

ЧИКИЛЬДИН ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСЕВА
СЕМЯН ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР
ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СЕЯЛКОЙ
(НА ПРИМЕРЕ КУКУРУЗЫ)**

Специальность 05.20.01 – Технология и средства механизации
сельского хозяйства (по техническим
наукам)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ставропольский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО СтГАУ)

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Зубрилина Елена Михайловна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Беспамятнова Наталья Михайловна

доктор технических наук, профессор
Щербина Виталий Иванович

Ведущая организация: Государственное научное учреждение «Все-
российский научно–исследовательский ин-
ститут механизации сельского хозяйства»
(ГНУ ВИМ Россельхозакадемии)

Защита состоится «1» декабря 2011 г. в 14⁰⁰ часов на заседании объ-
единенного диссертационного совета ДМ 220.062.05 при ФГБОУ ВПО
«Ставропольский государственный аграрный университет» по адресу:
355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ
ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», с авто-
рефератом диссертации – на официальном сайте ФГБОУ ВПО «Ставро-
польский государственный аграрный университет»: <http://www.stgau.ru>.

Автореферат разослан «28» октября 2011 г. и размещен на офици-
альных сайтах: Ставропольского ГАУ <http://www.stgau.ru> и ВАК Мини-
стерства образования и науки РФ <http://vak.ed.gov.ru>.

Ученый секретарь объединенного
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
доцент

Марченко В. И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Посев пропашных культур относится к технологическим операциям с высокой степенью зависимости качества их выполнения, причем эта зависимость определяется не только четким выполнением технологически необходимых работ, но и применением наиболее совершенных на данный момент времени посевных машин.

Характерной особенностью современных пропашных сеялок (типа СУПН) является отсутствие в их конструкции семяпроводов. Свободное падение семян от высевающего аппарата до дна борозды является вероятностным процессом, что ухудшает равномерность их распределения по дну борозды, особенно при работе на высоких скоростях.

Предположено, что устранение выше отмеченных недостатков возможно созданием управляемого процесса движения семян от высевающего аппарата до дна борозды, который будет происходить по заданной траектории и с определенной (заданной) скоростью. Конструктивно это осуществляется при движении семян после высевающего аппарата по семяпроводу определенной формы, который обеспечивает постоянство траектории движения семян и меняет скорость семян в необходимых пределах. В пневматических сеялках наиболее рациональным и актуальным представляется использование пневматического ускорителя, который обеспечивает изменение скорости семян, движущихся по семяпроводу, с помощью воздушного потока.

В соответствии с этим сформулирована **рабочая гипотеза**: в пневматических сеялках типа СУПН с помощью семяпровода с ускорителем возможно изменять скорость семени на выходе из семяпровода в соответствии со скоростью посевного агрегата, обеспечивая тем самым высокую равномерность их распределения.

Цель работы – повышение качества посева пропашных культур пневматическими сеялками путем установки семяпроводов, обеспечивающих управляемость движением семян от высевающего аппарата до дна борозды.

Объект исследования – технологический процесс однозернового высева семян пропашной культуры (кукурузы) аппаратом пневматического действия с семяпроводом.

Предмет исследования – закономерности движения семян в семяпроводе усовершенствованного пневматического высевающего аппарата пропашной сеялки.

Научная новизна. Проведены аналитические исследования способов управления процессом доставки семян на дно борозды в серийных пропашных сеялках. На основе закона сохранения энергии теоретически обоснованы закономерности движения семян в семяпроводах усовершенствованного пневматического высевающего аппарата с учетом влияния

скорости движения агрегата. Получены аналитические зависимости между скоростью семян на выходе из семяпровода с укорителем и его конструктивно–технологическими параметрами.

Новизна предложенных технических решений подтверждена патентами на изобретение № 2357393 и на полезную модель № 97588.

Практическая ценность. Полученные аналитические зависимости и методика инженерного расчета могут быть использованы при проектировании аппаратов точного высева семян пропашных культур. Эмпирическая регрессионная модель может применяться для настройки высевающего аппарата с семяпроводом–ускорителем на рациональные режимы работы пропашных сеялок при посеве кукурузы. Определены рациональные конструктивно–технологические параметры семяпровода с ускорителем семян, позволяющего осуществлять доставку семени от высевающего диска до дна борозды по заданной траектории с необходимой скоростью.

На защиту выносятся следующие положения:

- аналитические исследования способов управления процессом доставки семян на дно борозды в пропашных сеялках;
- результаты теоретических исследований процесса движения семян по семяпроводу усовершенствованного высевающего аппарата;
- функциональная схема и конструкция аппарата пневматического действия для высева семян пропашных культур с семяпроводом;
- результаты экспериментальных исследований: свойства посевного материала, поведения семян после удара о почву, а также процесса движения семян по семяпроводу;
- рациональные конструктивно–технологические параметры высевающего аппарата с семяпроводом с ускорителем семян.

Реализация. Результаты выполненных исследований реализуются в виде инновационного проекта в ООО НПП «АгроТехника», финансируемого Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно–технической сфере, как победителя программы «СТАРТ–10».

Материалы аналитических исследований, схемы и описания технических решений с рекомендуемыми параметрами высевающего аппарата, оборудованного семяпроводом с ускорителем, переданы Институту агроинженерных проблем ФГОУ ВПО «Азово–Черноморская государственная агроинженерная академия» (Акт передачи научных исследований для внедрения в производство от 17.03.2011 г.).

Элементы теоретических и экспериментальных исследований усовершенствованного высевающего аппарата переданы для использования в учебном процессе на кафедрах «Процессы и машины в агробизнесе» Ставропольского госагроуниверситета и «Сельскохозяйственные машины» Курсавского регионального колледжа «Интеграл».

Апробация. Основные положения диссертации представлены в докладах на научно–технических конференциях СтГАУ (Ставрополь, 2007–

2010 г.). Результаты исследований и конструкция усовершенствованного высевающего аппарата были представлены на инновационных конкурсах, выставках и салонах (диплом за лучший инновационный проект в области производственных технологий Международной выставки–конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции», г. Санкт–Петербург, 2008 г.; золотая медаль 10–го Московского международного салона «Инновации и инвестиции», г. Москва, 2010 г.; серебряная медаль Российской агропромышленной выставки «Золотая осень», г. Москва, 2010 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 3 в журналах из перечня ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, пять глав, общие выводы, библиографический список из 154 наименований и приложения. Работа изложена на 154 страницах машинописного текста, включает 60 рисунков и 17 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цель, рабочая гипотеза, предмет и объект исследования. Показана научная новизна, практическая ценность и апробация работы, реализация результатов исследований, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследований» приведен анализ состояния возделывания кукурузы и материалы по исследованию процесса однозернового высева пропашных культур.

Проанализированы конструкции высевающих аппаратов для однозернового посева семян пропашных культур, дана их классификация и определены наиболее характерные недостатки и достоинства. Изложены выводы и сформулированы задачи исследований.

Из анализа фундаментальных работ А. А. Будагова, Г. М. Бузенкова, В. С. Басина, Н. М. Беспмятной, С. В. Кардашевского, В. А. Белодедова, П. Я. Лобачевского, С. А. Ма, Е. А. Басина, В. П. Чичкина, А. А. Бертова, П. А. Бондаренко и других исследователей процесса однозернового высева семян пропашных культур следует, что наименьшее рассеивание семян в продольном направлении обеспечивается, когда горизонтальная составляющая его скорости в момент укладки на дно борозды равна нулю. Выполнение этого условия обеспечивается равенством и противоположной направленностью горизонтальной составляющей скорости семени и скорости посевного агрегата ($v_{cz} = v_a$).

Анализ конструкций существующих высевающих аппаратов и теории процесса высева ими семян позволили определить, что:

– существующие конструкции рабочих органов серийных пневматических сеялок не позволяют менять направление движения семени после

схода его с высевающего диска и не приспособлены к изменению их величины в зависимости от скорости движения агрегата;

– отсутствие у сеялок типа СУПН семяпроводов и свободный полет семян от высевающего диска до дна борозды приводят к ухудшению распределения их по дну борозды в продольном и поперечном направлениях;

– устранение отмеченных недостатков возможно созданием управляемого процесса движения семян от высевающего аппарата до дна борозды с необходимой скоростью, что по настоящему исследованию обеспечиваются движением семян после высевающего диска по семяпроводу определенной формы, который может обеспечивать постоянство траектории движения семян и возможность менять их скорость в необходимых пределах с помощью ускорителя движения семян.

В задачи исследований входило:

1. Провести аналитические исследования возможностей управления процессом доставки семян на дно борозды в серийных пропашных сеялках.

