой при посеве в условиях повышенной влажности почвы является залипание сошников почвой и потеря ими работоспособности, вследствие чего увеличивается тяговое сопротивление посевного агрегата, нарушается технологический процесс равномерного распределения семян по площади и требуемой глубине их заделки в почву.

В связи с этим возникает необходимость проведения теоретических и экспериментальных исследований по совершенствованию заделывающих рабочих органов, способных обеспечить посев семян сельскохозяйственных культур в условиях повышенной влажности почв.

Рабочая гипотеза: совершенствование технологии посева семян и конструкции заделывающего рабочего органа сеялки для работы в условиях повышенной влажности почвы.

Цель работы – повышение эффективности и качества посева путем совершенствования конструкции заделывающего рабочего органа посевной машины и обоснование основных параметров его конструкции.

Задачи исследований:

1. Обосновать с агротехнической точки зрения новый способ заделки семян и выделить критерии эффективности конструкции рабочего органа для заделки семян.
2. Теоретически обосновать конструкцию и основные параметры заделывающего рабочего органа зерновой сеялки.
3. Экспериментально исследовать в лабораторных и полевых условиях предлагаемую конструкцию заделывающего рабочего органа и установить его основные параметры.
4. Выполнить технико-экономическую оценку новой конструкции заделывающего рабочего органа.

Объект исследования – технологические процессы бороздоформирования и заделки семян в условиях повышенной влажности почв.

Предмет исследования – конструктивные параметры и режимы работы устройства для посева семян зерновых культур в условиях повышенной влажности почв.

Методика исследований. Теоретические исследования проводились с использованием основных положений высшей математики, теоретической механики и теории механизмов и машин. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях в соответствии с разработанными методиками, с использованием планирования многофакторного эксперимента и последующей статистической обработкой полученных данных.

Научная новизна полученных результатов:

- физическая и математическая модели работы зерновой сеялки с модернизированными бороздообразующими рабочими органами для посева семян зерновых культур в условиях повышенной влажности почв;
- теоретические зависимости для обоснования основных рабочих параметров модернизированного дискового бороздообразующего рабочего органа зерновой сеялки;
- математические зависимости для определения основных конструктивных параметров модернизированного дискового бороздообразующего рабочего органа зерновой сеялки;
- техническая новизна конструкции заделывающего рабочего органа и формируемая новой конструкцией борозда с уплотненными стенками и дном защищена патентом РФ № 2511237.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты проведенных исследований позволили разработать и обосновать новую конструкцию бороздообразующего рабочего органа, благодаря которой достигается уплотнение дна и стенок борозды, что вызывает подток влаги и питательных веществ к семенам, что в свою очередь способствует улучшению условий их прорастания. Уплотнение стенок борозды не позволяет почве осыпаться и закрывать дно борозды до укладки в него семян. Закрытие семян сверху рыхлой почвой препятствует испарению влаги и вместе с тем обеспечивает приток воздуха к семенам, что также благоприятно сказывается на их прорастании и дальнейшем развитии всходов.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований подтверждаются использованием апробированных методик, ГОСТов, ОСТов и РД, современной проверенной контрольно-измерительной аппаратурой; достаточной повтор-

ностью измерений; сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований; выступлениями на научно-технических конференциях и публикациями в открытой печати; внедрением в производство.

Экспериментальный образец сеялки изготовлен на ООО «Ремонтно-механический завод «Прохладненский», г. Прохладный, Кабардино-Балкарской Республики. Испытания сеялки проведены на сельскохозяйственных предприятиях Прохладненского района.

На защиту выносятся следующие основные положения:

- теоретическое обоснование конструктивно-технологической схемы сошника для работы в условиях повышенной влажности почв;
- теоретическое обоснование процесса формирования бороздки для семян предлагаемым бороздообразующим рабочим органом;
- экспериментальная оценка процесса работы зерновой сеялки с предлагаемым бороздообразующим рабочим органом.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях:

- межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов. – Нальчик, 2009;

- III Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике». – ВТСНТ. Томск, 2014;

- межвузовской научно-технической конференции молодых ученых. – Нальчик, 2015;

- Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные и научно-технические разработки и исследования молодых ученых». ФГБОУ ВО РГАТУ. Рязань, 2016;

- IV Международной научно-практической конференции «Современные технологии, актуальные вопросы, достижения и инновации». МЦНС «Наука и просвещение». Пенза, 2016;

- Всероссийской научной конференции «Современное общество: наука, техника, образование». Уфа, 2016;

- Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию А.П. Тарасенко, «Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве». Воронеж, 2017;

- II Международной научно-практической интернет-конференции «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования» ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия» Астраханская область, с. Соленое Займище, 2017.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 29 научных работ в ведущих научных и научно-технических изданиях, из них 6 в журналах, рекомендованных ВАК, а также получен патент РФ на изобретение. Общий объем публикаций составляет 7 печатных листов, из них личный вклад автора 5 печатных листов.

Структура и объем работы. Диссертация включает введение, 5 глав, общие выводы и список использованных источников из 146 наименований. Работа изложена на 147 страницах и содержит 7 таблиц, 46 рисунков и 12 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, представлены цель и задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проведен анализ литературной и патентной информации, поставлена цель и сформулированы задачи исследования.

Во **второй главе** описана предлагаемая технология заделки семян в почву, устройство и работа предлагаемого дискового бороздообразующего рабочего органа.

Для осуществления предложенной технологии разработан заделывающий рабочий орган согласно патенту РФ № 2511237.

Устройство для посева семян зерновых культур в условиях повышенной влажности почв работает следующим образом (рис. 1 а, б).

