

На правах рукописи



**Семенихина Юлия Александровна**

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЫСЕВА СЕМЯН КОРМОВЫХ ТРАВ  
ВИБРОДИСКРЕТНОЙ ВЫСЕВАЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации

сельского хозяйства

(по техническим наукам)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Зерноград – 2013

Работа выполнена в Государственном научном учреждении  
«Северо-Кавказский научно-исследовательский институт  
механизации и электрификации сельского хозяйства» Российской академии  
сельскохозяйственных наук (ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии)

**Научный руководитель:** доктор технических наук профессор  
**Беспамятнова Наталья Михайловна**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук профессор  
**Краснов Иван Николаевич**  
(ФГБОУ ВПО АЧГАА, профессор кафедры)

кандидат технических наук доцент  
**Зубрилина Елена Михайловна**  
(ФГБОУ ВПО СтГАУ, доцент кафедры)

**Ведущая организация:** **Новокубанский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех») – КубНИИТиМ, г. Новокубанск**

Защита состоится « 5 » июля 2013г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.001.01, созданного при ФГБОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия», по адресу: 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина 21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия».

Автореферат разослан « 4 » июня 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук  
профессор



Н.И. Шабанов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** При возрождении животноводческой отрасли возрастает необходимость возделывания растительной кормовой базы, обеспечивающей дешёвые и разнообразные корма: зелёную массу, сено, сенаж, силос, травяную муку, брикеты, гранулы и др. Среди огромного разнообразия кормовых культур особую группу занимают семена, отличающиеся низкой сыпучестью и повышенной связностью: костреч безостый, разновидности овсяницы, житняк, пырей и др. Существующие современные высевальные аппараты не обеспечивают агротехнические требования для их посева (норму посева, неравномерность и неустойчивость посева), что значительно увеличивает экономические затраты на дорогостоящие семена.

В СКНИИМЭСХ разработаны вибрационные высокоточные технологии приёма и операций посева сельскохозяйственных культур и удобрений с использованием сменных блоков и универсальных высевальных аппаратов вибродискретного действия. Однако процесс истечения средне- и трудносыпучих семян трав кормовых культур недостаточно исследован. Изучение процессов посева трудносыпучих семян трав кормовых культур для повышения качественных показателей, обеспечивающих агротехнические требования, представляют научный и практический интерес и являются актуальными.

**Работа выполнена в СКНИИМЭСХ** в соответствии с Планом фундаментальных и приоритетных прикладных исследований Россельхозакадемии по научному обеспечению развития АПК Российской Федерации на 2011-2015 годы по этапу 09.01.02 «Разработать наукоёмкие ресурсосберегающие машинные технологии и технические средства возделывания и уборки зерновых, масличных и других культур».

**Научная гипотеза** состоит в том, что повышение качества посева трудносыпучих семян возможно при создании вибрационного поля на выходе из бункера путём изменения направленности скоростей и ускорений высеваемого потока для искусственного понижения силы трения и связности сыпучего материала (разрушение связей между семенами).

**Рабочая гипотеза** заключается в том, что повышение качества посева семян кормовых трав различной степени сыпучести может быть достигнуто оптимальным сочетанием режимов истечения семян и работы пластины-вибратора в вибродискретной высевальной системе.

**Цель исследования** – повышение качества посева семян кормовых трав вибродискретной высевальной системой путём совершенствования технологического процесса дозирования вибродискретным высевальным аппаратом.

**Объект исследования** – технологический процесс посева семян кормовых трав различной степени сыпучести, выполняемый исполнительной виб-

росистемой высева.

**Предмет исследования** – закономерности взаимодействия качественных показателей высева семян кормовых трав различной степени сыпучести и параметрами и режимами вибродискретной высевающей системой.

**Методы исследования.** Для достижения поставленной цели использованы методы теоретической механики, теории вибрации, устойчивости упругих систем, математического анализа, математической статистики, планирования экспериментов.

**Научная новизна** заключается в выявлении закономерностей создания управляемого процесса истечения и дозирования семян кормовых трав различной степени сыпучести с использованием виброэффектов. Уточнена и проанализирована гибридная модель истечения и дозирования семян с различной степенью сыпучести, учитывающая диапазон изменения пластичности семян. Определены физико-механические свойства трудносыпучих семян при истечении их в вибрационном поле.

**Практическая значимость** работы заключается в получении аналитических зависимостей, которые могут быть использованы при проектировании высевающих виброаппаратов, определении параметров и режимов устойчивого функционирования и обеспечения точного управления дозированием потока семян кормовых трав различной степени сыпучести. Уточненная математическая модель истечения и дозирования трудносыпучих семян может применяться для настройки вибродискретного высевающего аппарата на оптимальные режимы работы при посеве с различными свойствами сыпучести.

**На защиту вынесены:**

– результаты обоснования управляемого процесса снижения неравномерности и неустойчивости истечения и дозирования трудносыпучих семян при повышенных коэффициентах трения и малой массы высеваемого материала;

– уточненная математическая модель истечения и дозирования семян различной степени сыпучести, устанавливающая взаимосвязь между массовым расходом семян кормовых трав и параметрами и режимами вибродискретного высевающего аппарата;

– данные экспериментальных исследований физико-механических свойств семян с различной степенью сыпучести и процессов истечения и дозирования трудносыпучих семян в вибрационном поле.

**Реализация результатов исследований.** Результаты научных исследований использованы ОАО «Реммаш» при создании универсальной сеялки-культиватора СК-3,0Б («Глазовчанка»), а также использованы при разработке «Технологического регламента посева семян различных сельскохозяйственных культур в условиях недостаточного увлажнения».

**Апробация работы.** Результаты исследований доложены и одобрены на Международных научно-практических конференциях ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии (2007, 2012 гг.), ДГТУ «Интерагромаш» (г. Ростов-на-Дону, 2009), Przemysl (Польша, 2012г), АЧГАА (2012 г.).

**Публикации:** основные положения диссертации опубликованы в 7 печатных работах, в том числе 2 в изданиях из перечня ВАК Министерства образования и науки РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 166 страницах, содержит 43 рисунка и 10 таблиц. Список литературы включает 96 наименований, в том числе 3 на иностранном языке.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** отражены важность и актуальность исследования, обозначены цель работы, объект и предмет исследования, показаны научная новизна и практическая ценность работы.

**В первой главе** «Состояние вопроса, цель и задачи исследования» проведён анализ выполненных исследований, связанных с равномерностью высева семян с различной степенью сыпучести современными высевальными аппаратами, технологий высева трудносыпучих семян и особенностями вибрационных процессов в современных технологиях посева.

Вопросам истечения семян как сыпучего материала посвящены труды В.А. Богомягких, Л.В. Гячева, Р.Л. Зенкова. Вибрационные процессы высева сельскохозяйственных культур исследовали Н. М. Беспмятнова, А.А. Вишняков, В.А. Денисов, А.А. Дубровский, Е.М. Зубрилина, А.И Клишин, В.С. Красовских, В.Х. Малиев, С.А. Овсянников, и др.

