

На правах рукописи

**Комченко Елена Викторович**

**Совершенствование процесса истечения мелких сыпучих  
материалов из бункеров сельскохозяйственного  
назначения**

Специальность 05.20.01

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени к.т.н.

**Ростов-на-Дону - 2004**

КОМЧЕНКО ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА



***СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ МЕЛКИХ  
СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ БУНКЕРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ.***

Специальность 05.20.01. - Механизация сельскохозяйственного производства

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Диссертационная работа выполнена в РГАСХМ

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Пенязев О.А.

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор Кунаков В.С.  
доктор технических наук, профессор Хлыстунов В.Ф.

Ведущая организация - Северо-Кавказская ордена Трудового красного знамени  
Государственная зональная машиноиспытательная станция СевКавМИС  
(г.Зерноград, Ростовская обл.)

Защита состоится 29 мая 2004 г. в 13.00 часов в ауд. 82 на заседании  
диссертационного совета К212.205.01 в Ростовской-на-Дону Государственной  
академии сельскохозяйственного машиностроения в государственном  
образовательном учреждении (РГАСХМ ГОУ)

Адрес: 344023, г.Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГАСХМ (ГОУ)  
Автореферат разослан 29 мая 2004 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета

Кандидат технических наук, профессор



Красноступ СМ.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время не существует достаточно точных и качественных способов дозирования мелких сыпучих материалов из бункеров и силосов.

Некоторые механические характеристики и свойства мелких сыпучих сред, в отличии от гранулированных, имеют ряд отличий на молекулярном уровне. Поэтому» нецелесообразно применять к ним абсолютно все характеристики и теории, выведенные для гранулированных материалов, это зачастую приводит к снижению степени точности расчетов.

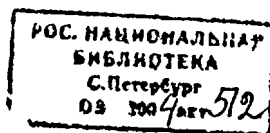
Из этого следует, что степень точности расчета оболочек хранилищ методом сопротивления материалов, строительной механики и теории упругости целиком зависит от степени точности исходных данных, в частности, от механических свойств мелких сыпучих материалов.

Мелкий сыпучий материал должен рассматриваться в другом контексте/! нежели гранулированный и с точки зрения дозирования, так как реальные размеры выпускного отверстия для них значительно превышают размеры частиц.

Законы истечения мелких сыпучих, материалов из бункеров, могут быть найдены из того же дифференциального уравнения движения сплошной сыпучей среды, с введением специальных коэффициентов, учитывающих характеристики данной среды.

В полной мере закономерности истечения мелких сыпучих материалов могут проявляться лишь при  $D/d > 100$ .

Для экспериментальной проверки и уточнения теоретических закономерностей истечения необходимы специальные исследования, поэтому данная работа и представляет собой изучение свойств мелких сыпучих материалов и проектирование бункеров для наиболее оптимального процесса выгрузки сыпучих материалов.



Поэтому тема диссертационной работы актуальна, как с практической, так и с теоретической точки зрения.

Цель исследования. Разработать теоретические предпосылки процесса истечения мелких сыпучих материалов из бункеров сельскохозяйственного назначения и создать на их основе технические средства, улучшающие процесс истечения материалов.

Объект исследования. Процесс истечения мелких сыпучих материалов из выпускных отверстий бункеров, в условиях образования статических и динамических сводов.

Методика исследования. Исследование физико-механических свойств мелких сыпучих материалов проводилось в соответствии с действующими стандартами. В ходе теоретических и экспериментальных исследований использованы методы теоретической механики, математического анализа, теории вероятности. Обработка и анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований выполнялась с использованием ЭВМ.

Научная и практическая значимость работы состоит в том, что определено перспективное направление в создании конструкций бункерных и сводоразрушающих устройств, позволяющее улучшать процесс истечения мелких сыпучих материалов. Реализация этих устройств позволяет улучшить истечение мелких сыпучих Материалов из бункеров в среднем на 50%, а так же повысить их технологическую надежность.

Реализация результатов исследования. По результатам исследования разработано сводоразрушающее устройство для обрушения сводов в бункере, получен патент на изобретение №2205780. Разработана методика инженерного расчета сводоразрушающих устройств, позволяющая определять их основные конструктивные и режимные параметры.