Дисковые ножи 1 с бороздообразующими накладками 2 углубляются в почву под воздействием спиральных пружин 16, надетых на штанги 17. При передвижении устройства, дисковые ножи 1 вращаются на шариковых подшипниках 5 и прорезают оставшиеся на поверхности поля пожнивные остатки и комки почвы, а бороздообразующие накладки 2 формируют геометрически правильную форму борозды. Бороздообразующие накладки 2 изготовлены из полимерного материала, обладающего гидрофобными свойствами, что снижает вероятность залипания рабочих поверхностей влажной почвой, а также обеспечивает большую равномерность заделки семян по глубине. При этом семена зерновых культур по семяпроводу 14 направляются в делительную воронку 15, в которой поток семян разделяется и укладывается равномерно на дно борозды. Для предотвращения попадания песка и пыли на шариковый подшипник 5, ступица 3 снаружи закрыта крышкой 4, а внутри, между боковым круглым выступом 7 и корпусом 8, находится резиновый кольцевой уплотнитель 9.

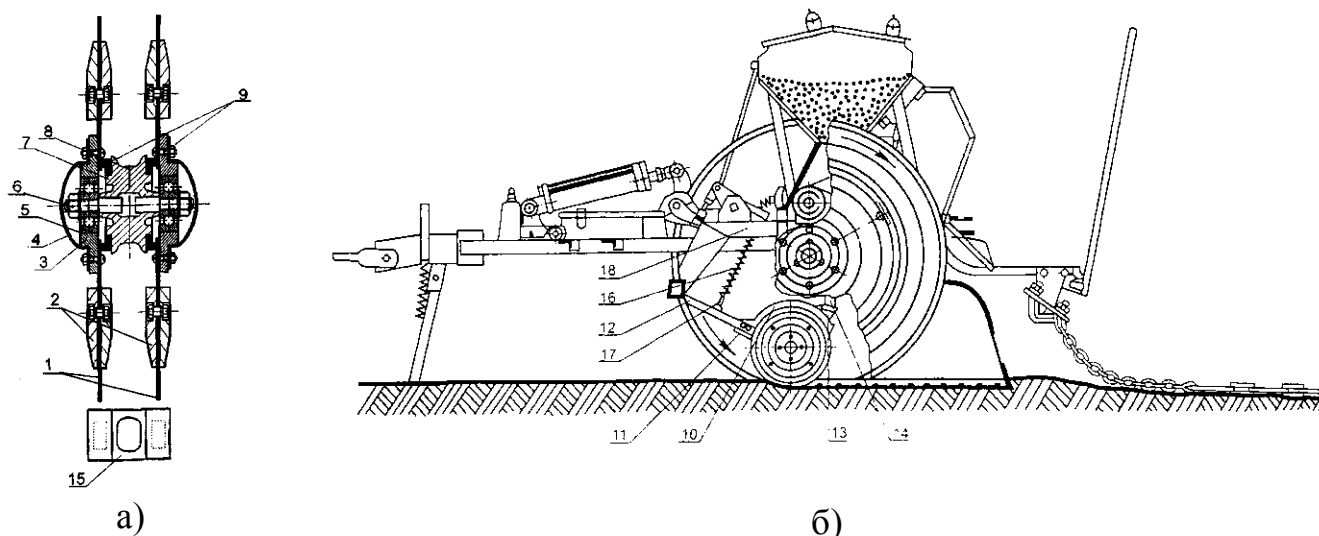


Рисунок 1 а – модернизированное бороздообразующее устройство;
б - сеялка с предлагаемыми бороздообразующими устройствами:

Использование устройства также позволяет сформировать бороздку для семян с уплотненными стенками и дном, что обеспечит семена необходимой площадью питания.

Таким образом, предлагаемое устройство для посева семян зерновых культур обеспечивает равномерность распределения семян и повышает работоспособность сеялки за счет снижения вероятного залипания рабочих поверхностей сошников почвой и пожнивными остатками при посеве в условиях повышенной влажности почвы.

В данной главе теоретически определена результирующая сила сопротивления резанию почвы лезвием бороздообразующего устройства (рис. 2), которая, после математических преобразований исходных выражений примет следующий вид:

$$R_1 = \frac{p}{h} \delta \cdot r \left[\sqrt{h(2r - h)} - (r - h) \arccos\left(1 - \frac{h}{r}\right) \right] \quad (1)$$

Точка приложения силы R_1 находится на лезвии, разрезающем почву.

Изменение глубины хода сошника во время работы происходит в результате изменения внешних воздействий на него. При движении сошника на него действуют следующие силы (рис. 3):

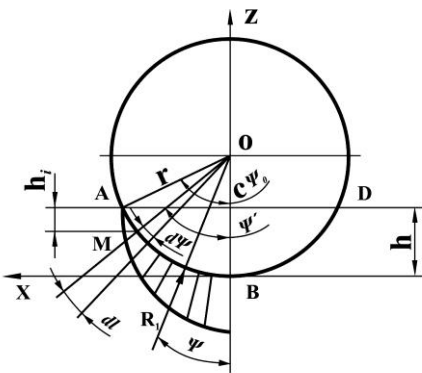


Рисунок 2 – Схема к определению сил, действующих на лезвие диска со стороны почвы

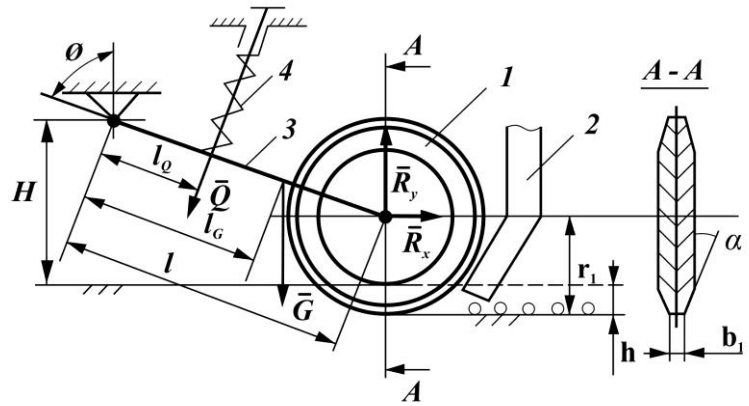


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на сошник:
1 – бороздообразующий диск; 2 – направляющий диск;
3 – поводок, 4 – нажимная штанга с пружиной

G – сила тяжести, Н; R_x, R_y – вертикальная и горизонтальная составляющие реакции почвы, Н; Q – сила напряжения пружины, Н.