Предложенные вибрационные высевальные аппараты обладают повышенной частотой вибрации и усложнением конструкций, удвоением процесса высева семян из бункера и последующего дозирования. Существует различный взгляд современных исследователей на параметры высева из бункера. Используемые авторами математические модели в основном применимы к сыпучему материалу с достаточно высоким объёмным весом, средней нормой высева и средним коэффициентам внутреннего трения.

**Для реализации поставленной цели были решены следующие задачи:**

1. Разработать теоретические предпосылки управляемого истечения и дозирования семян кормовых трав различной степени сыпучести в вибрационном поле, создаваемом вибродискретной высевальной системой.

2. Выявить математические и регрессионные модели, устанавливающие взаимосвязь между режимами и параметрами в системе «поток семян – пла-

стина-вибратор».

3. Определить параметры и режимы работы вибродискретной высевающей системы, обеспечивающей повышение качества высева семян кормовых трав различной степени сыпучести.

4. Провести технико-экономическое обоснование управляемого истечения и дозирования семян кормовых трав вибродискретной высевающей системой.

**Во второй главе** «Теоретические предпосылки истечения семян кормовых трав» рассмотрены особенности истечения трудносыпучих семян в вибрационном поле, одновременного истечения семян из бункера и дозирования их в соответствии с заданной нормой высева, создаваемой пластиной-вибратором. Модель истечения семян представлена на рисунке 1.

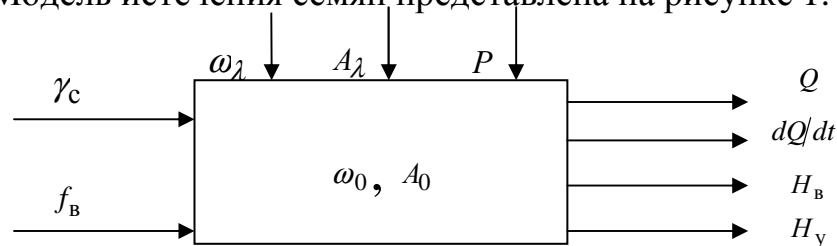


Рисунок 1 – Модель истечения семян в вибрационном поле:

$\gamma_c$  – объёмный вес семян в истекающем потоке, кг/м<sup>3</sup>;  $f_B$  – коэффициент внутреннего трения семян;  $\omega_\lambda, \omega_0$  – возбуждающая и возбуждаемая частоты колебаний пластины-вибратора и семян соответственно, с<sup>-1</sup>;  $P$  – мощность, Вт;  $A_\lambda, A_0$  – амплитуды колебаний пластины-вибратора и семян соответственно, мм;  $Q$  – норма высева семян, кг/га;  $dQ/dt$  – массовый расход семян (доза), г/мин;  $H_B$  – неравномерность высева семян, %;  $H_y$  – неустойчивость высева семян, %

Для анализа использована гибридная модель колебаний системы «поток семян – пластина-вибратор», разработанная Н.М. Беспамятновой, и с учетом переменного характера показателей физико-механических свойств трудносыпучих семян, дополненная интегрирующим элементом, учитывающим диапазоны изменения пластичности семян при использовании вибрации:

$$[D]p + \rho h \left| \frac{d^2 p}{dt^2} \right| = -[\sigma^T] [C^{BB}] [U], \quad (1)$$

$$[M] + [K] = C_p + \int_{f_{BB}}^{f_B} C_{II}, \quad (2)$$

где  $[D]$  – матрица системы с оператором Лапласа, кг/(м<sup>2</sup>·с<sup>2</sup>);  $p$  – нормальный прогиб пластины-вибратора, м;  $h$  – толщина пластины-вибратора, м;  $\rho$  – плотность материала пластины-вибратора, кг/м<sup>3</sup>;  $[M]$  – матрица инерции сис-

темы,  $\text{кг/с}^2$ ;  $[K]$  – матрица жесткости системы,  $\text{кг/с}^2$ ;  $[\sigma^T]$  – матрица производных импульсных функций первого и второго порядков (длительность импульса),  $\text{с}^2/(\text{кг}\cdot\text{м})$ ;  $[C^{BB}]$  – матрица жесткости упругих связей перемещения семян по пластине-вибратору, учитывающая коэффициенты трения, уплотнения, истечения и т.д.,  $\text{кг/с}^2$ ;  $[U]$  – матрица, учитывающая ускоренное истечение дозы высева семян по длине пластины-вибратора из бункера,  $\text{кг/с}^2$ ;  $C_p$  – жесткость пластины-вибратора,  $\text{кг/с}^2$ ;  $\int_{f_{BB}}^{f_B} C_{II}$  – интегрирующий показатель, учитывающий пластичность семян,  $\text{кг/с}^2$ ;  $f_{BB}$ ,  $f_B$  – коэффициент внутреннего трения с вибрацией и без вибрации соответственно.

Гибридная модель отражает интенсивность истечения и дозирования семян (массового расхода) по времени и по длине пластины-вибратора в виброполе: размерность частей (1) –  $\text{кг/м}\cdot\text{с}^2$ , частей (2) –  $\text{кг/с}^2$ . Необходимая интенсивность достигается управляющей матрицей  $[\sigma^T]$ , характеризующей режим работы пластины-вибратора, частота колебаний  $[\omega_\lambda]$  которого уменьшает кажущиеся коэффициенты трения без вибрации  $f_B$ , уплотнения  $k_y$  и увеличивают коэффициент истечения  $k_{II}$  семян трав.

Таким образом, в первом уравнении первое слагаемое  $[D]p$  – отражает изменение массового расхода семян в единицу времени (ускорение подачи дозы семян), второе слагаемое  $\rho h \left| \frac{d^2 p}{dt^2} \right|$  – определяет изменение прогиба пластины-вибратора посредством его амплитуды  $A_\lambda$ , частоты  $\omega_\lambda$  или мощности электрического импульса  $P$ , подаваемого на электромагнит. Второе уравнение соответствует изменению показателей инерции и жёсткости системы и обратной реакции жёсткостей пластины-вибратора с потоком семян. С учётом рассматриваемого процесса истечения неупругих семян можно представить некой тормозящей (запаздывающей) реакцией  $C_{II}$ , которой будет соответствовать обобщённый коэффициент упругости  $f$ , учитывающий физико-

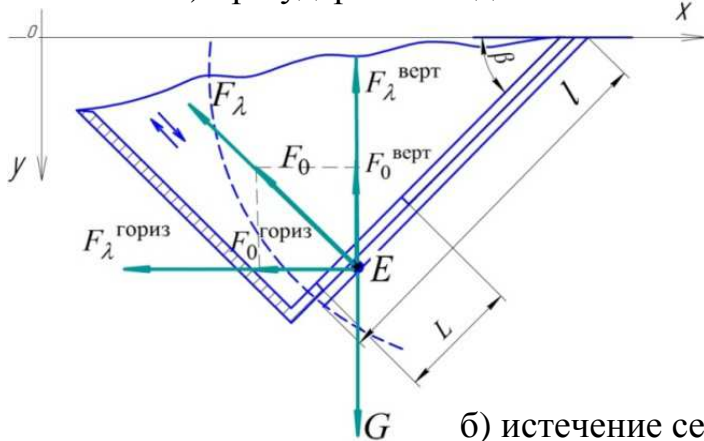
механические свойства семян:  $\int_{f_{BB}}^{f_B} C_{II}$ .