Апробация работы. Данная работа была представлена на научных конференциях в: Азово-Черноморской Государственной Агро-инженерной Академии (АЧГАА), Ростовском институте повышения квалификации кадров АПК (РИПКК АПК).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликованы (в соавторстве) две монографии, а так же шесть статей, получен патент на изобретение.

Структура диссертационной работы. Диссертация включает введение, пять глав, общие выводы. Список использованной литературы и приложения. Изложена на 151 страницах машинописного текста, содержит 20 рисунков, 15 таблиц и страниц приложений. Список литературы включает 142 наименования» из них 3 на иностранном языке.

На защиту выносятся следующие основные положения:

- модель мелкого сыпучего тела, позволяющая рассматривать процессы, протекающие в бункерах, с точки зрения дискретности и непрерывности их протекания.

- теоретические предпосылки процесса истечения, связывающие основные факторы, влияющие на технологические параметры бункеров и режимные характеристики устанавливаемых в них сводоразрушающих устройств.

- алгоритм и методика инженерного расчета технических средств, стимулирующих и улучшающих процесс истечения мелких сыпучих Материалов из бункеров сельскохозяйственного назначения.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отображена актуальность темы и ее практическая значимость, изложены цель и задачи исследований, а так же основные положения выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» дан краткий анализ развития теории механики сыпучих тел в бункерах, приведена полная классификация бункеров и бункерных установок наиболее часто применяемых в сельскохозяйственном и перерабатывающем производствах. Из анализа следует, что при расчете и проектировании бункерных установок не уделяется должного внимания физико-механическим характеристикам самого материала вытекающего

из бункера, и внешним факторам сопутствующим процессу истечений. Отмечается так же, что ранее в исследованиях ученых преимущественно рассматривались зернистые сыпучие материалы, и, мало уделено должного внимания мелким сыпучим материалам. Недостаточно внимания уделяется так же и явлению сводообразования при движении мелкого сыпучего материала в объеме бункера.

В результате исследований отечественных и зарубежных ученых, а также опыта производства установлено, что явление сводообразования сыпучих материалов в бункерах есть его естественное свойство, которое проявляется в сыпучих телах, находящихся в граничных условиях. Статическое и динамическое сводообразование наблюдается при любом виде истечения сыпучего тела. Его влияние на технологическую и техническую надежность бункерных установок несомненно, оно доказано многолетним опытом эксплуатации бункерных устройств.

При любом виде истечения сыпучих материалов из выпускного отверстия бункеров формирование потока есть результат разрушения неустойчивых сводов, образующихся в процессе движения частиц по пересекающимся внутри потока траекториям. В зависимости от физико-механических свойств материала и от соизмеримости поперечных сечений потока (по его высоте) с размерами частиц, неустойчивый свод может стать статически устойчивым, приводящим к полному прекращению истечения сыпучего материала. Последний может быть разрушен только с помощью сводоразрушающего устройства, параметры и режим работы которого, а также его привода, должны соответствовать характеристикам сыпучего материала и конструктивными параметрам бункерной установки.

В связи с изложенным, приведен анализ существующих сводоразрушающих устройств, а так же существующие теоретические зависимости для определения их конструктивных и режимных параметров.

В результате анализа стояния вопроса сформулированы следующие задачи исследований.

1. Обосновать механическую модель мелкого сыпучего тела.

2. Определить аналитические зависимости, связывающие параметры и режимы работы сводоразрушающих устройств с конструктивными параметрами бункеров и физико-механическими свойствами мелких сыпучих материалов.

3. Разработать алгоритм и методику расчета сводоразрушающих устройств бункерных выгрузных систем сельскохозяйственных машин и установок.

Для проведения теоретических исследований в работе принято предположение о том, что стимулирование процесса истечения порошкообразных (мелких сыпучих) тел из бункеров можно осуществлять за счет постановки в них сводоразрушающих (рыхлительных) устройств, параметры и режимы работы которых должны соответствовать физико-механическим свойствам этих сыпучих, форме и конструкционным параметрам бункеров, а также характеристикам возникающих в них сводчатых структур.

Во второй главе «Теоретические предпосылки сводообразующего процесса истечения мелких сыпучих материалов из бункеров» обосновывается механическая модель мелкого сыпучего тела и ее допущения.