Обозначим:

l, l_Q, l_G – расстояния от оси подвеса до точек приложения сил, м; H – высота подвеса сошника, м; h – глубина хода сошника, м; φ – угол отклонения поводка от вертикали.

Как видно из рисунка 3:

$$h = l \cos \varphi - H + r_1 \quad (2)$$

При работе сошник будет испытывать внешние воздействия в виде изменений реакции почвы R_x и R_y , для определения значений этих реакции воспользовались соотношениями, предложенными М.Н. Летошневым:

$$R_{1x} = q \frac{h_0^2}{2} b_1 \quad (3)$$

$$R_{1y} = \frac{2}{3} q b_1 \sqrt{2 r_1 h_0^{1.5}}, \quad (4)$$

С учетом того что, нормальная реакция на лезвии диска сошника изменяется с изменением глубины его хода согласно

$$\sigma = q \cdot h, \quad (5)$$

Таким образом, после ряда математических преобразований получили уточненные значения реакции R_x и R_y :

Горизонтальная составляющая;

$$R_x = qh_0 \left(\frac{h_0 b_1}{2} + \sin \alpha (f + tg \alpha) \frac{h_0^2}{3} \right) \quad (6)$$

Вертикальная составляющая;

$$R_y = \frac{2\sqrt{2}}{3} q (b_1 \sqrt{r_1} \cdot h_0^{1.5} + \frac{1}{24} \sin \alpha (tg \alpha + f) (2\sqrt{r_1 h_0} (8r_1 h_0 + 3h_0^2 - 3r_1^2) - 3(r_1 - h_0)^3 \ln \left| \frac{\sqrt{\frac{r_1}{h_0}} - 1}{\sqrt{\frac{r_1}{h_0}} + 1} \right|)), \quad (7)$$

которые также зависят от коэффициента объемного смятия почвы q .

Изменение коэффициента q вызывает колебания сошника относительно положения равновесия. Тогда уравнение колебаний сошника может быть записано:

$$J\varepsilon = -Gl_G \sin \varphi + R_y l \sin \varphi + R_x l \cos \varphi - Ql_Q, \quad (8)$$

где J – момент инерции сошника относительно оси подвеса, Н·м²; ε – угловое ускорение сошника.

Принимаем направление вектора реакции Q перпендикулярным поводку.

Допустим $\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$,

где φ_0 – угол, заключенный между вертикалью и линией поводка в его равновесном положении; $\Delta\varphi$ – отклонение сошника от положения равновесия.

Принимаем, из-за малости $\Delta\varphi$, $\cos \Delta\varphi = 1$; $\sin \Delta\varphi = \Delta\varphi$.

Выполнив преобразования, получим:

$$J(\Delta\varphi''(q')^2 + \Delta\varphi'q'') = E\Delta\varphi + D\Delta q \quad (9)$$

или, если принять, что $q' = const$, то:

$$J\Delta\varphi''(q')^2 = E\Delta\varphi + D\Delta q, \quad (10)$$

где $q' = \frac{dq}{dt}$ – скорость изменения коэффициента q по времени, Н/(м³·с);

$$\Delta\varphi = \frac{d^2\varphi}{dq^2};$$

$$E = -Gl_G \cos \varphi_0 + R_y^0 l \cos \varphi_0 - R_x^0 l \sin \varphi_0 - k_n l_Q^2 + \left| \frac{\delta R_y}{\delta \varphi} \right|_0 l \sin \varphi_0 + \left| \frac{\delta R_x}{\delta \varphi} \right|_0 l \cos \varphi_0;$$

$$D = \left| \frac{\delta R_y}{\delta q} \right|_0 l \sin \varphi_0 + \left| \frac{\delta R_x}{\delta q} \right|_0 l \cos \varphi_0.$$

Значение коэффициента E зависит от силы тяжести сошника G и коэффициента жесткости пружины k_n . Поэтому, чем больше масса сошника и величина коэффициента k_n , тем более устойчиво движется сошник.

Преобразовав уравнение $h = l \cos \varphi - H + r_1$, получим:

$$h = h_0 - \Delta\varphi \sqrt{l^2 - (h_0 + H - r_1)^2}, \quad (11)$$

где h – глубина хода сошника в равновесном положении.

Как видно из приведенных выше зависимостей, к основным конструктивным параметрам непосредственно сошника (без учета подвески), влияющим на изменение глубины его хода, относятся: радиус r_1 , угол конусности α накладок и ширина их цилиндрической части b_1 . Следовательно, эти параметры следует оптимизировать, исходя из требований равномерности глубины заделки семян.

Далее определены условия перекатывания бороздообразующего диска, который должен образовывать борозду путем смятия почвы.

$$2r_1 \geq \frac{2fK + \frac{9}{32}h_0 + \sqrt{\frac{9}{8}h_0fK + \frac{81}{1024}h_0^2}}{f^2}, \quad (12)$$

где $2r_1$ – диаметр диска, м.

Для нормальной работы бороздообразующего диска необходимо, чтобы диск разрезал почву на требуемую глубину не сгруживая ее перед собой, т.е. должно соблюдаться условие:

$$\lambda \geq \varphi_1 + \varphi_2, \quad (13)$$

где λ – угол защемления; φ_1 – угол трения почвы о диск; φ_2 – угол трения почвы о почву (внутреннее трение)

Согласно условию (12):

$$2r_1 \geq 2 \frac{h_0 + r_k(1 + \cos(\varphi_1 + \varphi_2))}{1 - \cos(\varphi_1 + \varphi_2)}, \quad (14)$$

Таким образом, условия (12) и (14) определяют допустимый диаметр лезвия бороздообразующего диска, который определяется глубиной его хода и трением почвы о диск и почвы о почву.

Из зависимости (12) видно, что с увеличением коэффициента трения минимальный допустимый диаметр уменьшается.

С учетом минимальных значений коэффициента трения и среднего радиуса комка почвы $r_k = 0,5$ см уточняем минимальный диаметр бороздообразующего устройства, который составит 0,29 м.