Спектр колебаний собственных частот системы ограничивается соотношением собственных частот  $\omega_\lambda$  пластины-вибратора и  $S_1$  – слоя семян на ней, жесткостью связи перемещения семян по пластине-вибратору и жесткостью пластины-вибратора, скоростью перемещения семян по пластине-вибратору  $\sigma^T$  (импульсной функцией) и положением семян относительно координат выпускных отверстий.

Отсюда вытекает следствие, что изменением соотношения собственных частот колебаний пластины-вибратора  $\omega_\lambda$  и слоя семян  $S_1$ , обусловленных нормой (дозой) высева, можно добиться изменения соответственно собственной частоты ( $\omega_0$ ) высеваемой культуры, управлять процессом истечения семян из бункера, т.е. управлять изменением нормы высева семян.

Основой управления является отслеживание или «навязывания» заданного режима колебаний пластины-вибратора  $\omega_\lambda$ , в зависимости от агротехнических требований, задаваемых на технологический процесс. В поток истекающих из бункера семян подаётся пластиной-вибратором сила  $F_\lambda$  с частотой  $\omega_\lambda$  и амплитудой  $A_\lambda$ , создающая вибрацию семян, определяемую соответственно показателями их истечения и дозирования  $F_0$ ,  $\omega_0$  и  $A_0$  (рисунки 2, б).

а) при ударном воздействии пластины на семена в высевном зазоре



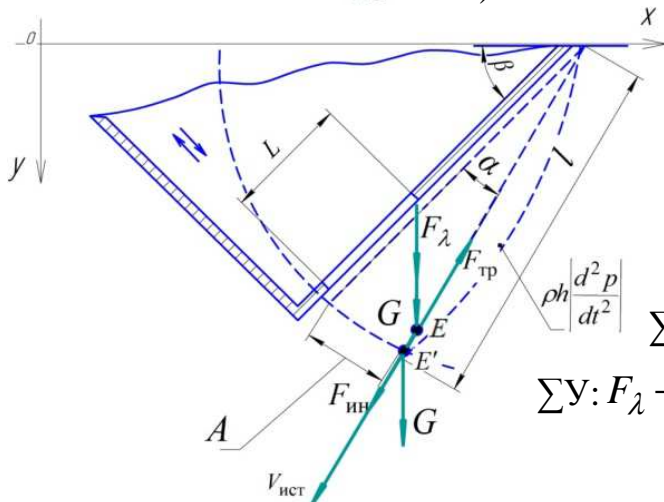
$$F_\lambda = f(\omega, P),$$

$$\beta = 45^\circ,$$

$$\sum X: F_\lambda \cdot \cos \beta,$$

$$\sum Y: F_\lambda \cdot \sin \beta.$$

б) истечение семян из высевного зазора



$$\beta = 45^\circ,$$

$$\alpha \leq 15^\circ,$$

$$\sum X: F_{тр} \cdot \cos(\alpha + \beta) = F_{инн} \cdot \cos(\alpha + \beta),$$

$$\sum Y: F_\lambda + 2G + F_{инн} \cdot \sin(\alpha + \beta) = F_{тр} \cdot \sin(\alpha + \beta),$$

$$F_\lambda = -2G, \quad m j_{пр} = \pm 2mg.$$

Рисунок 2 – Схема сил, воздействующих на выделенный объём семян пластиной-вибратором

Известно, что чем меньше коэффициент трения покоя, тем быстрее происходит кажущееся уменьшение коэффициента внутреннего трения, а это может происходить при изменении величины ускорений колебаний, определяемой величиной мощности электрического импульса. Возникающей пульсацией сыпучего тела возможно управлять величиной или длительностью



электрического импульса, подаваемого на электромагнит.

Процесс воздействия пластины-вибратора на поток семян происходит ударом перед закрытием зазора. В точке  $E$  под воздействием усилия пластины-вибратора  $F_\lambda$  создаются вертикальные и горизонтальные составляющие  $F_\lambda^{\text{верт}}$  и  $F_\lambda^{\text{гор}}$  (рисунки 2, 6). При ударе в объеме семян создаются напряжения в ворохе  $F_0^{\text{верт}}$  и  $F_0^{\text{гор}}$ , которые перераспределяют отдельные семена в потоке и их соприкосновение различными поверхностями изменяют силы трения скольжения, что особенно важно для семян, форма которых не соответствует шаровой.

Через открытый зазор поток семян устремляется на пластину-вибратор, а горизонтальная составляющая  $F_0^{\text{гор}}$  дополнительно перемещает семена по пластине-вибратору, увеличивая их истечение по времени и по пути.

С учетом гидравлического радиуса истечения семян из бункера определена скорость струи семян, сбегаящей с пластины-вибратора без вибрации, которая составила от 0,116 до 0,176 м/с, что недостаточно для истечения их из бункера без принудительных усилий, а под действием вибрации увеличивается в 4,5 раза (рисунок 3).

Для определения расчетных режимов истечения трудносыпучих семян использовалась вибродискретная высевая система, разработанная в СКНИИМЭСХ совместно с ТНИИС по патенту № 2273979 (рисунок 4).

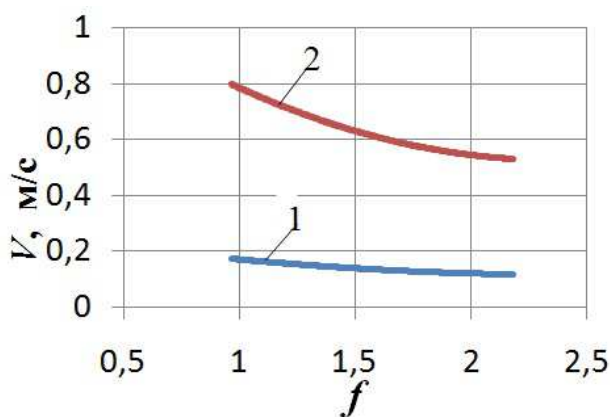


Рисунок 3 – Зависимость скорости истечения семян кормовых трав от коэффициента внутреннего трения: 1 – без вибрации; 2 – под воздействием вибрации

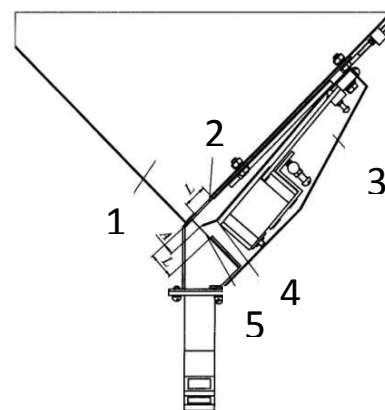


Рисунок 4 – Схема вибродискретного высевного аппарата: 1 – бункер; 2 – входное окно аппарата и высевное окно бункера; 3 – вибродискретный высевной аппарат; 4 – пластина-вибратор; 5 – выходное высевное окно аппарата