2. Разработать функциональную схему и конструкцию экспериментального высевающего аппарата с семяпроводом–ускорителем движения семян.

3. Теоретически обосновать закономерности движения семян в семяпроводе усовершенствованного пневматического высевающего аппарата, учитывающие влияние скорости движения агрегата.

4. Провести экспериментальные исследования по уточнению свойств посевного материала, влияющих на показатели работы опытного высевающего аппарата.

5. Выполнить экспериментальные исследования усовершенствованного высевающего аппарата с последующим определением рациональных конструктивно–технологических параметров семяпровода с ускорителем движения семян.

6. Провести технико–экономическую оценку эффективности применения усовершенствованного высевающего аппарата при посеве кукурузы.

Во второй главе «Теоретические исследования движения семян в семяпроводах усовершенствованной пропашной сеялки» приведены аналитические исследования способов управления процессом доставки семян на дно борозды в пропашных сеялках, разработана функциональная схема и конструкция усовершенствованного высевающего аппарата, изложены теоретические исследования процесса движения семян по семяпроводу.

Семена с момента схода их с высевающего диска до момента приземления на дно борозды находятся в состоянии свободного полета (рис.1).

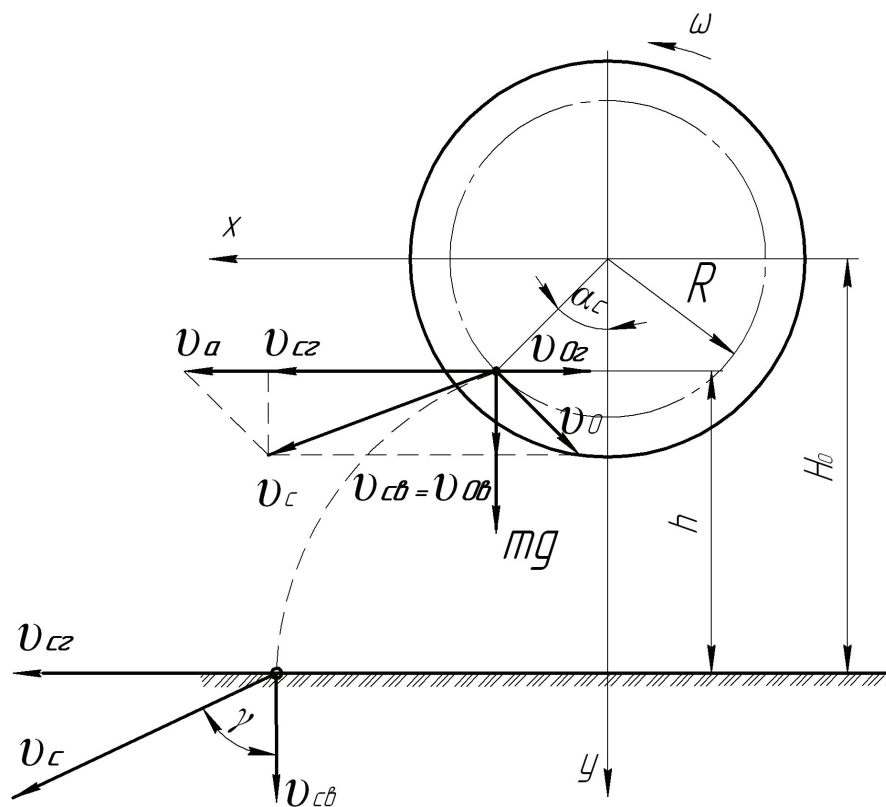


Рисунок 1 – Схема полета семян в пропашных сеялках (типа СУПН)

Величина скорости падения семени v_c в момент удара о дно борозды определяется по формуле:

$$v_c = \sqrt{v_{cz}^2 + v_{cv}^2} = \sqrt{v_a^2 - 2\omega R \cdot \cos \alpha_c \cdot v_a + 2gh + \omega^2 R^2}, \quad (1)$$

где v_{cz} , v_{cv} – горизонтальная и вертикальная составляющая скорости семени, м/с;

ω – угловая скорость высевающего диска, рад/с;

v_a – скорость посевного агрегата, м/с;

R – радиус удаления присасывающих отверстий высевающего диска от центра, м;

α_c – угол отклонения точки схода семян от вертикали, град;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

h – высота падения семени, м.

Угловая скорость высевающего диска взаимосвязана со скоростью посевного агрегата следующим выражением:

$$\omega = C v_a, \quad (2)$$

где $C = 2\pi / l_c z$ – постоянная, м⁻¹;

l_c – шаг посева семян, м;

z – число высевающих отверстий диска, шт.

С учетом формулы (2) и после некоторых математических преобразований формула (1) имеет вид:

$$v_c = \sqrt{v_a^2 - C v_a^2 R (2 \cos \alpha_c + CR) + 2gh}. \quad (3)$$

Угол падения семени γ определяется по выражению:

$$\gamma = \arctg\left(\frac{v_a(1 - CR \cos \alpha_c)}{\sqrt{C^2 v_a^2 R^2 \sin^2 \alpha_c + 2gh}}\right). \quad (4)$$

Анализ выражений (1), (2) показывает, что параметры α , R , z и h заданы конструктивно и являются величинами постоянными, переменными являются параметры v_a и l_c . При скорости посевного агрегата $v_a = 2 \dots 3,5$ м/с, шаге посева $l_c = 0,2 \dots 3,5$ м диапазон числовых значений скоростей семени в момент его соприкосновения с дном борозды составляет $v_{c2} = 1,7 \dots 3,2$ м/с,

$$v_{cв} = 1,921 \dots 1,925 \text{ м/с.}$$

Полученные данные показывают, что в момент соприкосновения семени с дном борозды имеет место косой удар его о почву со скоростью $v_c = 2,6 \dots 3,8$ м/с и углом падения $\gamma = 45^\circ \dots 55^\circ$.

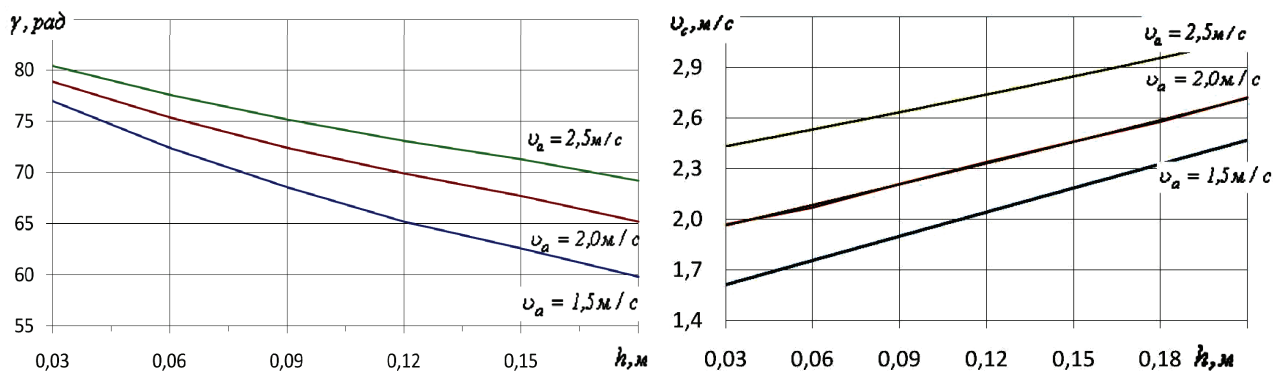
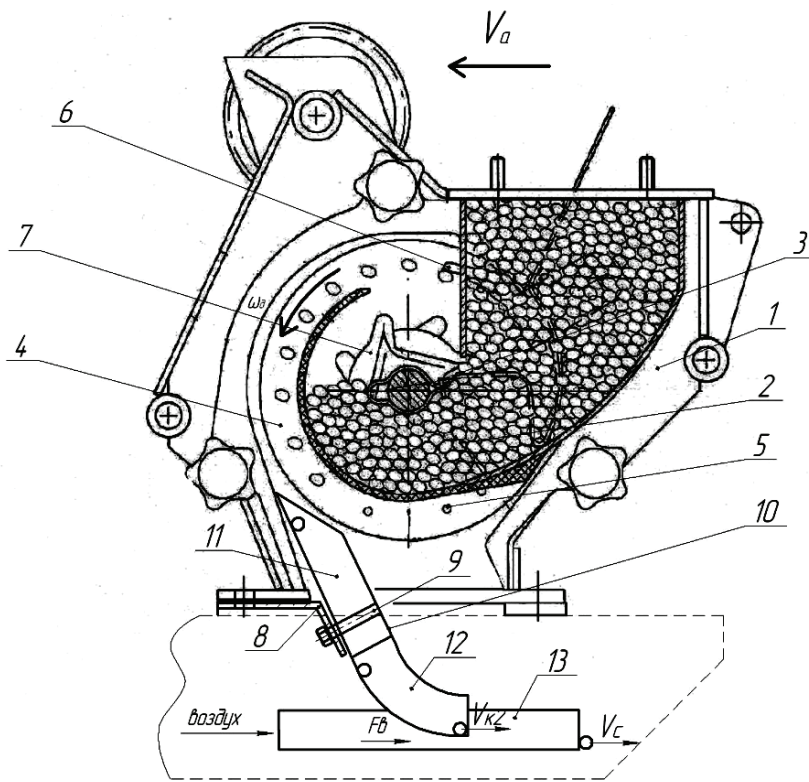