Ширина бороздообразующей накладки по её внешней окружности определяет ширину дна борозды, которая должна быть достаточной для укладки семян, поступающих из высевающего аппарата, а также обеспечить хороший контакт их с уплотненной почвой дна борозды. Для этого необходимо, чтобы ширина обода была больше максимальной длины укладываемого семени т.е.:

$$b_1 \geq l_{\max} \quad (15)$$

Высота конической части бороздообразующей накладки выбирается исходя из оптимальной глубины заделки семян в почву, которая, как известно, зависит от ряда факторов (типа почвы, её состояния, вида высеваемой культуры, и даже от природно-климатической зоны, в которой осуществляется посев).

Проанализировав вышеизложенное, определяем значение высоты конической части бороздообразующей накладки, исходя из максимальной глубины заделки семян для зерновых культур, которую принимаем: $h_k = 0,06 \dots 0,08$ м.

Угол конической части бороздообразующей накладки определяет угол наклона стенок борозды. Стенки борозды не должны преждевременно осыпаться, что приведет к закрытию уплотненного дна осыпавшейся почвой.

Осыпание почвы со стенок борозды происходит под действием силы тяжести, действующей на почвенные частицы. Препятствует этому процессу сила внутреннего трения в почве, и, кроме того, в связных почвах действует сила сцепления частиц почвы друг с другом. Мерой сопротивления движению почвенных частиц в связной почве служит коэффициент сдвига f_c , который играет такую же роль, как коэффициент внутреннего трения в сыпучих материалах. Причем, коэффициент сдвига для деформируемых почв является величиной переменной и зависит от величины внешней нагрузки, приложенной к почве.

Коэффициент сдвига определяется:

$$f_c = \frac{\tau}{\sigma}, \quad (16)$$

где τ – касательное напряжение, Па; σ – нормальное напряжение, Па.

Согласно исследованиям П.У. Бахтина σ и τ связаны между собой линейной зависимостью:

$$\tau = k_1 \sigma + k_2, \quad (17)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, зависящие от влажности почвы.

По П.У. Бахтину значения коэффициентов равно $k_1=0,5$; $k_2=24,5$ кПа при глубине хода сошника $h_0=0,06$ м и $q=10^6$ Н/м³.

С учетом этого нормальное давление на стенку борозды определим по выражению

$$\sigma = \frac{N}{S} = \frac{R_2 \cos \varphi}{S \sin(\alpha + \varphi)} = \frac{\sqrt{2}}{S \cdot 72} q \cdot \operatorname{tg} \alpha (2\sqrt{r_1 h_0} (8r_1 h_0 + 3h_0^2 - 3r_1^2) - 3(r_1 - h_0)^3 \lg \left| \frac{\sqrt{\frac{r_1}{h_0}} - 1}{\sqrt{\frac{r_1}{h_0}} + 1} \right|), \quad (18)$$

где N – нормальная реакция стенки борозды, Н; S – площадь действия реакции N , м².

Таким образом, получим уточненное значение угла наклона образующей конической части бороздообразующего диска, т.е.: $\alpha=13^\circ$.

В третьей главе приведены программа и методика экспериментальных исследований.

Программой экспериментальных исследований предусмотрено:

- выявление основных физико-механических свойств почвы, используемой при проведении исследований (плотность, влажность, липкость);
- определение тягового сопротивления предлагаемой конструкции;
- нахождение оптимальных конструктивных параметров бороздообразующего рабочего органа (диаметра, угла конусности клиновидной части и т. д.);
- определение равномерности глубины заделки семян сошником.

Для экспериментальных исследований изготовили опытный образец бороздообразующего рабочего органа (рис 4). Для осуществления процесса качения сошника в лабораторных условиях использовали почвенный канал (рис. 5) научно-исследовательской лаборатории кафедры «Механизация сельского хозяйства» КБГАУ им. В.М. Кокова.



Рисунок 4 – Общий вид экспериментального сошника



Рисунок 5 – Общий вид почвенного канала

Для реализации первого пункта программы использовались стандартная методика и традиционные приборы, обычно используемые для этих целей, прошедшие очередную проверку в Госстандарте.

Для определения тягового сопротивления стандартного и экспериментального сошников использовали метод динамометрирования на лабораторной установке, представленной на схеме 6 и рисунке 7.

Как было установлено в главе 2 основными параметрами требующими оптимизации являются радиус r , угол конусности α и ширина цилиндрической части b бороздообразующего диска.

Для реализации данного пункта программы использовали метод теории планирования эксперимента. Для этого составили матрицу представляющую собой полуреплику полного факторного эксперимента для трех факторов на двух уровнях.

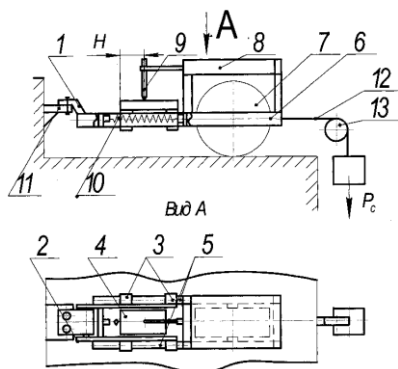


Рисунок 6 – Схема динамометрической установки



Рисунок 7 – Динамометрическая установка

На основании изучения литературных источников по теме и собственных исследований (см. глава 2) приняли уровни варьирования факторов представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов

Уровни варьирования	Факторы		
	r , [м]	b , [м]	α , [°]
Нижний (-)	0,10	0,015	10
Нулевой (0)	0,15	0,020	12,5
Верхний (+)	0,20	0,025	15

За критерий оптимизации приняли равномерность глубины хода бороздообразующего устройства, то есть его отклонение Δh от заданной глубины.

Для исключения влияния случайных факторов на результат эксперимента использовали метод рандомизации. Для чего приготовили карточки, на каждой из которых записали номер опыта и номер повторности, всего двадцать четыре карточки. Перед началом очередного опыта (повторности) вытаскивали одну из карточек и устанавливали уровни варьирования факторов предусмотренных тем номером опыта по матрице планирования, который указан на этой карточке.