В основу теоретического решения задач работы положена модель дискретного мелкого сыпучего тела И.А. Пешля. Эта модель представляет собой совокупность одинаковых абсолютно твердых мелких сыпучих шаровых частиц, несоизмеримых с размерами бункера и уложенных в его объеме послойно с некоторым среднестатистическим углом укладки. Модель также предполагает, что движение ее частиц в потоке мелкого сыпучего тела происходит без их относительного вращения по пересекающимся линиям скольжения, эквидистантным образующей поверхности скольжения потока.

В указанной модели допущение о несоизмеримости частиц с размерами бункера и их послойной укладке в его объеме, с некоторым среднестатистическим углом укладки, позволяет рассматривать процессы, происходящие в мелких сыпучих телах, с точки зрения непрерывности их протекания. Допущение, о движении частиц по пересекающимся линиям скольжения, эквидистантным образующим поверхности скольжения потока, позволяет рассматривать дискретный характер протекания этих процессов.



Условная шаровая форма, частиц, принятая в модели сыпучего тела, определяется как:

$$d_y = \sqrt[3]{abc} \quad (1)$$

где  $a$  — длина частицы;  $b$  — ширина частицы;  $c$  — толщина частицы;

Для мелких сыпучих частиц можно принимать .

$$d_y = a \quad (2)$$

Предположение о малости частиц по сравнению с размерами выпускного» отверстия бункера и высотой столба сыпучего тела позволяет с некоторым допущением заменить сыпучее тело равноценной ему в механическом отношении сплошной' средой. В последней, могут возникать касательные и нормальные напряжения, приводящие к образованию статически устойчивых сводов.

Особенностью принятой модели является то, что она учитывает форму и физико-механические характеристики мелких сыпучих материалов. Кроме того, движение частиц сыпучего тела по линиям скольжения обуславливает вероятность образования в бункере неустойчивых сводов, кривая давления которых при определенных условиях может приближаться к кривой давления от вышележащей нагрузки.

При этом, исходя из теории профессора Е.М. Гутьяра и проф. Л.В. Гячева, движение частиц сыпучего тела в объеме бункера при гидравлическом истечении происходит по линиям - скольжения, угол наклона которых к вертикальной оси бункера равен углу наклона стенок бункера т. е.  $\alpha_u = \alpha_g$ , а при нормальном истечении -

$$\alpha_u = 90^0 - \beta - \psi - \varphi_{np} \quad , \quad (3)$$

где  $\psi$  - внутренний угол трения частиц;

$\varphi_{np}$  - приведенный угол трения сыпучего материала;

$\beta$  - угол статически устойчивого свода

Как правило, для мелких сыпучих тел свод состоит из одного или нескольких слоев частиц, расположенных таким образом, чтобы находиться в равновесии под воздействием контактных напряжений. Поэтому в данном случае для теоретических исследований следует использовать не метод механики сыпучих тел, а теорию сводов. Свод нельзя образовать произвольно или заранее описать его форму. Форма свода и момент времени, в который он образуется, определяется случайным расположением его частиц.

Вероятность образования свода тем больше, чем меньше отношение диаметра выпускного отверстия к размеру частиц и чем выше слипаемость материала со стенкой бункера. Далее можно констатировать, что вероятность образования свода и продолжительность его существования выше в том случае, когда количество частиц, участвующих в образовании свода, уменьшается.

На образование сводов главным образом влияет форма и размеры выпускного участка и частиц материала, внутреннее трение и сцепляемость материала. Статические своды характеризуются неограниченным временем существования. Их образование, в основном, зависит от величины трения между стенкой и материалом и упругостью самого материала.

В случае равновесия свода у стенки бункера результирующее усилие со стороны стенки на свод должно быть направлено тангенциально к дуге свода. Используя обозначения на рис. 1 установили, что в случае равновесия свода у стенки

$$\beta'_{\text{крит}} = \alpha - \text{arctg} \mu, \quad (4)$$

где  $(\mu = \text{tg} \varphi)$

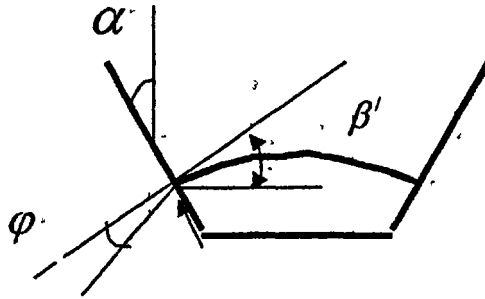


Рис 1. Предельный случай равновесия свода на стенке выпускного участка.