Методом планирования эксперимента (рисунок 5) определены пропускная площадь высевного зазора  $S_{\text{зазор}}$  и амплитуды колебаний пластины-вибратора  $A_\lambda$  для высева различных культур вибродискретным высевным

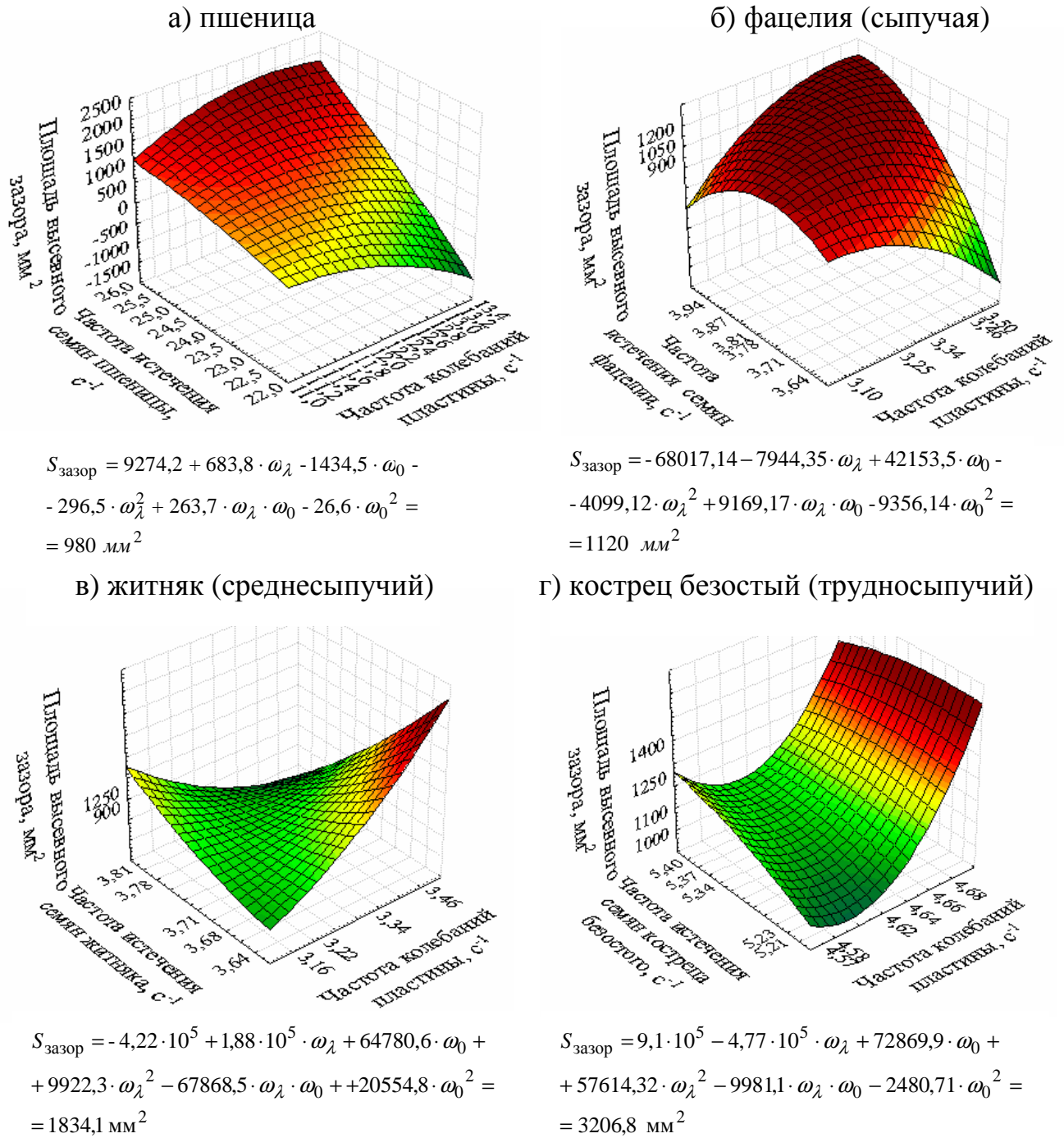


Рисунок 5 – Поверхности отклика и регрессионные модели площади высевного зазора для семян кормовых трав различной степени сыпучести от частоты колебаний пластины-вибратора  $\omega_{\lambda}$  и собственной частоты истечения семян  $\omega_0$

аппаратом. Анализ графиков и регрессионных моделей позволяет сделать следующие выводы: на площадь пропускного отверстия бункера при воздействии виброполя с увеличением массового расхода влияние частоты колебаний пластины-вибратора снижается. Чем меньше массовый расход семян, тем выше влияние частоты колебаний пластины-вибратора на параметр выпускного отверстия. Для трудносыпучих семян параметр пропускного отверстия в основном зависит от амплитуды колебаний пластины-вибратора, так

как усилие падающих на него семян не слишком значительно и не создают на пластине-вибраторе достаточный прогиб  $\rho h \left| \frac{d^2 p}{dt^2} \right|$ , а вторые производные (ускорения) – уже значительно заметнее.

Поверхности отклика зерновых (пшеница) и близких к ним семян трав (фацелия) имеют выпуклый характер с отчетливо выраженным центром оптимизации с амплитудой 10 мм и площадью высевного зазора  $S_{\text{зазор}} = 980-1120 \text{ мм}^2$ . Для семян трав с низкой степенью сыпучести (житняк, кострец безостый) поверхности отклика имеют вогнутый характер, а центр оптимизации смещается в сторону более низких частот пластины-вибратора, но с увеличенной амплитудой 32 мм и площадью высевного зазора  $S_{\text{зазор}} = 3206 \text{ мм}^2$ .

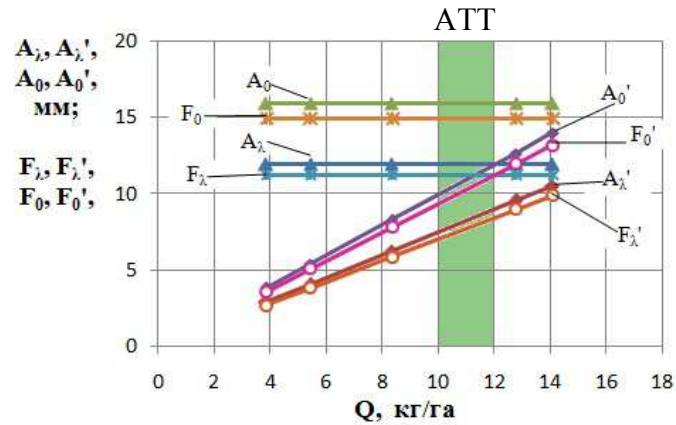
Возникает противоречие между необходимостью создания для семян с малой нормой уменьшенного зазора из бункера с малой пропускной способностью, а с другой стороны – увеличением зазора для высева трудносыпучих семян. Противоречие решается увеличением вектор-функции  $\sigma^T$  в гибридной модели: усилением внешнего воздействия в зазоре пластиной-вибратором, либо с помощью повышения частоты  $\omega_\lambda$ , либо увеличением усилия в нём за счет мощности электрических импульсов  $P$ .