Обработку экспериментальных данных производили с помощью табличного редактора Microsoft Excel надстройкой «анализ данных», программы STATISTIKA 6.0 и MathCad, позволяющих проводить статистический анализ.

Оценку адекватности математической модели реальному процессу проводили путем сравнения зависимостей, полученных теоретически и экспериментально.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Установлено, что в результате работы посевного агрегата борозда формируется за счет сжатия почвы и её сдвига, т.е. смещения одной части почвы по отношению к другой в результате бокового (тангенциального) давления. Для связных грунтов изменения сопротивления почвы при действии вертикальной нагрузки на грунт можно установить согласно графику, (рис. 8), а уравнение, представленной на графике зависимости, имеет вид:

$$R_g = N_0 \operatorname{tg} \varphi + C_0, \quad (19)$$

где N_0 – сила нормального давления; φ – угол внутреннего трения; C_0 – сила, соответствующая сопротивлению сдвигу и сжатию.

Если $\operatorname{tg} \varphi$ обозначить через f – коэффициент внутреннего трения, то уравнение прямой приобретает вид формулы для силы сопротивления трению, предложенной Кулоном

$$R_g = N_0 \operatorname{tg} \varphi + C_0, \quad (20)$$

где $\operatorname{tg} \varphi = f = \frac{\tau}{P}$.

Из этого выражения можно определить C_0 по методу Н.А. Цитковича:

$$C_0 = 0,18 \frac{P}{\pi DS}, \quad (21)$$

где P – нагрузка на грунт, кг; D – диаметр вдавливаемого шара, см; S – глубина вдавливания штампа, см.

Исследования по характеристике несущей способности почвы дают возможность раскрыть условия работы бороздообразующих дисков посевной машины и определить их основные конструктивные параметры с целью создания работоспособной сеялки для использования в условиях повышенной влажности почвы.

Процесс образования бороздок (семенного ложа) посевными машинами зависит не только от приведенных выше факторов, но также от конструктивных параметров и формы рабочего бороздообразующего диска. Исследования по определению профиля бороздки и энергетическую оценку сошника провели в лабораторных условиях на почвенном канале кафедры «Механизация сельского хозяйства» Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета имени В.М. Кокова.

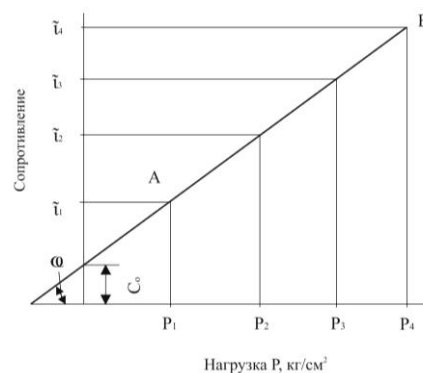


Рисунок 8 – График изменения сопротивления сдвигу (сжатию) от вертикальной нагрузки

Данные, полученные в результате реализации матрицы планирования, обработали на ЭВМ по стандартной методике и получили математическую модель в кодированном и раскодированном виде.

$$y = 13,2 - 0,640x_1 - 0,315x_2 - 0,790x_3 + 0,007x_1x_2 + 0,004x_2x_3 + 0,050x_1x_3;$$

$$\Delta h = 21,296 - 18,360 \cdot r - 73,835 \cdot b - 0,386 \cdot \alpha + 28 \cdot r \cdot b + 0,530 \cdot b \cdot \alpha + 0,400 \cdot r \cdot \alpha.$$

Оценка адекватности математической модели реальному процессу проводилась путем сравнения зависимостей, полученных теоретически и экспериментально. Полученные зависимости лежат в доверительной зоне с уровнем значимости менее 5%, что свидетельствует о совпадении теоретических и экспериментальных исследований и адекватности модели.

Поверхности отклика, построенные по сочетанию значимых факторов (диаметра и толщине бороздообразующей накладки) приведены на рисунках 10, 11, 12.

Анализ полученного уравнения показал, что значение функции отклика растет с ростом величины факторов r (радиус) и α (угол конусности), а рост фактора b (толщина накладки) приводит к уменьшению значения функции отклика.

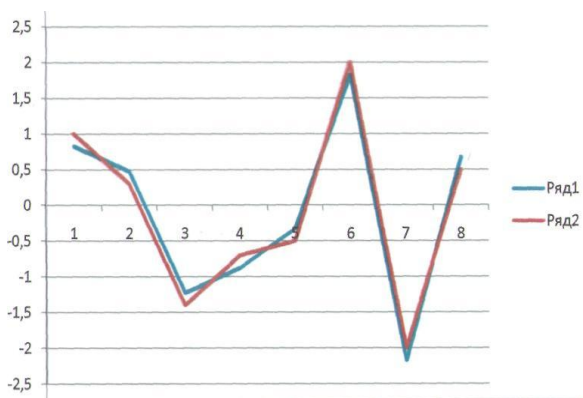


Рисунок 9 – График оценки адекватности модели

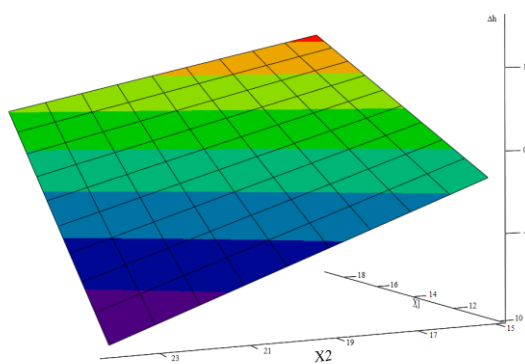


Рисунок 10. Зависимость отклонения глубины хода бороздообразующего устройства от диаметра и толщины бороздообразующих накладок

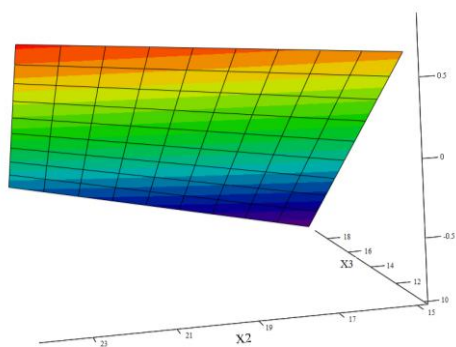


Рисунок 11. Зависимость отклонения глубины хода бороздообразующего устройства от толщины и угла конической части бороздообразующих накладок при постоянном диаметре бороздообразующих накладок