$\alpha$  - угол наклона участка стенки;  $\beta'$  - угол свода;

$\varphi$  - угол трения материала о стенку;

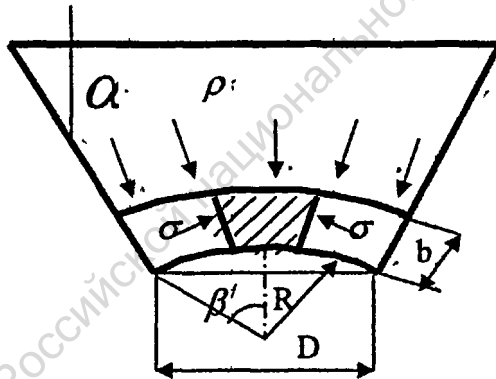


Рис.2. Теоретическая модель нагружения и геометрии свода.

Проведя соответствующие расчеты, напряжение в своде можно рассчитать как:

$$\sigma = \rho g \arcsin \frac{1}{g} - 1 \quad (5)$$

где  $g$  - скорость истечения сыпучего тела из выпускного отверстия бункера без учета влияния сводообразования.

Уравнение (5) выражает в безразмерном виде соотношение между нагрузкой и напряжением в своде в зависимости от его кривизны. После чего, можно определить области существования устойчивых сводов:

$$2q < \frac{D}{b} < 5k \quad (6)$$

где  $k$  - коэффициент запаса прочности свода.

Когда образуется свод, напряжения резко возрастают и материал, из которого состоит свод, подвергается деформации. Деформация вызывает увеличение радиуса свода, что ведет к повышению напряжений в нем. Процесс взаимодействия повторяется до тех пор, пока либо достигается состояние равновесия, либо свод обрушивается.

Точное положение кривой деформации по отношению к кривой бункера определяется путем совмещения абсциссы той точки кривой деформации, которая дает величину деформации, вызываемую нормальным давлением в бункере, с абсциссой точки кривой бункера, характеризующей выбранный свод.

Устойчивые своды, как уже указывалось, могут образовываться в диапазоне  $0 < \varepsilon < \varepsilon_{\text{крит}}$  (соотношение между радиусом свода, углом свода и величиной

$\varepsilon$ ). Первый возможный устойчивый свод может быть образован, когда  $\varepsilon = \varepsilon_{\text{крит}}$ ,

и для этого состояния рассмотрено взаимодействие между напряжениями в своде и деформациями материала. Обычно возможны три состояния:

- Кривые не пересекаются. Взаимодействие между напряжениями в своде и деформациями материала ведет к обрушению в точке, представляющей величину максимальной нагрузки на стенку выпускного участка, возникающей в результате образования свода.

- Кривые касаются. Равновесие возможно только в одной точке, однако это равновесие неустойчиво. Любое небольшое возмущение вызывает обрушение свода.

- Кривые имеют две точки пересечения. В этом случае своды могут образовываться в диапазоне  $\epsilon_{\max} < \epsilon < \epsilon_{\text{крит}}$ , который может быть найден, если вызвать касание характеристики материала с кривой бункера. Ширина бункера служит мерой опасности образования устойчивого свода.

Совмещая данные кривые с кривыми бункера, полученными в соответствии с граничными величинами уравнения (6), получим область возможного образования устойчивых сводов для данной кривой деформации материала.

При выводе этих взаимосвязей необходимо различать два возможных случая истечения мелких сыпучих тел, характерных для бункеров, а именно, когда гидравлический вид истечения наблюдается по всей их высоте, включая и их сужающуюся часть, и, когда гидравлический вид истечения в их сужающихся частях переходит в нормальный вид истечения.