Рисунок 2 – Зависимость скорости семени v_c и угла падения γ от высоты падения h при различной скорости посевного агрегата v_a

Анализ графиков (рис. 2) показал, что при прочих равных условиях добиться снижения скорости семени v_c можно уменьшением высоты падения h , однако изменение высоты падения семян конструктивно ограничено, поэтому для уменьшения высоты их падения на дно борозды в конструкцию серийного пневматического высевающего аппарата предложено ввести дополнительный элемент (семяпровод), при этом высота установки оси высевающего диска останется неизменной.

Разработана функциональная схема (рис. 3) и изготовлен усовершенствованный высевающий аппарат, обеспечивающий выполнение поставленных условий.



1 – корпус; 2 – камера семенная; 3 – вал; 4 – диск высевающий; 5 – отверстия присасывающие; 6 – пластинчатый отражатель; 7 – воронилка; 8 – кронштейн; 9 – хомут; 10 – семяпровод; 11 – прямолинейный участок I семяпровода; 12 – криволинейный II участок; 13 – ускорительный участок III семяпровода

Рисунок 3 – Схема усовершенствованного высевающего аппарата с семяпроводом:

Семяпровод представляет собой трубку 10, которая крепится к высевающему аппарату через кронштейн 8 хомутом 9. Семяпровод имеет три участка: прямолинейный 11, криволинейный 12 и ускорительный 13. На участке 11 сходящее с высевающего диска семя укладывается на желобкообразную внутреннюю поверхность семяпровода и скользит по нему как по наклонной плоскости до участка 12. На участке 12 семя движется по криволинейной поверхности постоянного радиуса до тех пор, пока вектор скорости не приобретает горизонтальное направление. На участке 13 горизонтально движущееся семя с помощью воздушного потока разгоняется до скорости, равной по величине скорости посевного агрегата, и тем самым обеспечивается нулевая скорость семени относительно почвы в момент касания им борозды.

У семяпровода без ускорителя, состоящего из двух участков (10, 11 рис. 3), искомым параметром является скорость семени в конце участка II семяпровода, а для семяпровода с ускорителем – скорость семени на выходе его из ускорителя III. Для решения этой задачи использован закон сохранения энергии. Энергия семени вначале движения его по поверхности семяпровода складывается из потенциальной энергии семени E_{n0} , расположенного на высоте h от дна борозды, и кинетической энергии $E_{к0}$ семени, сходящего с вращающегося диска со скоростью v_0 . На выходе из семяпровода семя приобретает конечную скорость горизонтального направления и обладает: кинетической энергией $E_{кк}$ и потенциальной энергией $E_{нк}$. При движении его по поверхности семяпровода часть энергии тратится на преодоление сил трения семени о поверхность семяпровода $A_{тр}$ и сил сопротивления воздуха $A_{св}$.

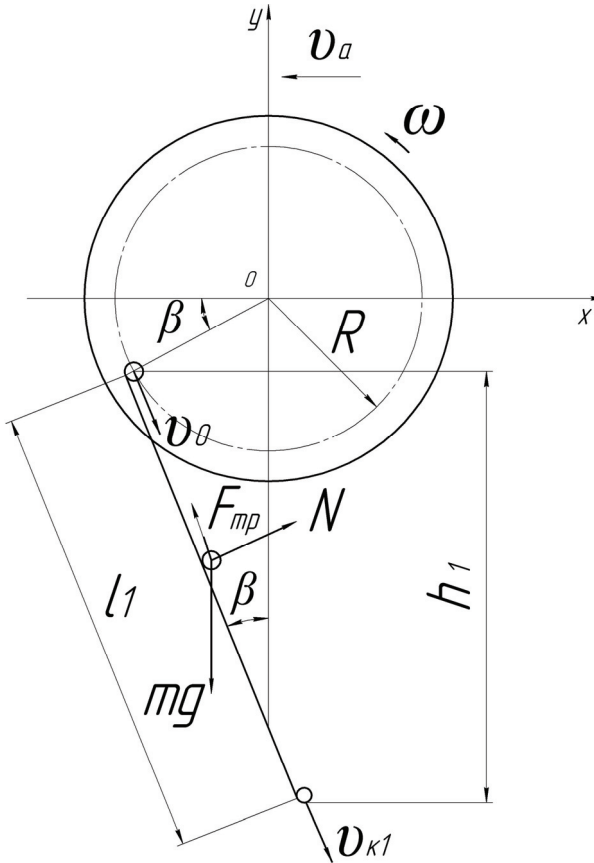


Рисунок 4 – Схема движения семени по прямолинейному участку I семяпровода

Закон сохранения энергии семени, движущегося по семяпроводу, описывается уравнением

$$E_{n0} + E_{к0} = E_{нк} + E_{кк} + A_{mp} + A_{св}. \quad (5)$$

Он справедлив для любого участка семяпровода, при этом конечные значения E_n и E_k предыдущего участка являются начальными значениями этих показателей последующего участка.

На прямолинейном участке I семяпровода (рис. 4) семя, сошедшее с высевающего диска со скоростью v_0 под углом β к вертикали, попадает в семяпровод, укладывается на желобообразную внутреннюю поверхность семяпровода и под действием собственного веса mg и начальной скорости v_0 скользит по этой поверхности, приобретая в конце участка скорость $v_{к1}$.

Сопrotивление воздуха на участке I семяпровода мало (ошибка не более 0,6 %).

Пренебрегая коэффициент парусности семян, получим:

$$v_{к1} = \sqrt{v_0^2 + 2gh_1(1 - f \cdot \operatorname{tg}\beta)}, \quad (6)$$

где v_0 – скорость семени в начале участка

I, м/с;

f – коэффициент трения семени о семяпровод;

h_1 – разность геодезических уровней начала и конца участка I, м.

На криволинейном участке II вектор скорости меняет направление (рис. 5), а угол между вектором скорости и вертикалью φ меняется в диапазоне от β до $\pi/2$.

Уравнение энергетического баланса для участка II семяпровода имеет вид:

$$E_{кк2} - E_{к02} - \Delta E_{n2} + A_{mp2} + A_{св2} = 0, \quad (7)$$

где $E_{к02}, E_{кк2}$ – кинетическая энергия семени в начале и конце II участка, Дж.

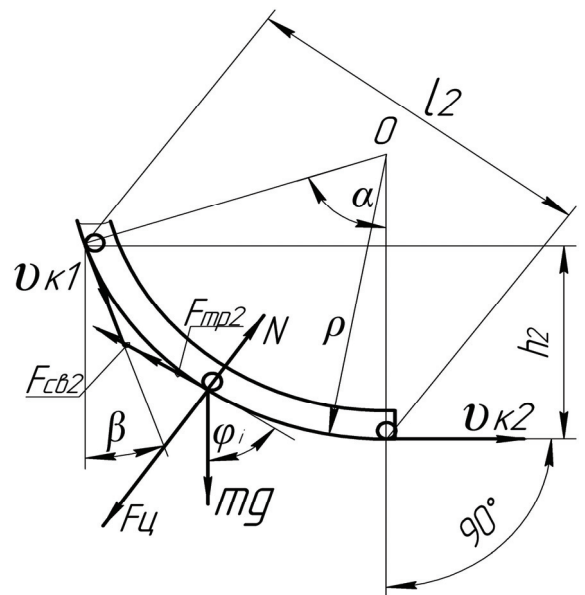


Рисунок 5 – Схема движения семени по участку II семяпровода

Работа силы трения семени о поверхность семяпровода зависит от силы трения F_{mp2} и длины l_2 участка II:

$$A_{mp2} = \int_{(l)} F_{mp2} dl = mf \int_{(l)} \left(g \cdot \sin \varphi_i + \frac{v_i^2}{\rho} \right) dl, \quad (8)$$

где φ_i – угол между вектором скорости и горизонталью в любой точке движения семени по семяпроводу ($\beta \leq \varphi_i \leq \pi / 2$);

ρ – радиус кривизны семяпровода (принимается постоянным на всем участке), м.