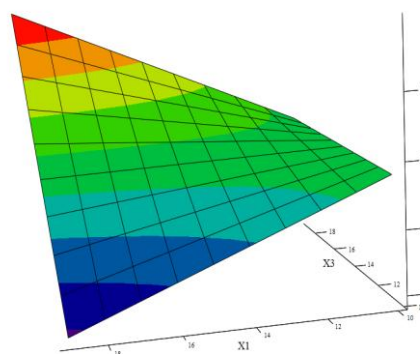


Рисунок 12. Зависимость отклонения глубины хода бороздообразующего устройства от диаметра и угла конической части бороздообразующих накладок при постоянной толщине бороздообразующих накладок

Δh – отклонение глубины хода бороздообразующего устройства; X_1 – диаметр бороздообразующей накладки; X_3 – угол конической части бороздообразующей накладки.

Допустимое максимальное отклонение глубины бороздки согласно агротехническим требованиям должна быть не более $\pm 0,01$ м. Это значение функции отклика ограничивает область оптимальных значений b и α . С другой стороны увеличение радиуса бороздообразующей накладки приводит к уменьшению значения функции отклика, таким образом рациональные значения исследуемых факторов находятся в следующих пределах: $r=0,15 \dots 0,18$ м, $b=0,015 \dots 0,020$ м, $\alpha=13 \dots 15^\circ$.

Провели опыты по исследованию степени уплотнения почвы и формирования бороздки при различных вертикальных нагрузках. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что, изменяя величину вертикальной нагрузки, можно сформировать бороздку различной глубины для различных видов сельскохозяйственных культур (пшеницы, ячменя, овса, семян трав и др.).

Опыты по определению сил сопротивления почвы провели на почвенном канале. Влажность почвы по горизонтам $0 \dots 5$ см и $5 \dots 10$ см составляла 23,5 и 27%, соответственно. Твердость почвы в тех же горизонтах была $1,8 \cdot 10^5$ и $2,5 \cdot 10^5$ Н/м².

Влияние на тяговое сопротивление оказывает также, глубина уплотнения бороздки. Как видно из рис. 13, глубина бороздки, т.е. деформация почвы полностью зависит от вертикальной составляющей силы R_y . Следовательно, для различных семян зерновых культур необходимую глубину заделки семян можно обеспечить за счет регулирования нагрузок на сошник, путем изменения степени сжатия регулировочной пружины на нажимной штанге сошника.

В результате производственной проверки установлено, что при повышении увлажнения почвы происходит налипание почвы на сошники серийной конструкции, что приводит к нарушению конфигурации бороздки, созданию предсошникового холма и, следовательно, к нарушению равномерности заделки семян на нужную глубину, т.е. к нарушению агротехнических требований к посеву.

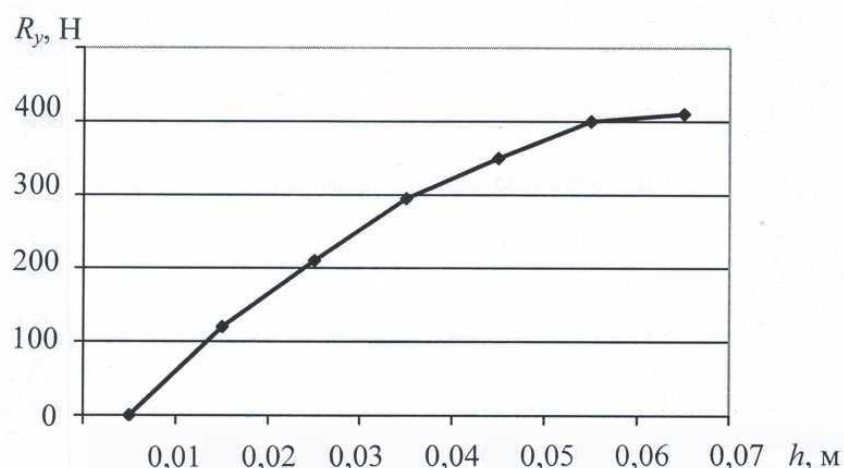


Рисунок 13 – Изменение вертикальной составляющей силы сопротивления почвы в зависимости от глубины уплотнения

Кроме того, нарастает внутреннее трение в почве, что значительно увеличивает тяговое сопротивление, а на отдельных видах почв и работа становится невозможной (рис. 14).

Для создания модернизированной сеялки взяли за основу сеялку СЗ-3,6. Как и обычная сеялка СЗ-3,6, модернизированная сеялка (рис. 15) предназначена для рядового или узкорядного посева семян зерновых колосовых культур (пшеницы, ржи, ячменя, овса) и зернобобовых (горох, фасоль, соя), а также мелкосеменных культур.

Суть модернизации состоит в следующем: с сеялки СЗ-3,6 снимаются традиционные дисковые сошники, а взамен устанавливаются (к каждому поводку) предлагаемые заделывающие рабочие органы (рис. 16 а, б).

Диски формируют такие бороздки, которые позволяют заделать семена на глубину 6-8 см, причем заделка семян на 90-93% происходит на точно заданную глубину.



Рисунок 14 – Работа предлагаемых (слева) и традиционных (справа) бороздообразующих устройств в переувлажненной почве

Рисунок 15 – Общий вид экспериментальной сеялки



а)

б)

Рисунок 16 а, б – Общий вид модернизированной посевной секции

Опыты показали, что глубина хода сошников у серийной и модернизированной сеялок в среднем составили 6см, однако удельное тяговое сопротивление (кН/м) оказалось у серийной сеялки 1,85, а у опытной 1,50 то есть на 17% меньше.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что более равномерная заделка семян, а также значительно меньшая залипаемость сошников наблюдается при использовании модернизированной сеялки. Это позволило, по данным только 2015 года, увеличить урожайность яровой пшеницы на 1,4 ц/га, ячменя на 5,1 ц/га, рапса на 41 ц/га, гороха на 2,1 ц/га.