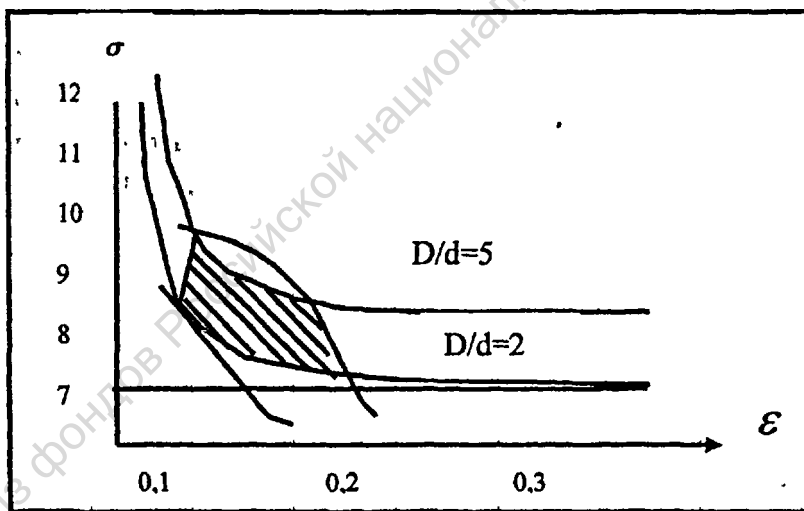


Рис. 3. Область возможного образования устойчивых сводов для данной кривой деформации материала. Заштрихована область устойчивых сводов.

При истечении сыпучих тел из бункеров общее время их истечения включает в себя период неустановившегося и период установившегося режимов истечения.

По продолжительности период неустановившегося истечения составляет в среднем 0,001 долю времени установившегося истечения и поэтому в дальнейшем будет рассмотрен только установившийся режим истечения сыпучих тел.

Из анализа приведенной схемы истечения сыпучего тела следует, что время одного пульса (периода) истечения сыпучего тела может быть определено из выражения.

$$T_n = \frac{\lambda_0 V_d + (1 + \lambda_0) V_e}{\lambda_0 q} \quad (7)$$

где  $V_e$  - объем подсводного пространства эквивалентного неустойчивого свода;

$V_d$  - объем дозы пульса сыпучего тела;

$q$  - объемная производительность выпускного отверстия без учета явления сводообразования;

$\lambda_0$  - коэффициент, характеризующий осевую относительную податливость эквивалентного неустойчивого свода

$$\lambda_0 = \frac{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} x}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (8)$$

где  $x$  - угол между горизонталью и касательной к кривой эквивалентного неустойчивого свода в его пяте;

- Для того, чтобы в условиях образования и разрушения устойчивых сводов истечение сыпучего все же происходило (в случае малых его расходов из бункера), необходимо в бункере устанавливать сводоразрушающее устройство, предотвращающее возникновение статически устойчивых сводов." Частота

колебаний активного элемента сводоразрушающего устройства может быть определена по формуле

$$v = \frac{q_1}{V_{cc}} \quad (9)$$

где  $V_{cc}$  – объем статически устойчивого свода;

$q_1$  – объемная производительность выпускного отверстия с учетом явления сводообразования;

а амплитуда по формуле

$$A = M(H_{экс}) - \sqrt{n} = f \quad (10)$$

где  $H_{экс}$  – высота расположения в бункере эквивалентного неустойчивого свода;

$n$  – число сторон правильного многоугольника;

$f$  – стрела свода.

Таким образом, технологические параметры бункеров, предназначенных для работы с мелкими сыпучими материалами, определяются аналогично, что и для гранулированных (зернистых) сыпучих материалов с одной лишь разницей, заключающейся в определении условий (областей) в бункере, характеризующих возникновение в них динамических и статически устойчивых сводов.

В третьей главе «Экспериментальные исследования» поставлены цели и задачи экспериментальных исследований.

Цель экспериментальных исследований – подтверждение результатов теоретических исследований опытным путем и получение количественной и качественной их адекватности.

В главе решаются задачи:

1. Определение физико-механических свойств мелких сыпучих материалов.

2. Определение наибольших сводообразующих размеров бункера.
3. Определение расхода и скорости истечения мелких сыпучих материалов в зависимости от времени истечения, угла наклона стенок днища бункера и площади его выпускного отверстия.
4. Определение режима работы технологического средства для стимулирования процесса истечения мелких сыпучих материалов.

При проведении экспериментальных исследований были использованы следующие приборы и оборудование: установка ТМ-21 для определения углов трения мелких сыпучих материалов; ящик для определения углов естественного откоса мелких сыпучих материалов; экспериментальная установка; фотоаппарат; весы промышленные электронные (МК-51); секундомер; сушильный шкаф и эксикатор для определения влажности материала; штангенциркуль; набор оборудования для определения влажности материала; транспортер.

Экспериментальная установка, предназначена для изучения процесса истечения и сводообразования мелких сыпучих материалов в бункерах с различными углами наклона стенок бункера к вертикали, при измеренных определенных параметрах влажности сыпучего материала.