Учитывая, что скорость движения семени на участке II мала и закономерность ее изменения близка к линейной, то работа силы трения семени о поверхность семяпровода определится:

$$A_{mp2} = mf \left[\rho \cdot g \cdot \cos \beta + \frac{(v_{\kappa1} + v_{\kappa2})^2}{4} \cdot \alpha \right], \quad (9)$$

где α – угол, дополняющий угол β до $\pi / 2$, рад.

Принимаем допущение, что семя движется по семяпроводу (желобу) со скольжением, т. е. не испытывает вращательного движения (рис. 5). Тогда энергию вращательного движения $E_{вр} = J\omega_c^2 / 2$ можно не учитывать при составлении энергетического баланса.

Работа силы сопротивления воздуха на участке II семяпровода при постоянном радиусе кривизны ρ :

$$A_{св2} = \frac{l}{4} m \cdot \rho \cdot \alpha \cdot K_{II} (v_{\kappa1} + v_{\kappa2})^2. \quad (10)$$

Подставив в формулу (7) ее составляющие и решив его относительно $v_{\kappa2}$, получим аналитическое выражение для определения скорости семян на выходе из участка II семяпровода:

$$v_{\kappa2} = \frac{-\alpha v_{\kappa1} (f + \rho K_{II})}{2 + \alpha \cdot f + \alpha \rho K_{II}} + \frac{\sqrt{\alpha^2 v_{\kappa1}^2 (f + \rho K_{II})^2 - (2 + \alpha f + \alpha \rho K_{II}) (\alpha f v_{\kappa1}^2 + \alpha \rho K_{II} v_{\kappa1}^2 + 4 f \rho \cdot g \cdot \cos \beta - 4 g h_2 - 2 v_{\kappa1}^2)}}{2 + \alpha \cdot f + \alpha \rho K_{II}}. \quad (11)$$

При выходе из криволинейного участка II семяпровода со скоростью $v_{\kappa2}$ семя продолжает движение по участку III (рис. 6), наращивая свою скорость за счет силы попутного воздушного потока F_g , которая определяется скоростью воздушного потока v_g . На отрезке AB участка III семя движется без трения в сонаправленном воздушном потоке, одновременно опускаясь на поверхность семяпровода в точке «B» и дальше движется со скольжением до точки «C» семяпровода.

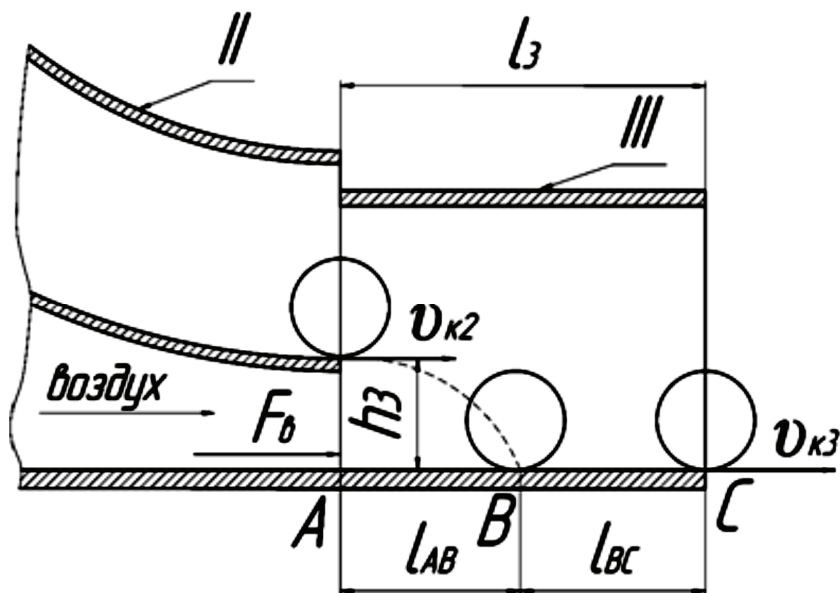


Рисунок 6 –
Схема движения семени по
участку III
семяпровода

Сила воздушного потока F_0 , действующего на семя, по аналогии с силой сопротивления воздуха может быть представлена выражением:

$$F_0 = m \cdot K_{II} \cdot v_0^2 = m \cdot a_i, \quad (12)$$

где v_0 – скорость воздушного потока относительно семени, м/с;

a_i – ускорение, сообщаемое семени воздушным потоком, м/с².

Скорость семени в конце отрезка AB составит:

$$v_{av} = v_{к2} + at_{av} = \frac{gv_{к2} + \sqrt{2gh_3} \cdot K_{II} \cdot v_0^2}{g}, \quad (13)$$

где h_3 – разность геодезических уровней конца участка II и внутренней поверхности участка III.

Путь семени на участке l_{av} :

$$l_{av} = v_{к2} \cdot t_{av} + \frac{at_{av}^2}{2} = \frac{v_{к2} \sqrt{2gh_3} + K_{II} h_3 v_0^2}{g}. \quad (14)$$

На отрезке BC семя продолжает движение с нарастающей скоростью, при этом может возникнуть тормозящая движению сила трения семени о стенку ускорителя, зависящая от реакции давления семени на стенку N_3 . Однозначно установить физику процесса движения семени в сонаправленном воздушном потоке достаточно сложно. Очевидно, что максимальное давление семени на стенку семяпровода составит $N_3 = mg$, а минимальное равно нулю, когда семя движется в воздушном потоке, не касаясь стенок семяпровода.

Поскольку на выходе из ускорителя семяпровода скорость семени должна быть равной скорости сеялки v_a , то ускорение семени на отрезке BC должно быть:

$$a_{bc} = (v_a - v_{av}) / t_{bc}. \quad (15)$$

Длина пути на отрезке $l_{вс}$ равна:

$$l_{вс} = \frac{m(v_a^2 - v_{ав}^2)}{2(F_в - F_{мпз})} = \frac{mv_a^2 - m(v_{к2} + (K_{\Pi}v_в^2 \sqrt{2gh_3 / g}))^2}{2(K_{\Pi}mv_в^2 - f \cdot N_3)}. \quad (16)$$

Длина участка III семяпровода, названного ускорителем семян, определится суммой отрезков $l_{ав}$ и $l_{вс}$:

$$l_3 = \frac{v_{к2} \sqrt{2gh_3} + K_{\Pi}h_3v_в^2}{g} + \frac{mv_a^2 - m(v_{к2} + (K_{\Pi}v_в^2 \sqrt{2gh_3 / g}))^2}{2(K_{\Pi}mv_в^2 - fN_3)}. \quad (17)$$

Анализ полученного выражения (17) показывает:

- достичь скорости семени на выходе из семяпровода, равной скорости посевного агрегата v_a , можно за счет оптимального сочетания длины ускорителя l_3 и скорости воздуха $v_в$, подаваемого в ускоритель;
- длина ускорителя предлагаемого семяпровода в основном зависит от скорости воздушного потока (рис. 7) и почти линейно уменьшается с увеличением этой скорости;
- скорость воздуха $v_в$ является основным фактором, с помощью которого можно менять скорость семени на выходе из семяпровода.