Определение амплитуд колебаний и сил, возникающих в пластине-вибраторе и потоках семян, рассчитывалось по методике J. Wilson с учетом особенностей рассматриваемого процесса: нагрузка на пластину-вибратор  $F_\lambda = \frac{dQ_c}{dt} \cdot D_1$ , где  $F_\lambda$  – усилие на пластине-вибраторе, г/с;  $Q_c$  – норма высева, кг/га;  $\frac{dQ}{dt}$  – массовый расход семян (доза), г/мин;  $D_1$  – коэффициент усиления, определенный в данном исследовании -1,33; амплитуда пластины-вибратора  $A_\lambda' = \pm \frac{dQ/dt}{M} l$ , где  $M$  – интегральная масса пластины-вибратора, кг;  $l$  – длина пластины-вибратора, м; амплитуда колебаний потока семян  $A_0' = D_1 \cdot A_\lambda'$ .

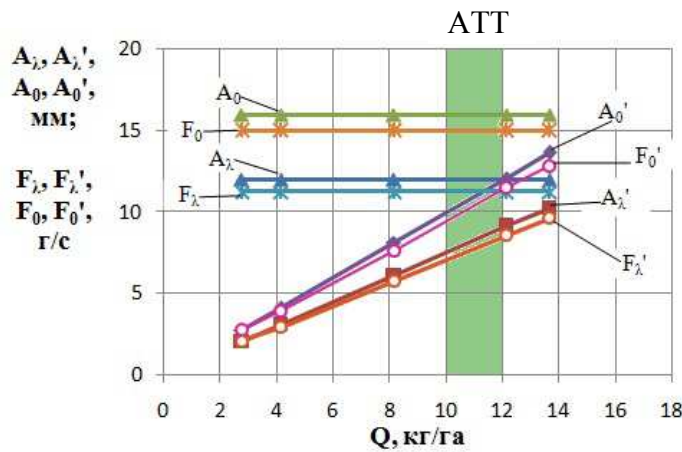
Силы, возбуждающая пластиной-вибратором  $F_\lambda' = C \cdot A_0'$ , г/с и возбуждаемая в потоке семян  $F_0' = \pm D_1 \cdot F_\lambda'$ , где  $C$  – жесткость пластины-вибратора, кг/с<sup>2</sup>, и их расчетные данные приведены графически (рисунок б). Наглядно видно, что амплитуда  $A_\lambda$  и частота реальной пластины-вибратора  $\omega_\lambda$  с ограниченной частотой вибрации 6,7 Гц и амплитудой 12 мм для семян с нормальной сыпучестью имеют коэффициент запаса для необходимых усилий пластины-вибратора, высевающего сыпучий материал с заданным массовым расходом семян (фацелия, житняк).

Для заданных агротехническими требованиями норм высева трудносы-

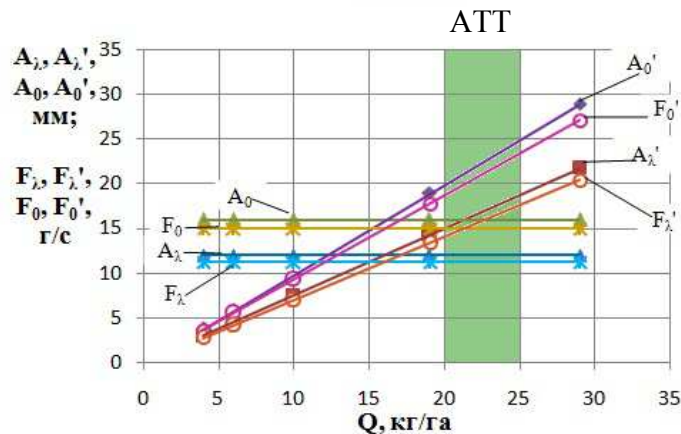
пучих семян (кострец безостый) и их склонности к сводообразованию – уровень мощности электрического импульса, подаваемого на электромагнит, увеличивать необходимо изначально.



а) фацелия  
(сыпучие)



б) житняк  
(среднесыпучий)



в) кострец  
безостый  
(трудносыпучий)

Рисунок 6 – Зависимость амплитуды колебаний и возникающих сил пластины-вибратора от дозирования (нормы высева):  $A_{\lambda}$  – амплитуда колебаний пластины-вибратора, 12 мм;  $A_{\lambda}'$  – теоретическая амплитуда колебаний пластины-вибратора;  $A_0, A_0'$  – амплитуда колебаний семян на пластине-вибраторе, ограниченная и теоретическая;  $F_{\lambda}, F_{\lambda}'$  – усилие на пластине-вибраторе, соответственно ограниченное и теоретическое;  $F_0, F_0'$  – усилие воздействия на поток семян, соответственно ограниченное и теоретическое

**В третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены задачи экспериментальных исследований, программа исследований, перечень оборудования и приборов. Лабораторные исследования проводились: для изучения физико-механических свойств семян кормовых трав различной степени сыпучести; для исследования влияния мощности электрического импульса, подаваемого на электромагнит, на качество истечения и дозирования семян и уточнения рациональных параметров вибродискретного высевающего аппарата и режимов его работы при высеве семян кормовых трав различной степени сыпучести.

**В четвертой главе** «Результаты экспериментальных исследований» приведены физико-механические характеристики семян кормовых трав и их анализ, который показал, что длина трудносыпучих семян костреца безостого значительно превышает злаковые, а по толщине имеют самый малый размер. Такие семена ближе к пластинам, а не к шару. Кроме того, силы трения скольжения семян костреца безостого относительно друг друга сильно изменяются в зависимости от того, каким размерным параметром соприкасаются семена. Отсюда и следует повышенная степень укладки семян в свод и необходимость его разрушения переориентацией семян в потоке, что и достигается при вибрации. Фрикционные свойства семян трав кормовых культур представлены таблично.

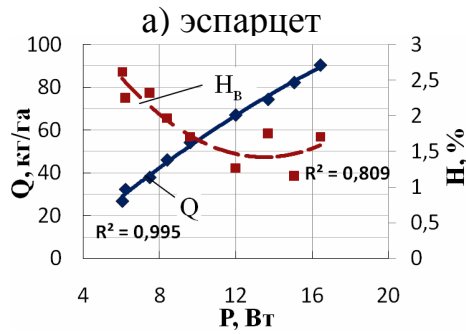
Таблица – Фрикционные свойства семян кормовых трав

Фрикционные свойства	Эспар- цет	Фацелия	Житняк	Овсяница	Пырей	Кострец безостый
	Сыпучие		Среднесыпучие			Трудно- сыпучий
Угол естественного откоса, $\alpha_0$	44°	52°	53°	55°	56°	65°
Коэффициент внутреннего трения, $f_B$	0,97	1,26	1,35	1,47	1,50	2,18
Коэффициент истечения, $k_{и}$	0,57	0,50	0,48	0,46	0,45	0,38
Коэффициент трения движения о сталь, $f_{д}$	0,58	0,51	0,49	0,55	0,52	0,48
Коэффициент трения покоя о сталь, $f_{п}$	0,68	0,62	0,64	0,65	0,66	0,65

Наибольший коэффициент внутреннего трения отмечен у костреца безостого, что и определяет связность семенного материала и предопределяет наименьший коэффициент истечения.