Установка представляет собой модель бункера; выполненного в масштабе 1:40. Передняя стенка выполнена из оргстекла для визуального наблюдения процессов, происходящих в бункере. Стенки бункера выполнены двойными. Внутренние стенки закреплены шарнирно что позволяет менять угол наклона стенок бункера к вертикали. В процессе проведения опытов устанавливались следующие углы наклона стенок бункера -  $0^{\circ}$ ;  $10^{\circ}$ ;  $30^{\circ}$ ;  $45^{\circ}$ ;  $60^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$ . Отсчет углов производился от вертикали. Выпускное отверстие бункера состояло из двух раздвижных пластин, что позволяло изменять размер выпускного отверстия в процессе проведения опытов. На нижней части бункера была нанесена размерная шкала, позволяющая быстро определять и устанавливать необходимый размер выпускного отверстия.

В соответствии с принятой моделью сыпучего тела были изучены физико-механические свойства мелких сыпучих материалов,- подчиняющихся закону



сухого трения. Диапазон влажности измеряемых материалов находился в пределах 2,5-6%.

На экспериментальной установке при закрытом выпускном отверстии бункера устанавливается необходимый угол наклона стенок бункера к вертикали ( $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ), засыпается исследуемый мелкий сыпучий материал определенной массы. Открывается выпускное отверстие определенного размера ( $650 \text{ мм}^2$ ,  $1300 \text{ мм}^2$ ,  $2600 \text{ мм}^2$ ,  $3900 \text{ мм}^2$ ,  $5200 \text{ мм}^2$ ,  $6500 \text{ мм}^2$ ). Для удобства пользования на Днище бункера нанесена шкала. В начальный момент истечения материала с помощью секундомера замеряется время выпадения нижнего (находящегося над выпускным отверстием) материала, до возникновения первого свода. Высыпавшаяся масса помещается в отдельную емкость и после проведения общего эксперимента взвешивается, далее замеряется время истечения вплоть до момента выпадения последней частицы. После чего, оставшаяся в бункере масса сыпается в отдельную емкость. Каждая емкость взвешивается, после чего определяется расход материала. Каждый опыт проводится по пять раз, для каждого угла наклона стенок бункера к вертикали, и размера выпускного отверстия.

После проведения всех серий опытов по каждому результату определялся объемный расход, массовый расход, скорость истечения. По каждому опыту определялось среднее арифметическое значение по пяти повторностям и среднеквадратичное отклонение от этого среднего.

Результаты исследования не требовали применения теории механического и геометрического подобия, так как в опытах использовался натуральный материал, а размеры бункеров были таковы, при которых протекал реальный процесс истечения мелких сыпучих материалов.

В главе четвертой «Результаты исследования и их анализ» приведены основные физико-механические свойства мелких сыпучих материалов, которые использовались при изучении механики сыпучих тел в бункерах.

В результате экспериментальных исследований установлены зависимости скорости и расхода мелких сыпучих материалов при их истечении из экспериментальных бункеров от времени и величины выпускного отверстия.

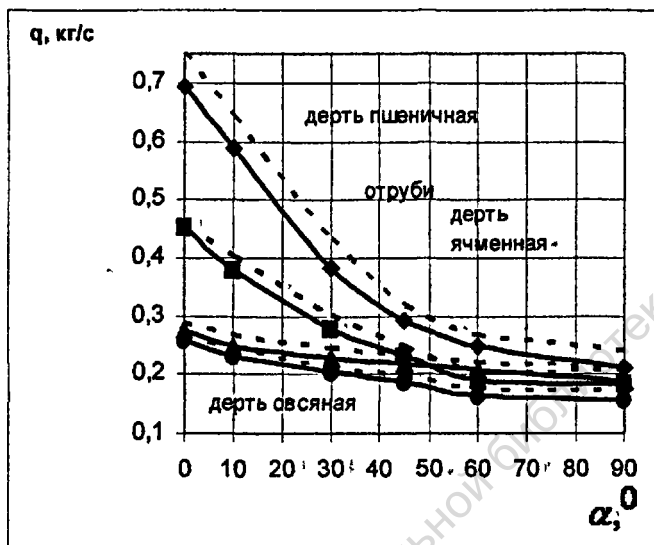


Рисунок 4, Зависимость расхода от угла наклона стенок днища бункера при  $t=1$  секунде,  $S=65 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

Установлено, что с течением времени значение скорости и расхода мелкого сыпучего материала- увеличиваются и стремятся к предельным значениям, характеризующим установившийся режим ее истечения. Это увеличение происходит по параболическим кривым.