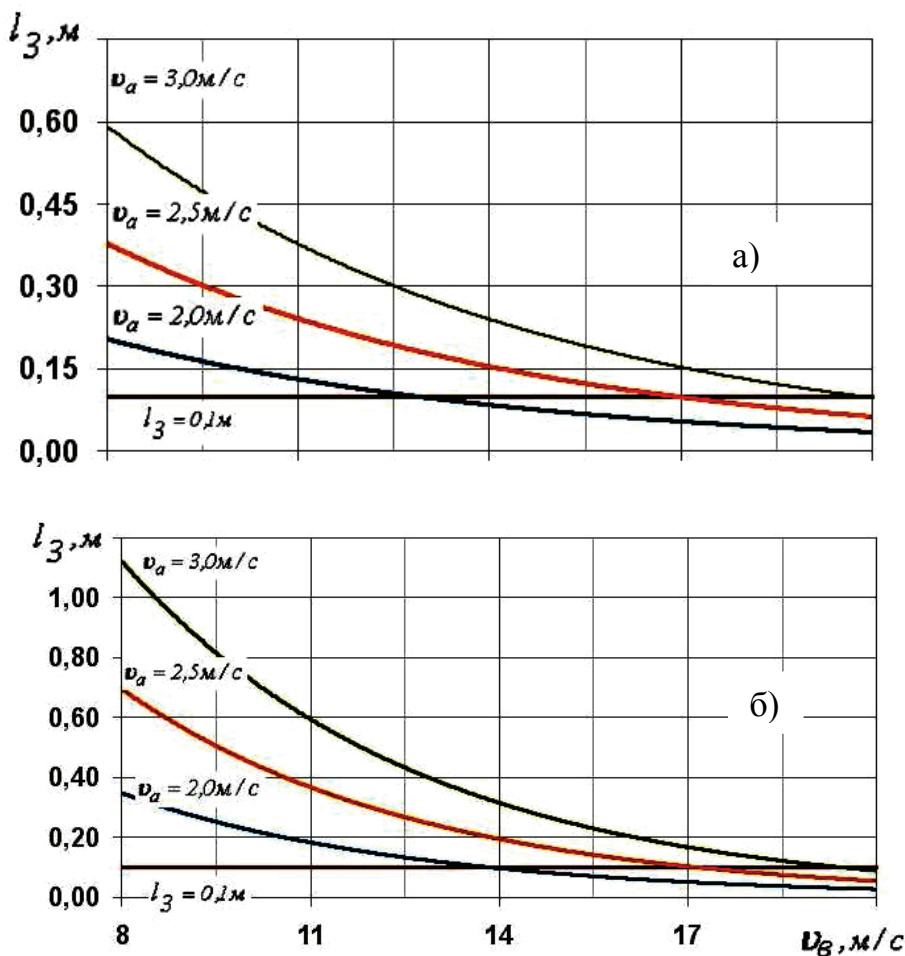


Рисунок 7 – Зависимость длины семяпровода от скорости воздушного потока $l_3 = f(v_в)$ при $N_3 = 0$ (а) и $N_3 = fmg$ (б)

Скорость семени на выходе из ускорителя $v_{к3}$ определяется выражением:

$$v_{к3} = \sqrt{2K_{\Pi}l_3v_6^2 + (v_{к2} + \frac{K_{\Pi}v_6^2\sqrt{2gh_3}}{g})^2 - \frac{2K_{\Pi}v_6^2}{g}(v_{к2}\sqrt{2gh_3} + K_{\Pi}h_3v_6^2)} \quad (18)$$

Подстановкой в выражение (18) различных значений v_6 в диапазоне 8...20 м/с при длине ускорителя $l_3 = const$, получены зависимости $v_{к3} = f(v_6)$ (рис. 8), которые использованы при определении диапазона изменения скорости v_6 при проведении многофакторного эксперимента.

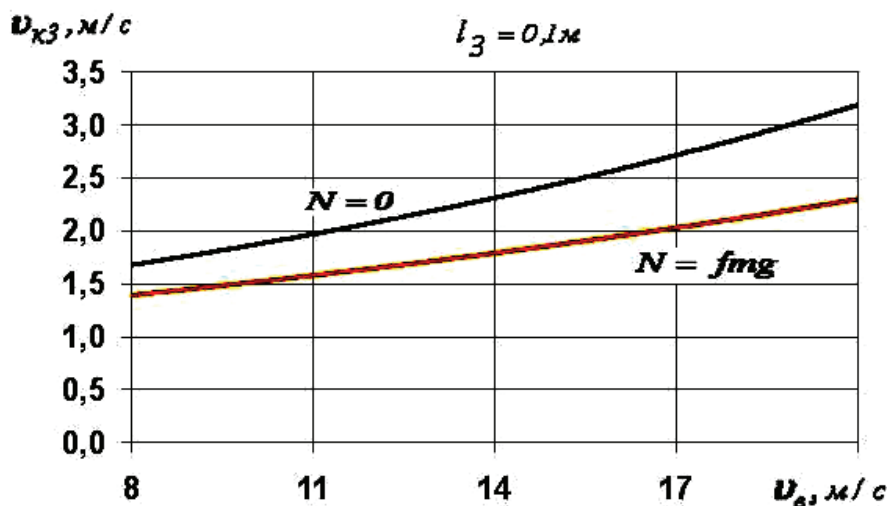


Рисунок 8 – Зависимость скорости семени на выходе из семяпровода от скорости воздушного потока $v_{к3} = f(v_6)$

Основными факторами, определяющими $v_{к3}$, являются: длина ускорителя семяпровода l_3 , скорость воздушного потока в ускорителе семян v_6 , максимальное значение которого не превышает 20 м/с, и частота вращения высевающего диска ω_0 , определяющая начальную скорость движения семени на первом участке. Оптимальное сочетание этих факторов является областью экспериментальных исследований.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» определены задачи экспериментальных исследований и изложена программа и методики их проведения: определения свойств посевного материала; исследования удара семени о почву; исследований процесса движения семян по семяпроводу и обработки экспериментальных данных.

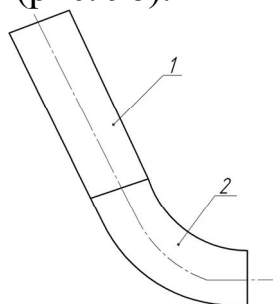
Коэффициент статического трения $f_{ст}$ семян кукурузы по металлопластиковой трубке (семяпроводу) определялся на лабораторной установке по стандартной методике. Семя помещают на внутреннюю поверхность телескопической трубки (труба ГОСТ Р 52134–2003), установленную горизонтально, а затем изменяют угол наклона плоскости до момента начала движения образца. Угол наклона поверхности фиксировался с помощью угломера, тангенс которого определял коэффициент трения.

Коэффициент трения покоя рассчитывался на основании данных серии опытов ($n = 50$) с трехкратной повторностью. Результаты обработки

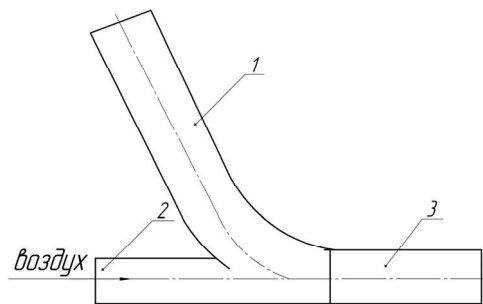
вались с применением статистических методов (среднее значение, средне-квадратическое отклонение, коэффициент вариации). Динамический коэффициент трения f определялся как часть (0,6...0,7) от статического коэффициента трения $f_{ст}$.

Исследования движения семян после удара его о дно борозды проводились также на экспериментальной установке, позволяющей моделировать падение семени на почву с заданными величинами скорости и угла падения. В ходе исследований удара семян о почву на лабораторной установке при различных скоростях движения агрегата и углах падения семян фиксировались величины отскока Δ для 50 семян. Результаты проведенных исследований обрабатывали статистическими методами, построением графической зависимости накопленных опытных вероятностей распределения семян по интервалам отскока при различных скоростях агрегата и углах. Величины полученных значений отскока семян от дна борозды сравнивались со значениями, допустимыми агротехническими нормами.

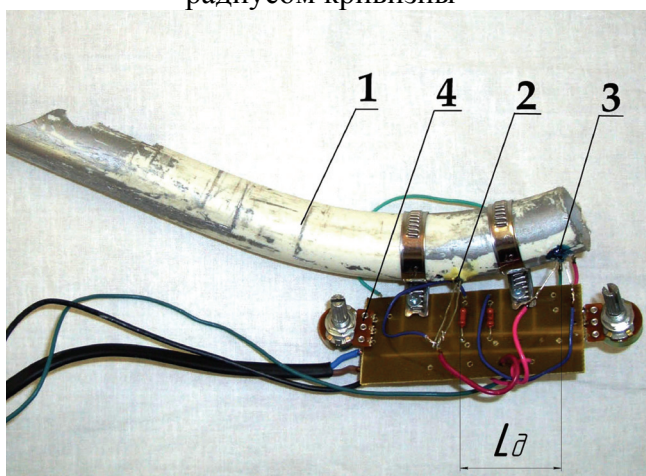
В качестве объекта исследования использовался экспериментальный высеивающий аппарат, который укомплектовывался сменными семяпроводами двух типов: первый – без ускорителя семян (рис. 9а), второй – с ускорителем (рис. 9б).