Таким образом, проведенные в полевых производственных условиях исследования по оценке работы экспериментальной сеялки показали ее работоспособность и эффективность.

В пятой главе представлены результаты расчета экономической эффективности проведенного исследования и их технико-экономическая оценка. Расчет экономической эффективности проведен по типовой методике, путем сопоставления затрат на выполнение технологического процесса модернизированной сеялкой в сравнении с базовым вариантом.

За базу сравнения приняли агрегат, состоящий из трактора МТЗ-80 и зерновой сеялки СЗ-3,6 с серийными сошниками.

Общий годовой экономический эффект от использования сеялки с экспериментальными сошниками определяли суммированием экономического эффекта от прироста всего биологического урожая и экономии эксплуатационных затрат в связи с улучшением основных эксплуатационно-технологических показателей.

Годовой экономический эффект за счет уменьшения приведенных затрат и повышения урожайности сельскохозяйственных культур составил 5596,5 руб/га, затраты труда снижаются на 8,85%.

Коэффициент надежности технологического процесса при проведении работ в условиях повышенной влажности почвы составил 0,97 при использовании модернизированной сеялки против 0,80 при использовании серийной. Также возрастает производительность агрегата за счет более высокой технологической надежности модернизированной сеялки.

ВЫВОДЫ

1. Анализом существующих конструкций сошников установлено, что основное направление их совершенствования – это повышение степени их работоспособности путем оптимизации подвески сошников, введение в конструкцию новых элементов в виде скребков и отражателей. Однако, при работе таких сошников в условиях повышенной влажности почв упомянутые усовершенствования (скребки и отражатели) сами становятся объектами налипания почвы, что приводит к снижению качества посева, увеличению энергетических затрат на проведение технологического процесса высева семян.

2. Получены теоретические зависимости, дающие основание для выбора основных технологических, энергетических и конструктивных параметров бороздообразующего диска посевной машины. Установлены оптимальные конструктивные параметры бороздообразующего устройства: диаметр диска – 0,29 м, высота конической части диска – 0,06...0,08 м, угол конусности конической части диска – 13° , толщина бороздообразующей накладки – 0,015...0,020 м.

3. Установлено, что на почвах сопротивление сдвигу начинает уменьшаться уже при небольших увеличениях влажности 2...4%. Резкое его уменьшение заканчивается при влажности 15...20%.

4. Существенное влияние на величину тягового сопротивления бороздообразующего диска оказывает скорость движения. С увеличением скорости движения с 1,0 до 4,0 м/с тяговое сопротивление сошника модернизированной сеялки возрастает на 20...25%, в то время как у серийных образцов этот показатель возрастает до четырех раз.

5. Установлено, что использование сошника новой конструкции, образующего в почве борозды клиновидной формы с уплотненными стенками и дном, обеспечивает более равномерную заделку семян зерновых культур по глубине, а также значительно меньшую налипаемость почвы на рабочие поверхности сошника за счет использования накладок из полимерных материалов.

6. Годовой экономический эффект от использования модернизированной сеялки за счет уменьшения приведенных затрат и повышения урожайности сельскохозяйственных культур составил 5596,5 руб/га.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Габаев, А.Х.** Особенности формирования борозды катковыми бороздообразующими рабочими органами с режущей кромкой [Текст] /А.Х. Габаев, А.К. Нам // Известия международной академии аграрного образования. – 2016. – № 27. – С. 8–10.

2. **Габаев А.Х.** Математическая модель работы бороздообразующего рабочего органа посевной машины и определение его оптимальных конструктивных параметров методом многофакторного эксперимента [Текст] /А.Х. Габаев, А.К. Нам // Известия Санкт-Петербургского государственного Аграрного университета. – 2016. – № 43. – С. 317–321. Полный текст сборника <http://spbgau.ru/izdatelstvo/izdaniya/izvestiya/numbers>.

3. **Габаев А.Х.** Теоретическое исследование факторов влияющих на устойчивость хода бороздообразующего устройства по глубине [Текст] /А.Х. Габаев, Х.А. Хамоков // Известия Оренбургского аграрного университета. – 2016. – № 4 (60). – С. 95-97.

4. **Габаев А.Х.** Модернизация бороздообразующих рабочих органов посевных машин для работы в условиях повышенной влажности почв [Текст] /А.К. Нам, А.Х. Габаев // Известия Санкт-Петербургского государственного Аграрного университета. – 2016. – № 44. – С. 277–281.

5. **Габаев А.Х.** Математическая модель и программа расчета процесса распределения семян на дне борозды при посеве зерновых культур сеялками с дисковыми бороздообразующими рабочими органами [Текст] /А.Х. Габаев, А.К. Нам // Известия международной академии аграрного образования. – 2016. – № 31. – С. 16–21.

6. **Габаев, А.Х.** Испытание зерновой сеялки при повышенной влажности почвы [Текст] /А.Х. Габаев, А.А. Мишхожев // Научно-производственный журнал «Сельский механизатор». – 2017. - № 2. – С. 4–5.

В патентах на изобретения:

7. **Пат. 2511237** Российская Федерация, МПК⁷ А01С 7/00. Устройство для посева семян зерновых культур / Каскулов М.Х., Габаев А.Х., Апажев А.К., Атмурзаев И.А., Гаев Ш.М., Тешев А.Ш., Мишхожев В.Х.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего профессионального образования «Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия имени В.М. Кокова». –№2012153090/13; заявл. 07.12.2012; опубл.10.04.2014. – Бюл. № 10. – 6 с.

Публикации в сборниках научных трудов и материалов конференций:

8. **Габаев, А.Х.** Определение сил сопротивления резанию лезвия бороздообразующего катка [Текст] / А.Х. Габаев, М.Х. Каскулов // Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. – 2014. – № 3. – С. 88–91.

9. **Габаев, А.Х.** Определение плотности почвы на дне борозды при посеве семян зерновых культур сеялками с катковыми заделывающими рабочими органами.