Из графиков видно, что с увеличением угла наклона стенок бункера к вертикали наблюдается резкое снижение расхода сыпучего материала, с той лишь разницей, что для дерти пшеничной: и отрубей это снижение достаточно значительное, а для дерти овсяной и ячменной незначительно.

При наименьшем угле наклона стенок бункера наблюдается максимальное значение расхода мелкого сыпучего материала. С увеличением угла наклона стенок бункера относительно вертикали область зоны обрушения материала практически, не изменяется. Наряду с этим увеличивается область застойных зон, что приводит к снижению расхода материала. При угле наклона стенок бункера, равных  $\alpha = 30^\circ - 45^\circ$ , значения расхода стабилизируются, что в некоторой степени обусловлено

установившимся движением материала и стабилизацией процесса образования и разрушения неустойчивых сводов. При дальнейшем увеличении угла наклона стенок бункера значение расхода продолжает незначительно снижаться. Именно по этой причине дальнейшее увеличение угла наклона стенок бункера нецелесообразно.

С увеличением размера выпускного отверстия значение скорости и расхода мелкого сыпучего материала также увеличивается по параболическим кривым. Это объясняется тем, что с увеличением площади, выпускного отверстия бункера устойчивость динамических сводов- снижалась и, следовательно, снижалось сопротивление движению потока сыпучего тела в бункере.

С увеличением времени истечения расход материала при различных площадях выпускного отверстия увеличивается практически одинаково. Это обусловлено тем, что с течением времени истечения начинает увеличиваться область зоны обрушения сыпучего, что способствует снижению количества статических сводов. Расход резко возрастает в начальный момент времени (в пределах 1-2 секунд). Далее наблюдается установившийся процесс истечения материала. Значение расхода увеличивается незначительно в течение некоторого интервала времени, до тех пор, пока еще остаются застойные зоны. Истечению препятствует небольшая сила трения.

С увеличением площади выпускного отверстия значение расхода с течением времени увеличивается для всех мелких сыпучих материалов, с той лишь разницей, что для пшеничной дерти темп его нагнетания больше, чем у всех остальных. Это обусловлено физико-механическими свойствами материала и небольшой вероятностью сводообразования в нем. Аналогично с течением времени увеличивается и скорость истечения.

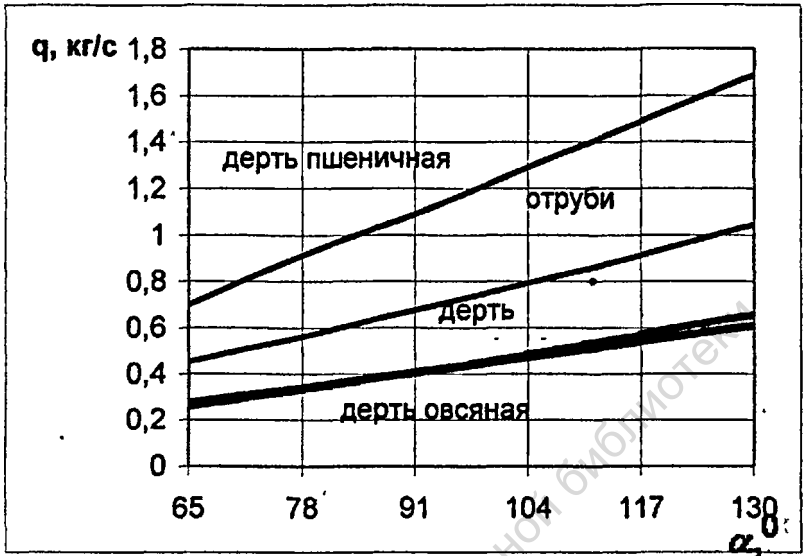


Рисунок 5. Зависимость расхода различных материалов от площади выпускного отверстия при  $t=1$  секунде,  $\alpha=30^\circ$ .

Далее представлена методика инженерного расчета сводоразрушающих устройств, а так же пример расчета сводоразрушающих устройств: определение давления нагрузки на стенки бункера, вероятную зону образования статически устойчивых сводов, определение конструктивных и технологических параметров для конкретного сыпучего материала представлены на примере дерти ячменной.