1 – прямолинейный участок; 2 – участок криволинейной формы с постоянным радиусом кривизны

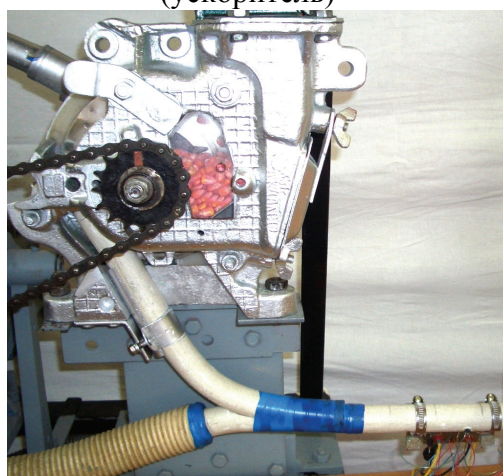


1 – прямолинейный участок; 2 – нагнетательный участок; 3 – горизонтальный участок (ускоритель)



1 – экспериментальный семяпровода; 2 – первый датчик; 3 – второй датчик; 4 – блок управления

а) без ускорителя



б) с ускорителем семян

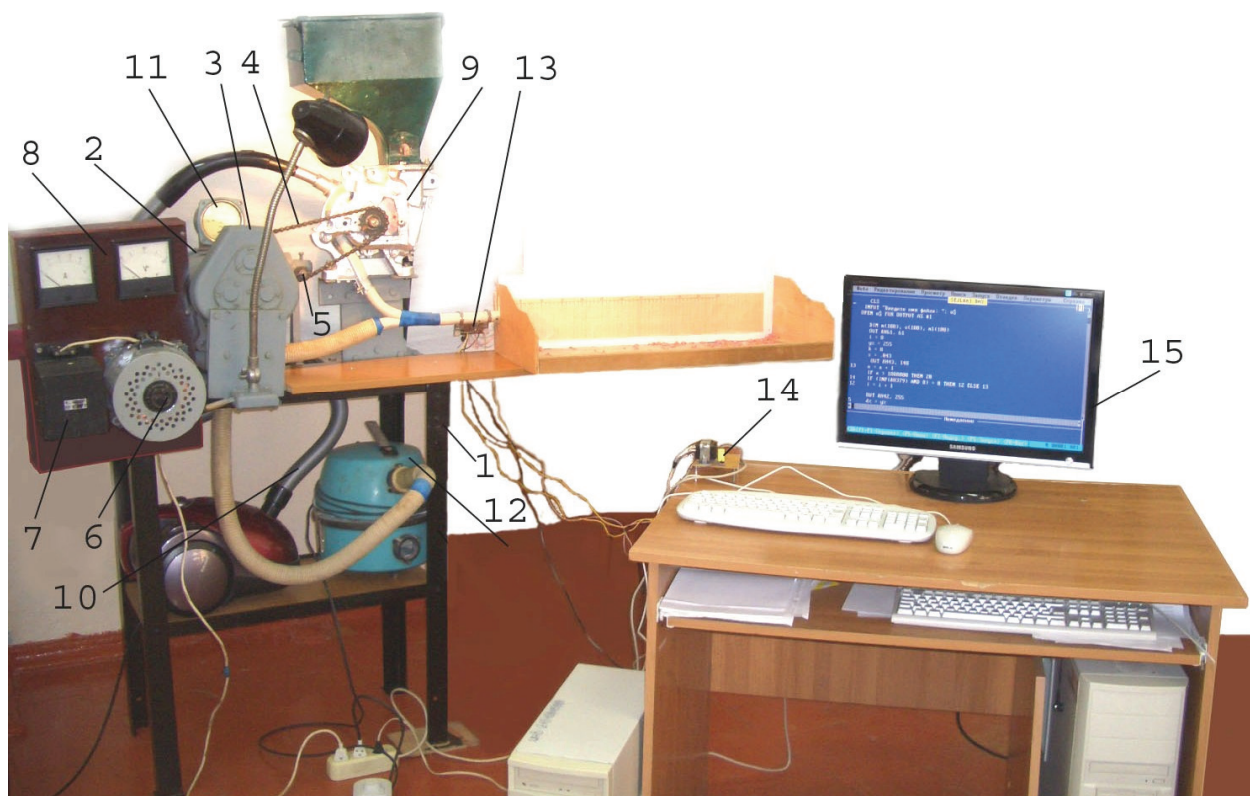
Рисунок 9 – Схемы и фото экспериментальных семяпроводов к сеялке СУПН

Лабораторные испытания проводились на стенде, оснащённом датчиками для определения скорости семени на выходе из семяпровода (рис. 10).

Искомым параметром экспериментального высевающего аппарата с семяпроводом без ускорителя была скорость семени на выходе из семяпровода в конце участка II $v_{к2}$. При исследовании семяпровода без ускорителя менялась только частота высевающего диска аппарата. Полученные результаты сравнивались с теоретическими.

Для измерения скорости семени в семяпроводе 1 устанавливались два фотоэлектрических (2 и 3 рис. 9а) датчика на расстоянии L_0 друг от друга по ходу движения семени. Каждый датчик состоял из инфракрасного излучателя и фотоприемника, размещенных напротив друг друга.

Положение объекта в этом типе датчиков определяется, когда он перекрывает луч от излучателя в приемник. Настройка датчиков осуществлялась через блок управления 14 (рис. 10). Расчет интервала времени и скорости семян на выходе из семяпровода осуществлялся по алгоритму, написанному для персонального компьютера 15. Результаты обработки данных выводили на монитор персонального компьютера.



1 – рама; 2 – электродвигатель; 3 – редуктор; 4 – цепь приводная; 5 – ролик натяжной; 6 – регулятор напряжения; 7 – выпрямитель тока; 8 – щит монтажный с контрольными приборами; 9 – аппарат высевающий экспериментальный; 10 – установка вакуумная с регулятором разрежения; 11 – тягомер мембранный Тм МП – 100; 12 – воздухонагнетатель с регулируемой подачей воздуха; 13 – датчики измерения скорости семян на выходе из семяпровода; 14 – блок управления датчиками; 15 – компьютер персональный

Рисунок 10 – Лабораторная установка для исследований пневматических высевающих аппаратов

Для получения регрессионных моделей процессов высева семян был разработан и реализован трехуровневый план Бокса–Бенкина, в котором использовали в качестве варьируемых факторов: x_1 – скорость воздушного потока v_6 , подаваемого в нагнетательный участок 2 и ускоритель 3 семяпровода (8...20 м/с); x_2 – длина ускорителя семяпровода l_3 (0,08...0,16 м); x_3 – угловая скорость высевающего диска ω (2...4 рад/с).

Согласно матрице планирования эксперимента устанавливались основные факторы и после стабилизации процесса высева семян включалась специальная программа на ПК для замеров по 15 строкам матрицы с трехкратной повторностью скорости 100 высеянных семян. Полученные в ходе эксперимента данные обрабатывали по методике, описанной в разделе диссертационной работы «Методика обработки экспериментальных данных».

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты исследований свойств посевного материала, по изучению поведения семян после удара о почву, а также процесса движения семян по семяпроводу. Определены рациональные конструктивно–технологические параметры семяпровода с ускорителем семян на основании исследований влияния различных факторов, определяющих скорость семян на выходе из семяпровода.

Масса 1000 семян кукурузы (среднеспелый гибрид Краснодарский 382МВ) составила 0,31 кг. Средняя скорость витания семян составила $v_{кр} = 10,4$ м/с.

Определены значения углов трения для 50 шт семян с трехкратной повторностью, результаты обработаны с применением статистического метода. Угол трения семян кукурузы по семяпроводу составил $22^{\circ}14' \pm 21'$. Соответственно, коэффициенты трения семени о семяпровод составили: статический $f_{cm} = 0,36$, динамический $f = 0,25$.

По агротехническим требованиям отклонения от заданного интервала между семенами в рядке l_c не должны превышать 0,25 его величины, т. е. $\Delta_c = 0,25l_c$. Для посевов кукурузы в Ставропольском крае эти значения $\Delta_{c1} = 79$ мм и $\Delta_{c2} = 64,2$ мм. По нормальному закону распределения величина разброса симметрична относительно точки приземления, т. е. $\Delta_c = \pm 0,5\Delta$, $\Delta_{c1} = \pm 39,5$ мм и $\Delta_{c2} = \pm 32,1$ мм. Согласно графика (рис. 11) уменьшение скорости посевного агрегата до 1,5 м/с приводит к уменьшению значений величин отскоков, выходящих за пределы допустимого агротехническими требованиями значения ($\Delta_{c2} = 32,1$ мм): 0 % семян при $\gamma = 40^{\circ}$, 2 % семян при $\gamma = 50^{\circ}$ и 60 % – при $\gamma = 60^{\circ}$.