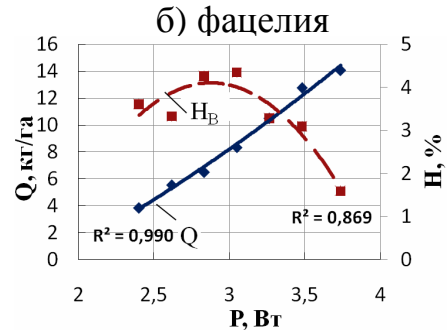
Выполнены исследования по высеву семян кормовых трав (обычной,

средней и низкой степенью сыпучести) при различной мощности электрического импульса  $P$ , подаваемого на электромагнит, создающий переменное магнитное поле, в котором колеблется пластина-вибратор с постоянной частотой 6,7 Гц. Определены неравномерность и неустойчивость высева семян трав от заданной нормы высева. Результаты исследований представлены графически на рисунках 8, 9.



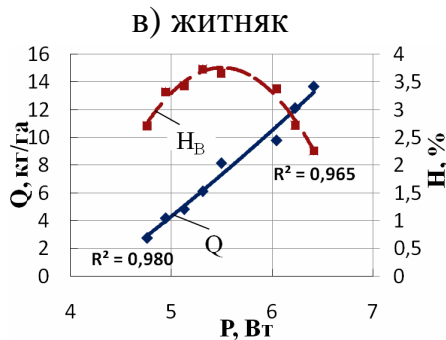
$$Q = -0,12P^2 + 8,55P - 18,2, \text{ (кг/га);}$$

$$H = -19,9 \cdot 10^{-3} \cdot P^2 - 0,54 \cdot P - 5,053, \text{ (%);}$$



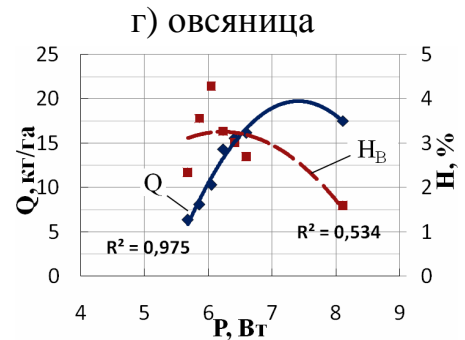
$$Q = 0,77P^2 + 3,26P - 8,5 \text{ (кг/га),}$$

$$H = -3,314P^2 + 19,065P - 23,32 \text{ (%);}$$



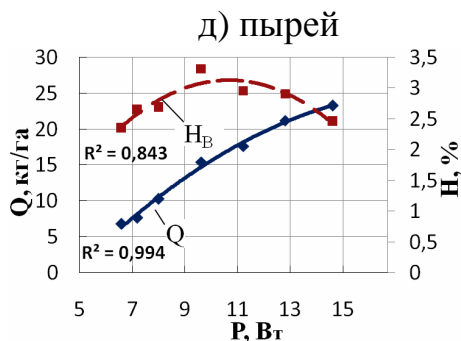
$$Q = 0,32P^2 + 2,7P - 17,1 \text{ (кг/га);}$$

$$H = -1,81 \cdot P^2 + 19,9 \cdot P - 51,024 \text{ (%);}$$



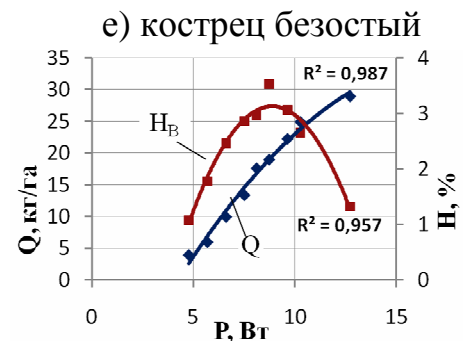
$$Q = -4,6P^2 + 68,2P - 233,1 \text{ (кг/га);}$$

$$H = -0,486 \cdot P^2 + 6,043 \cdot P - 15,547 \text{ (%);}$$



$$Q = -0,13P^2 + 4,91P - 20,35 \text{ (кг/га);}$$

$$H = -45,4 \cdot 10^{-3} P^2 + 0,97P - 2,04 \text{ (%);}$$



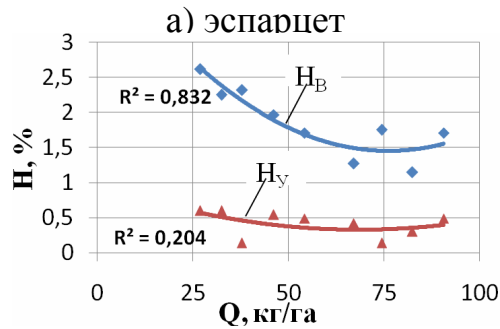
$$Q = -0,18P^2 + 6,65P - 24,85 \text{ (кг/га);}$$

$$H = -125,4 \cdot 10^{-3} P^2 + 2,23P - 6,75 \text{ (%);}$$

Рисунок 8 – Зависимость нормы высева  $Q$ , кг/га и неравномерности высева  $H_{в}$ , % семян кормовых трав от мощности электрического импульса  $P$ , Вт

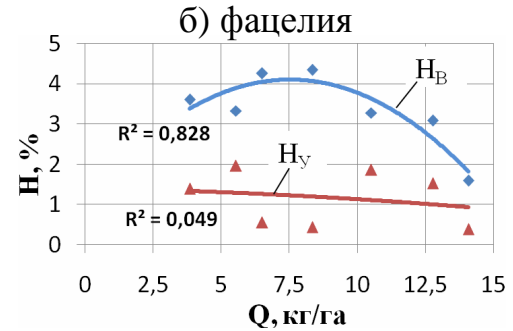
Анализ приведенных данных аппроксимации наглядно свидетельствует о существенном изменении второй производной (ускорение изучаемого пара-

метра потока семян в вибрационном поле), то есть изменяется направленность сил в потоке. А это свидетельствует о косвенном изменении сил трения, то есть о переформировании сыпучей среды в потоке.