- [Текст] / А.Х. Габаев, А.А. Мишхожев // КБГУ. Материалы IX науч.-практ. конф. – 2015. – С. 36–38.
10. **Габаев, А.Х.** Особенности эксплуатации сельскохозяйственной техники в горных районах. [Текст] / А.Х. Габаев, А.А. Мишхожев // КБГУ. Материалы IX науч.-практ. конф. – 2015. – С. 38–42.
11. **Габаев, А.Х.** Совершенствование средств механизации для посева семян зерновых культур [Электронный ресурс] / А.Х. Габаев, А.А. Мишхожев // Novainfo.Ru – 2015. – № 38; VRL.
12. **Габаев, А.Х.** Влияние свойств почвы на процесс образования бороздки для семян [Текст] / А.Х. Габаев // Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. – Нальчик, 2013. – № 2. – С. 67–71.
13. **Габаев, А.Х.** Теоретическое исследование процесса высева и заделки семян в почву посевной секцией сеялки с магнитным высевающим аппаратом [Текст] / А.Х. Габаев, М.Х. Каскулов // Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. – Нальчик, 2013. – № 2. – С. 77–83.
14. **Габаев, А.Х.** Агротехническая оценка работы экспериментальной сеялки с фторопластовыми бороздообразующими накладками [Текст] / М.Х. Каскулов, А.Х. Габаев // Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. – Нальчик, 2015. – № 1. – С. 54–57.
15. **Габаев, А.Х.** Анализ существующих технологий заделки семян в почву [Текст] / М.Х. Каскулов, А.Х. Габаев, А.А. Мишхожев // Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. – 2014. – № 4. – С. 43–46.
16. **Габаев, А.Х.** Деформации почвы при обработке двухгранным клином [Текст] / М.Х. Мисиров, А.Х. Габаев // Материалы межвузовской науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Нальчик, 2009. – С. 131–134.
17. **Габаев, А.Х.** Определение коэффициента интенсивности напряжения для задач механики резания [Текст] / М.Х. Мисиров, А.Х. Габаев, А.М. Мисирова // Сборн. научн. трудов III Междун. научн.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике». – ВТСНТ–Томск, 2014.
18. **Габаев, А.Х.** Модернизация сеялок СЗ-3,6 для работы в условиях повышенной влажности почв [Текст] / Т.Х. Пазова, А.Х. Габаев, А.А. Мишхожев // Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. – Нальчик, 2014. – № 4. – С. 60–63.
19. **Габаев, А.Х.** Обзор существующих бороздообразующих рабочих органов [Электронный ресурс] / А.Х. Габаев // Novainfo.Ru – 2016. – № 41. – С. 26–32.
20. **Габаев, А.Х.** Технологии посева семян сельскохозяйственных культур на основе существующих рабочих органов [Электронный ресурс] / А.Х. Габаев // Novainfo.Ru – 2016. – № 42. – Том 1. – С. 90–98.
21. **Габаев, А.Х.** Разработка конструкций сошника зерновой сеялки для работы в условиях повышенной влажности почв [Электронный ресурс] / А.Х. Габаев // I Международная научно-практическая Интернет-конференция, посвященная 25 летию ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия». – 2016. – С. 1467–1472.

22. **Габаев, А.Х.** Бороздообразующий рабочий орган для работы в условиях повышенной влажности почв [Электронный ресурс] / А.Х. Габаев // I Международная научно-практическая Интернет-конференция, посвященная 25-летию ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия». – 2016. – С. 1453–1457.

23. **Габаев, А.Х.** Теоретическое исследование процесса работы катковых бороздообразующих рабочих органов [Текст] / А.Х. Габаев // Современные проблемы науки и пути их решения: сборник научных статей. – Выпуск 28. – В 3 ч. Ч. 3 – Уфа: Омега Сайнс, 2016. – С. 43–46.

24. **Габаев, А.Х.** Теоретические особенности формирования борозды рабочими органами с полимерными бороздообразующими накладками и режущей кромкой [Текст] / А.Х. Габаев // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей победителей IV Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2016. – С. 96–100.

25. **Габаев, А.Х.** Анализ работы двухдисковых бороздообразующих рабочих органов в условиях повышенной влажности почв [Текст] / А.Х. Габаев // Современное общество: наука, техника, образование. Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием). – В 4 т. Т 1. – Нефтекамск, 2016. – С. 65–71.

26. **Габаев, А.Х.** Производственные испытания и агротехническая оценка работы модернизированной сеялки [Текст] / А.Х. Габаев // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве. Материалы Международной научно-практической конференции посвященной 80-летию А.П. Тарасенко. – В 2 ч. Ч. 2. – Воронеж, 2017. – С. 17–22.

27. **Габаев, А.Х.** Агротехническая оценка работы экспериментального сошника с фторопластовыми бороздообразующими накладками [Текст] / А.Х. Габаев // Современное экологическое состояние природной среды и научно практические аспекты рационального природопользования. Материалы II Международной научно-практической Интернет-конференции. ФГБНУ «Прикаспийский научно исследовательский институт аридного земледелия». – 2017. – С. 2068–2071.

28. **Габаев, А.Х.** Исследование процесса работы бороздообразующих рабочих органов посевных машин [Текст] / А.Х. Габаев // Современное экологическое состояние природной среды и научно практические аспекты рационального природопользования. Материалы II Международной научно-практической Интернет-конференции. ФГБНУ «Прикаспийский научно исследовательский институт аридного земледелия». – 2017. – С. 2071–2074.

29. **Габаев, А.Х.** Работа двухдисковых сошников в условиях повышенной влажности почвы [Электронный ресурс] / А.Х. Габаев // Международный электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и разработки» – Выпуск № 2 (10). – Москва, 2017. – С. 280–283.

30. **Габаев А.Х.** К вопросу повышения работоспособности сеялки в условиях повышенной влажности почвы [Текст] / А.Х. Габаев // Международный научно-практический журнал «Интеграция наук» Выпуск № 2 (6). – Москва, 2017. – С. 71–73.