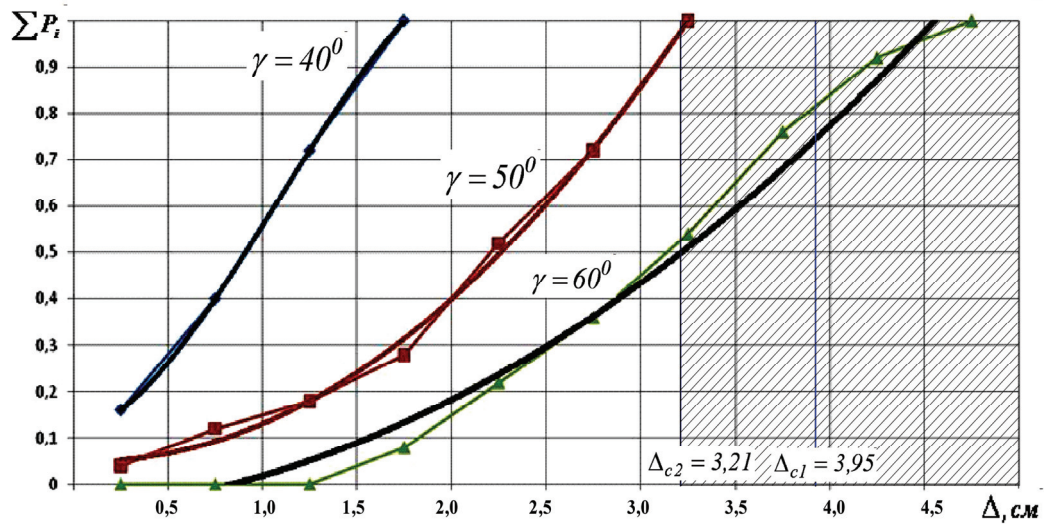


Рисунок 11 – График вероятностей распределения семян по интервалам величины отскока при различных углах падения при скорости агрегата 1,5 м/с

Для обеспечения безударной укладки семян на дно борозды необходимо уменьшить высоту падения семян до 20 мм (высота падения с семяпровода) и угол падения γ до нуля (т. е. обеспечить равенство горизонтальной составляющей скорости семян в момент выброса с высевашего аппарата и скорости движения агрегата).

Исследования движения семян проводилось по семяпроводам двух типов: первый – без ускорителя семян, второй – с ускорителем.

В результате обработки данных трехфакторного эксперимента по исследованию движения семян по семяпроводу с ускорителем (рис. 12) получена математическая модель процесса высева семян кукурузы:

$$y = 2,3633 + 0,7205 x_1 + 0,2779 x_2 + 0,1538 x_1 x_2 - 0,0433 x_1^2 - 0,0209 x_2^2 + 0,0136 x_3^2, \quad (19)$$

которая в натуральных показателях имеет вид:

$$v_{к3} = 0,6315 + 0,0770 v_e - 0,9983 l_3 + 0,6408 v_e \cdot l_3 - 0,0012 v_e^2 - 13,0625 l_3^2 + 0,0136 \omega^2. \quad (20)$$

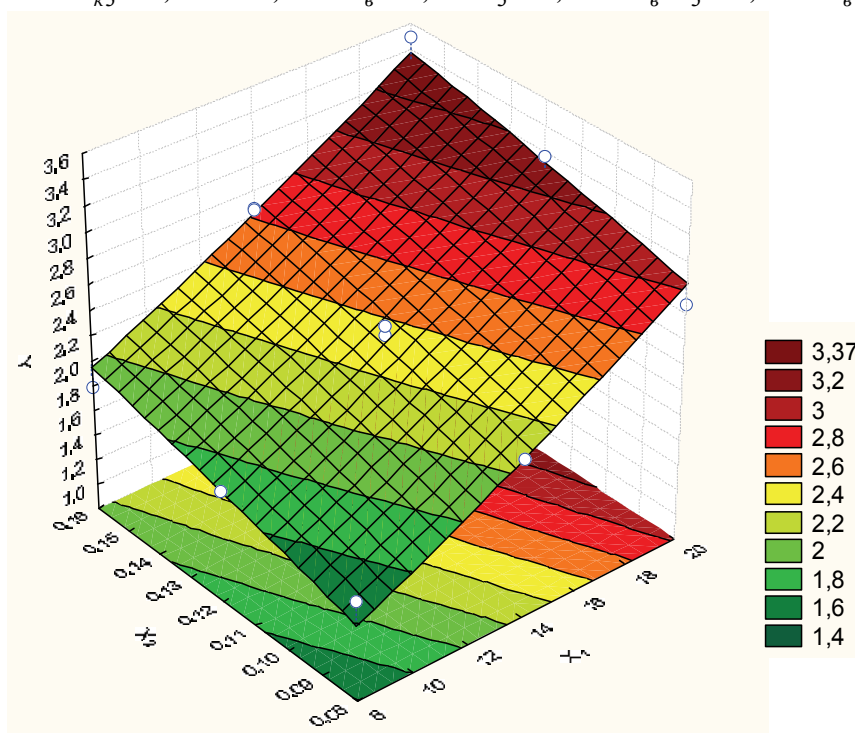


Рисунок 12 – Зависимость скорости семян на выходе из семяпровода от скорости воздушного потока и длины ускорителя при постоянной угловой скорости высевашего диска $\omega = 3$ рад/с ($x_3 = 0$)

С помощью критерия Кохрена произведена оценка однородности дисперсий. По критерию Стьюдента проверена гипотеза о значимости коэффициентов уравнения регрессии. По критерию Фишера установлено, что математическая модель адекватна.

Анализ изолиний равного отклика (рис. 12) показал, что угловую скорость высевающего диска ω в практических расчетах можно принимать за величину постоянную. Поскольку от частоты вращения диска зависит качество дозирования высевающим аппаратом, то ее численное значение определяется с учетом этого условия и составляет $\omega = 2,5 \dots 3$ рад/с. Влияние длины ускорителя семяпровода l_3 на параметр оптимизации $U_{кз}$ наиболее динамично проявляется в пределах $0,06 \dots 0,13$ м. Дальнейшее увеличение этого фактора сказывается в меньшей степени. Для сеялки СУПН с учетом конструктивных особенностей можно принять длину ускорителя $l_3 = 0,12$ м. Фактор X_1 – скорость воздушного потока $U_в$ в ускорителе семяпровода – является наиболее значимым и для обеспечения параметра оптимизации в пределах $3 \dots 3,5$ м/с должен варьировать в диапазоне $17 \dots 20$ м/с при длине ускорителя семяпровода $l_3 = 0,12$ м (для сеялки СУПН).

Полевые опыты проводились посевным агрегатом, состоящим из трактора МТЗ–82 и сеялки СУПН–8А. Определено распределение семян кукурузы в рядке в трех вариантах: посев серийным высевающим аппаратом СУПН–8А; усовершенствованным аппаратом с семяпроводом без ускорителя и с ускорителем. Получены следующие результаты: фактические средние интервалы между семенами кукурузы при высеве пневматическим аппаратом с семяпроводом без ускорителя составляют 388 мм, с семяпроводом с ускорителем – 289 мм, что выше расчетных (257 мм). Варьирование среднего интервала между растениями кукурузы: аппарат с семяпроводом без ускорителя – 41,4 %, с ускорителем – 38,8 %, что подтверждает теоретические выводы и рабочую гипотезу.

В пятой главе «Расчет показателей экономической эффективности внедрения в производство результатов исследований» приведены расчеты экономической эффективности применения сеялки с предложенными высевающими аппаратами на основании действующих методик. Внедрение в производство пневматической сеялки, оснащенной предложенными высевающими аппаратами, позволит получить расчетную годовую экономию 87,25 тыс. руб. на одну сеялку за один сезон работы (70 ч) при затратах на ее модернизацию 29,17 тыс. руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. При посеве кукурузы сеялкой СУПН–8А со скоростью движения посевного агрегата более 1,2 м/с возникает косой удар и отскок со значительным смещением (более 20 мм) семян относительно места их падения, что приводит к ухудшению распределения их по борозде. Для исключения названного необходимо уменьшить высоту и угол падения семян, изменить величину и направление их скорости в момент сброса, что достижимо введением в конструкцию высевающего аппарата семяпровода заданной формы, обеспечивающего управляемый процесс движения семян от высевающего аппарата до дна борозды.

2. Разработана функциональная схема и конструкция высевающего аппарата с семяпроводом, имеющим ускоритель семян. Научная новизна технических решений подтверждена патентом на изобретение и патентом на полезную модель. Использование семяпровода с ускорителем позволяет управлять процессом доставки семян от высевающего аппарата до дна борозды по заданной траектории в сторону, противоположную движению агрегата, со скоростью подачи семени на выходе до 3,5 м/с.