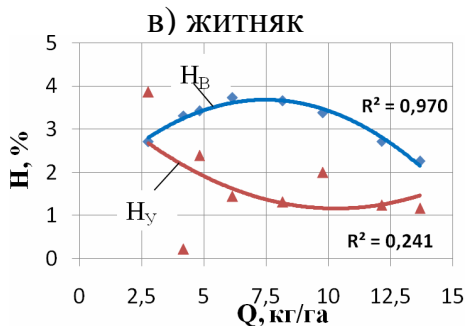
$$H_B = 489 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2 - 74418 \cdot 10^{-6} \cdot Q + 4,28,$$

$$H_Y = 136 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2 - 18574 \cdot 10^{-6} \cdot Q + 0,97;$$



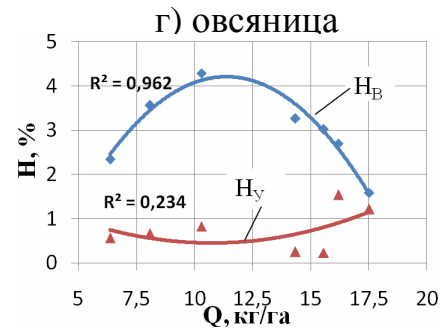
$$H_B = -53 \cdot 10^{-3} Q^2 + 798,5 \cdot 10^{-3} Q + 1,10,$$

$$H_Y = -1,5 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 - 12,2 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 1,40;$$



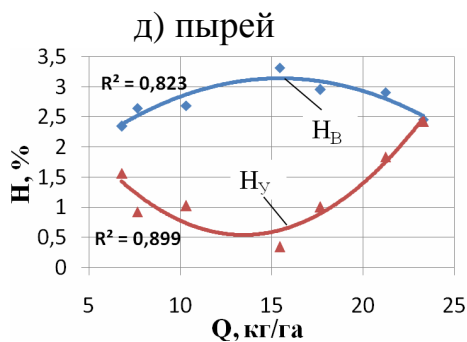
$$H_B = -39 \cdot 10^{-3} Q^2 + 589 \cdot 10^{-3} Q + 1,49,$$

$$H_Y = 27 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 - 549 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 4,0;$$



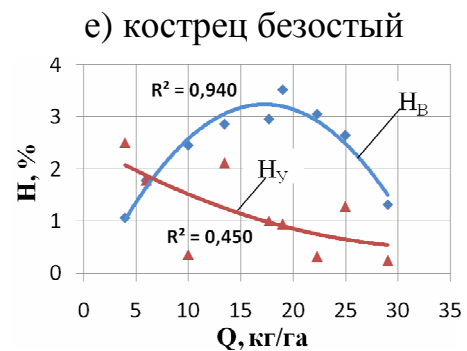
$$H_B = -70 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 + 1,6 \cdot Q - 4,87,$$

$$H_Y = 16 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 - 334 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 2,25;$$



$$H_B = -10,20 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 + 315,57 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 0,703,$$

$$H_Y = 20 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 - 539,56 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 4,18;$$



$$H_B = -12 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 + 0,43 \cdot Q - 0,48$$

$$H_Y = 0,001 \cdot Q^2 - 0,116 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 2,52$$

Рисунок 9 – Зависимость неравномерности  $H_B$ , % и неустойчивости  $H_Y$ , % высева семян кормовых трав от нормы высева  $Q$ , кг/га

Кривые неравномерности и неустойчивости высева трудносыпучих семян носят параболический характер с противоположной выпуклостью кривых и снижаются при повышении норм высева и соответственно увеличению напряженности вибрации. Для семян с нормальной сыпучестью (фацелия) неравномерность высева в вибрационном поле носит более пологий характер,

так как соотношение коэффициентов трения движения и покоя близко к единице, а коэффициент истечения значительно выше, чем у трудносыпучих, к тому же норма высева семян выше, чем у трудносыпучих.

Полевые исследования посева семян овсяницы вибросеялкой СК-3,0Б, проведены в ОАО «Реммаш» на полях Глазовского района Удмуртской Республики. В результате проверки установлено, что предложенное усовершенствование повышения скважности вибрационного поля позволило высевать семена овсяницы с неравномерностью и неустойчивостью высева не более 2%, что значительно (в разы) эффективнее работы катушечных аппаратов.

**В пятой главе** «Оценка экономической эффективности вибродискретной высевальной системы при высевае семян кормовых трав» изложен расчет экономической эффективности, подтверждающий целесообразность использования вибродискретной высевальной системы при высевае семян кормовых трав. Использование данной системы позволит получить около 94691,52 рублей дополнительной прибыли от сокращения расхода семян кормовых трав при посеве со сроком окупаемости дополнительных затрат 0,6 года. Чистый дисконтированный доход составляет (в расчете за 8 лет существования проекта) 360413,5 рублей.

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ**

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Анализ результатов научных исследований и существующих конструкций высевальных аппаратов не обеспечивают агротехнические требования на посев кормовых трав с малыми сыпучестью и нормой высева. Высевальные аппараты выполняют отдельные процессы высева семян из бункера и обеспечения нормы высева, а математические модели для исследований в основном применимы к сыпучему материалу с достаточно высокими объёмным весом и нормой высева.

2. Аналитические исследования одновременного истечения и дозирования семян трав с различной степенью сыпучести из бункера и создания заданной нормы высева позволили установить следующее:

– с учетом переменного характера физико-механических свойств трудносыпучих семян в вибрационном поле гибридная модель, включающая в себя интенсивность истечения семян из бункера и обеспечение её возбуждающими колебаниями пластиной-вибратором, должна быть дополнена интегрирующим элементом, учитывающим диапазон изменения пластичности семян (запаздывание);

– управление процессом массового расхода семян кормовых трав осуществляется под воздействием мощности электрического импульса, подаваемого на электромагнит, создающий переменное магнитное поле, в кото-



ром колеблется пластина-вибратор, образующая напряжения в объёме семян у выгрузного отверстия бункера, перераспределяющего в нём силы трения скольжения семян друг о друга, увеличивая дополнительное перемещение семян с пластины-вибратора:

- собственная скорость истечения трудносыпучих семян кормовых трав без вибрации составляет от 0,116 до 0,176 м/с, что недостаточно для истечения их из бункера без принудительных усилий, а под воздействием вибрации увеличивается в 4,5 раза.

3. Аналитические исследования математических и регрессионных моделей позволило установить взаимосвязи между режимами и параметрами в системе «поток семян – пластина-вибратор»:

- на площадь пропускного отверстия бункера под воздействием вибрационного поля основное влияние оказывают частоты колебаний пластины-вибратора и собственная частота истечения семян. С увеличением массового расхода семян влияние частоты пластины-вибратора снижается;

- площадь высевного зазора и амплитуда колебаний пластины-вибратора для семян с различной степенью сыпучести определена по регрессионным зависимостям:

- для сыпучих семян трав, близких к зерновым:

фацелия: при  $\omega_\lambda = 3,25\text{c}^{-1}$ ,  $\omega_0 = 3,75\text{c}^{-1}$ ,  $S_{\text{зазор}} = 1120 \text{ мм}^2$ ,  $A=11,2 \text{ мм}$ ;

- для среднесыпучих трав, близких к зерновым:

житняк: при  $\omega_\lambda = 3,26\text{c}^{-1}$ ,  $\omega_0 = 3,7\text{c}^{-1}$ ,  $S_{\text{зазор}} = 1834,1 \text{ мм}^2$ ,  $A=18,3 \text{ мм}$ ;

- для трудносыпучих семян трав:

кострец безостый: при  $\omega_\lambda = 4,6\text{c}^{-1}$ ,  $\omega_0 = 5,4\text{c}^{-1}$ ,  $S_{\text{зазор}} = 3206,8 \text{ мм}^2$ ,  $A=32 \text{ мм}$ ;