3. Обоснованы закономерности движения семян в семяпроводе усовершенствованного пневматического высевающего аппарата с учетом влияния скорости движения агрегата. Разработаны математические модели определения скорости семян на выходе из участков семяпроводов: прямолинейного, криволинейного, ускорительного. Определены факторы, позволяющие достичь скорости семени на выходе из семяпровода, равной скорости посевного агрегата v_a . Ими являются: скорость воздушного потока в ускорителе v_g , длина ускорителя семяпровода l_3 , угловая скорость вращения высевающего диска ω .

4. Опытным путем уточнены свойства семян кукурузы (среднеспелый гибрид Краснодарский 382МВ), влияющие на показатели работы усовершенствованного высевающего аппарата: масса 1000 семян составила 0,31 кг, средняя скорость витания $v_{кр} = 10,4$ м/с, коэффициенты трения семени о семяпровод (труба ГОСТ Р 52134–2003): статический $f_{ст} = 0,36$, динамический $f = 0,25$.

5. Обоснованы рациональные конструктивно–технологические параметры высевающего аппарата, оснащенного семяпроводом с ускорителем, и режимы его работы: внутренний диаметр семяпровода $D_{вн} = 16$ мм, высота начала и конца участков $h_1 = 0,14$ м, $h_2 = 0,05$ м, $h_3 = 0,01$ м; радиус кривизны второго участка семяпровода $\rho = 0,076$ м, угол схода семян с высевающего диска $\beta = 20^\circ$, длина ускорителя $l_3 = 0,12$ м, угловая скорость вращения высевающего диска $\omega = 2,5 \dots 3,0$ с⁻¹, скорость воздушного потока в ускорителе $v_g = 18 \dots 20$ м/с.

6. Подтверждено, что использование в конструкции сеялки типа СУПН семяпровода семян повышает качество распределения их по дну борозды. Экспериментально установлены следующие показатели:

– средние интервалы между семенами кукурузы при высеве пневматическим аппаратом с семяпроводом без ускорителя составили 342 мм, с семяпроводом с ускорителем – 304 мм, что выше расчетного шага посева (257 мм);

– коэффициент вариации интервалов между семенами для указанных выше семяпроводов составил: 41,4 % и 38,8 %;

– процент семян с интервалами, предусмотренными исходными требованиями, соответственно равен 52 % и 92 %.

7. Внедрение в производство пневматической сеялки, оснащенной предложенными высевающими аппаратами, позволит получить расчетную годовую экономию 87,25 тыс. руб. на одну сеялку за один сезон работы (70 ч) при затратах на ее модернизацию 29,17 тыс. руб.

Основные положения диссертации опубликованы:

в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:

1. Чикильдин, В. Н. Математические модели распределения семян в рядке при высеве пропашных культур / В. Н. Чикильдин, А. Н. Кулинич, В. Г. Захарченко, Е. М. Зубрилина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2007. - № 7. - С. 34-35.

2. Чикильдин, В. Н. Теоретические исследования процесса движения семян по семяпроводу / В. Н. Чикильдин, Е. М. Зубрилина // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2009. - № 5. - С. 23-24.

3. Чикильдин, В. Н. Экспериментальные исследования высевающего аппарата с семяпроводом–ускорителем / В. Н. Чикильдин, Е. М. Зубрилина // Достижения науки и техники АПК. - 2011. - № 2. - С. 66-70.

в патентах:

4. Пат. 2357393 Российская Федерация, МПК⁷ А 01 С 7/04, А01 С1/00. Пневматический высевающий аппарат / Чикильдин В. Н., Кулинич А. Н., Зубрилина Е. М. ; заявитель и патентообладатель Ставропольский гос. аграрный ун–т. - № 2007149015/12 ; заявл. 25.12.2007 ; опубл. 10.06.2009, Бюл. №16 - 3 с.: ил.

5. Пат. 97588 Российская Федерация, МПК⁷ А 01 С 7/04, А01 С1/00. Пневматический высевающий аппарат / Зубрилина Е. М., Чикильдин В. Н., Кулинич А. Н. ; заявитель и патентообладатель ООО НПП «АгроТехника». - № 2010114402/21 ; заявл. 13.04.2010 ; опубл. 20.09.2010, Бюл. №26 - 3 с.: ил.

в других изданиях:

6. Кулинич, А. Н. Анализ факторов, влияющих на равномерность распределения семян пропашных культур в рядке при посеве / А. Н. Кулинич, В. Н. Чикильдин, Е. М. Зубрилина // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе : сб. науч. тр. по материалам IV Российской науч.-практ. конф. - Ставрополь : АГРУС, 2007. - С. 216-222.

7. Зубрилина, Е. М. Методика определения характеристик подачи семян высевающим аппаратом / Е. М. Зубрилина, В. Н. Чикильдин // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сб. науч. ст. по материалам III Междунар. науч.-практ. конф. в рамках X Междунар. агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2008». - Ставрополь : АГРУС, 2008. - С. 57-63.

8. Кулинич, А. Н. Экспериментальная установка для проведения лабораторных исследований пневматических высевающих аппаратов / А. Н. Кулинич, В. Н. Чикильдин, Е. М. Зубрилина // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сб. науч. ст. по материалам III Междунар. науч.-практ. конф. в рамках X Междунар. агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2008». - Ставрополь : АГРУС, 2008. - С. 109-112.

9. Кулинич, А. Н. Анализ конструкций сеялок для возделывания пропашных культур зарубежного и отечественного производства / А. Н. Кулинич, И. В. Кудрявцев, К. Г. Нестеров, В. Н. Чикильдин, Е. М. Зубрилина // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сб. науч. ст. по материалам III Междунар. науч.-практ. конф. в рамках X Междунар. агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2008». - Ставрополь : АГРУС, 2008. - С. 123-128.

10. Зубрилина, Е. М. Конструкция пневматического высевающего аппарата с элементами управления процессом распределения семян в рядке / Е. М. Зубрилина, В. Н. Чикильдин, А. Н. Кулинич // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сб. науч. ст. по материалам III Междунар. науч.-практ. конф. в рамках X Междунар. агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2008». - Ставрополь : АГРУС, 2008. - С. 120-123.

11. Кулинич, А. Н. Анализ теоретических основ распределения семян пропашных культур в рядке / А. Н. Кулинич, В. Н. Чикильдин, Е. М. Зубрилина // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сб. науч. ст. по материалам III Междунар. науч.-практ. конф. в рамках X Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2008». - Ставрополь : АГРУС, 2008. - С. 128-132.

12. Чикильдин, В. Н. Элементы теории процесса движения семян по семяпроводу / В. Н. Чикильдин, Е. М. Зубрилина // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч.-практ. конф. в рамках XI Междунар. агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2009». - Ставрополь : АГРУС, 2009. - С. 33-37.

13. Чикильдин, В. Н. Аналитические исследования полета семян в сеялках типа СУПН / В. Н. Чикильдин, Е. М. Зубрилина // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч.-практ. конф. в рамках XII Междунар. агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2010». - Ставрополь : АГРУС, 2010. - С. 259-263.

14. Чикильдин, В. Н., Зубрилина Е. М. Разработка функциональной схемы и конструкции высевающего аппарата с семяпроводом / В. Н. Чикильдин, Е. М. Зубрилина // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сб. науч. ст. по материалам IV Междунар. науч.-практ. конф. в рамках XII Междунар. агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2010». - Ставрополь : АГРУС, 2010. - С. 257-259.

15. Чикильдин, В. Н. Расчет экономической эффективности внедрения в производство усовершенствованного высевающего аппарата с семяпроводом-ускорителем / В. Н. Чикильдин // Аграрная наука - Северо-Кавказскому федеральному округу : сб. науч. тр. по материалам 75-й науч.-практ. конф. - Ставрополь : АГРУС, 2011. - С. 205-207.

16. Чикильдин, В. Н. Результаты полевых исследований усовершенствованного высевающего аппарата с семяпроводом-ускорителем / В. Н. Чикильдин // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе : сб. науч. тр. по материалам IV Российской науч.-практ. конф. - Ставрополь : Ставропольское издательство «Параграф», 2011. - С. 190-195.

ЛР 65–13 от 15.02.99 Подписано в печать 18.10.2011 г.
Формат 60x84/16. Усл. п.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 123.

Издательство Ставропольского государственного аграрного университета "АГРУС"
355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, тел.: (8652) 35–06–94, e-mail: agrus@stgau.ru,
<http://agrus.stgau.ru>