- поверхность отклика сыпучих и среднесыпучих семян злаков и трав представляет собой выпуклые поверхности с отчетливо выраженным «центром» оптимизации при соотношениях частот колебаний вибратора  $\omega_\lambda$  и частот истечения  $\omega_0$ : для сыпучих зерновых – 12-13  $\text{c}^{-1}$  и 22  $\text{c}^{-1}$  соответственно; для сыпучих семян трав 3,5  $\text{c}^{-1}$  и 4  $\text{c}^{-1}$  соответственно; для среднесыпучих семян трав (житняк) 3  $\text{c}^{-1}$  и 4  $\text{c}^{-1}$  соответственно; для трудносыпучих семян трав (кострец безостый) – поверхности отклика вогнутые, центр оптимизации снижается в сторону низких частот 5  $\text{c}^{-1}$  и 6  $\text{c}^{-1}$  соответственно;

- возникающие противоречия повышения зазора и амплитуды колебаний пластины-вибратора для трудносыпучих семян при истечении с понижением зазора для высева малых норм высева и склонностью к сводообразованию решено необходимостью усиления внешнего воздействия в зазоре пластиной-вибратором, увеличением либо частотой  $\omega_\lambda$ , либо увеличением усилия  $F_\lambda$  путем накачки мощности электрического импульса (увеличением прогиба пластины-вибратора);

– для обеспечения малых норм высева семян кормовых трав от 3 до 25 кг/га возникающие усилия в пластине-вибраторе  $F_{\lambda}$  и потоке семян  $F_0$ , а также амплитуды  $A_{\lambda}$  и  $A_0$  соответственно должны быть не ниже следующих:

– для сыпучих семян трав:

$$F_{\lambda}' = 9,92 \text{ г/с}, A_{\lambda}' = 10,56 \text{ мм}, F_0' = 13,2 \text{ г/с}, A_0' = 14,04 \text{ мм};$$

– для среднесыпучих трав:

$$F_{\lambda}' = 9,64 \text{ г/с}, A_{\lambda}' = 10,26 \text{ мм}, F_0' = 12,82 \text{ г/с}, A_0' = 13,64 \text{ мм};$$

– для трудносыпучих семян трав:

$$F_{\lambda}' = 20,43 \text{ г/с}, A_{\lambda}' = 21,74 \text{ мм}, F_0' = 27,18 \text{ г/с}, A_0' = 28,92 \text{ мм};$$

– расчетные амплитуды и частоты реальной пластины-вибратора для семян с нормальной сыпучестью имеют коэффициенты запаса мощности для необходимых усилий пластины-вибратора и его прогиба; для трудносыпучих семян с малой нормой высева необходимо увеличивать мощность электрического импульса, подаваемого на электромагнит, изначально.

4. Экспериментальные исследования позволили установить физико-механические свойства семян трав с различной степенью сыпучести:

– объёмная масса у сыпучих семян эспарцета – 400,0 кг/м<sup>3</sup>, фацелии – 521,0 кг/м<sup>3</sup>; у среднесыпучих семян: житняка – 330,8 кг/м<sup>3</sup>, овсяницы – 299,0 кг/м<sup>3</sup>, пырея – 164,0 кг/м<sup>3</sup>; у трудносыпучих семян костреца безостого – 168,3 кг/м<sup>3</sup>;

– коэффициент уплотнения: у сыпучих семян эспарцета – 1,06, фацелии – 1,09; у среднесыпучих семян: житняка – 1,12, овсяницы – 1,13, пырея – 1,17; у трудносыпучих семян костреца безостого – 1,17;

– коэффициент истечения: у сыпучих семян эспарцета – 0,57, фацелии – 0,50; у среднесыпучих семян: житняка – 0,48, овсяницы – 0,46, пырея – 0,45; у трудносыпучих семян костреца безостого – 0,38;

– форма семян трудносыпучих семян значительно отличается от шаровидной формы, ближе к пластине.

5. Экспериментальными исследованиями установлены зависимости норм и неравномерности высева семян с различной степенью сыпучести от мощности импульса, подаваемой на электромагнит от 2 до 16 Вт. При амплитуде колебаний пластины-вибратора 12 мм, частоте 6,7 Гц для трудносыпучих семян костреца безостого мощность импульса для норм высева от 5 до 25 кг/га составляет 4-12 Вт; для среднесыпучих – овсяницы газонной 6 - 8; житняка 5 - 6,5; пырея 7 -15; сыпучих – фацелии 2,5 -3,5; эспарцета 8 -16 Вт;

– неравномерность высева всех семян различной степени сыпучести при найденных режимах работы вибродискретной высевающей системы не превышает 3,0%, а неустойчивости – от 0,3 до 2,1%.

6. Данные технико-экономического анализа подтверждают целесообразность использования вибродискретной высевающей системы при высеве семян кормовых трав. Использование данной системы позволит получить около 94691,52 рублей дополнительной прибыли от сокращения расхода семян кормовых трав при посеве со сроком окупаемости дополнительных затрат 0,6 года. Чистый дисконтированный доход составляет (в расчете за 8 лет существования проекта) 360413,5 рублей.

### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

#### **а) в изданиях, рекомендованных ВАК РФ**

1. Семенихина, Ю.А. Оптимизация высоты посевных окон вибрационного дозатора семян / Ю.А. Семенихина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – №8. – С.32.

2. Семенихина, Ю.А. Повышение эффективности посева трудносыпучих семян / Ю.А. Семенихина, Н.М. Беспямятнова // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. - №5. – С.12-13.

#### **б) в сборниках научных трудов**

3. Семенихина, Ю.А. Исследование конструктивных параметров электромагнитного дозатора универсальной высевающей системы / Ю.А. Семенихина // Исследование и разработка современных технологий и средств механизации в полеводстве Юга России: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Приоритетные направления исследований и разработка новых технологий и технических средств» 15-16 мая 2007 г. – Зерноград, 2007. – С.70-79.

4. Семенихина, Ю.А. Синтез параметров вибратора универсальной высевающей системы / Ю.А. Семенихина // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы Международной научно-практической конференции в рамках 12-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш». – Ростов-на-Дону, 2009. – С.69-73.

5. Семенихина, Ю.А. Некоторые физико-технологические свойства семян кормовых культур / Ю.А. Семенихина // Агроинженерная наука в сфере АПК: инновации, достижения: сборник научных трудов 7-й Международной научно-практической конференции «Агроинженерная наука в повышении энергоэффективности АПК». – Зерноград, 2012. – С.117-181.

6. Семенихина, Ю.А. Динамика посева семян в вибрационном поле / Ю.А. Семенихина, Н.М. Беспямятнова, В.В. Головин // Materialy VIII miedzynarodowej naukowei – praktycznej konferencji «Dynamika naukowych badan - 2012». – Przemysl, 2012. – Str. 66-76.

7. Семенихина, Ю.А. Высев семян трав в вибрационном поле / Ю.А. Семенихина, Н.М. Беспямятнова // Высокоэффективные технологии и технические средства в сельском хозяйстве: Донская аграрная научно-практическая конференция «Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы»: 25-26 октября 2012 г. – Зерноград, 2012. – С.55-59.

---

ЛР 65-13 от 15.02.99. Подписано в печать 31.05.2013.  
Формат 60x84/16. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ №223.

©РИО ФГБОУ ВПО АЧГАА  
347740, Зерноград, Ростовской области, ул. Советская,15.