Параметры работы сводоразрушающего устройства обеспечивают эффект резонансного разрыхления плотных сводчатых структур, возникающих в бункере и исключает пульсирующий характер истечения сыпучего тела из выпускного отверстия бункера. При использовании сводоразрушающего устройства происходила интенсификация разгрузки бункера и увеличивалась скорость истечения сыпучего материала.

Расчет конструктивных параметров и режима работы устройства проведен применительно к реально действующему бункеру-накопителю сыпучего материала.

В пятой главе «Экономическая эффективность внедрения результатов исследования» показан годовой экономический эффект от эксплуатации сводоразрушающего устройства, который составляет 24033,97 рубля, срок окупаемости данного сводоразрушающего устройства составляет 0,2 года.

## ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

В результате исследований установлено:

1. Принятая модель мелкодисперсного сыпучего тела раскрывает физическую суть образования в бункере статически -устойчивых сводов и их влияние на технологические параметры бункеров.
2. С увеличением угла наклона стенок днища бункера к вертикали образование в бункере статически устойчивых сводов для всех исследуемых в работе сыпучих материалов повышается: для дерти пшеничной на 50 %, ячменной на 65 %, овсяной на 70 %, для отрубей на 40 %.
3. При увеличении угла наклона стенок днища бункера к вертикали в диапазоне от  $\alpha = 0^\circ$  до  $\alpha = 90^\circ$  расход снижается: для дерти пшеничной на 50%, ячменной на 40%, овсяной на 35%, для отрубей на 65%.
4. Подвижные стенки днища бункера уменьшают вероятность образования статически устойчивых сводов на 80%.
5. В бункере существует три зоны возможного образования статически устойчивых сводов из них зона, находящаяся-в  $\frac{1}{3}$  высоты бункера, считается от плоскости выпускного отверстия, является наиболее вероятной для образования статически устойчивых сводов. Эта зона в основном и влияет на расходные характеристики бункера.
6. Активный элемент сводоразрушающего устройства должен быть установлен в зоне наиболее вероятного образования статически устойчивых сводов, и частота его колебаний при  $\alpha = 30^\circ$  для дерти пшеничной  $\nu = 0,4431/s$  в ячменной

$v = 0,329 \text{ } 1/\text{с}$ , ячменной  $v = 0,613 \text{ } 1/\text{с}$ , для отрубей  $v = 0,323 \text{ } 1/\text{с}$ , и амплитудой колебаний равной, стреле статического свода.

7. Годовой экономический эффект от установки сводоразрушающего устройства составит 24033,97 рублей, чистый дисконтированный доход равен 2828,79 рублей при определенном уровне инфляции и доходности капитала, срок окупаемости составит 0,2 года.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. Богомягих В.А. Механика влажных сводоразрушающих зерновых материалов в бункерах./В.А. Богомягих, В.Ф. Кунаков, Н.С. Вороной, В.П. Трембич, Е.В. Рудик - зерноград, 2000. - 99с.
2. Рудик Е.В. Влияние материала стенок бункера на истечение различных сыпучих материалов/Е.В. Рудик//Совершенствование процессов и технических средств в АПК:Сб.науч.трудов. - Вып.4. - зерноград,2002 - с. 82-87
3. Комченко Е.В. О сводообразовании мелкодисперсных материалов в бункерах/Е.В. Комченко//Энергосбережение и энергосберегающие технологии в АПК: Сб.науч.трудов. - Вып.1. зерноград, 2003. - С 135-140
4. Комченко Е.В. О влиянии нагрузок на бункера различной формы/Е.В. Комченко//Энергосбережение и энергосберегающие технологии в АПК: Сб.науч.трудов. - Вып.1. - зерноград, 2003. - С140-145
5. Комченко Е.В. Влияние материала стенок бункера на истечение различных сыпучих материалов /Е.В. Комченко, С.П. Басюк//Энергосбережение и энергосберегающие технологии в АПК: Сб.науч.трудов. - Вып.1. - зерноград, 2003. - С.145-149
6. Комченко Е.В. Результаты экспериментальных исследований истечения мелкодисперсных сыпучих материалов/Е.В. Комченко//Научная молодежь агропромышленного комплекса: Сб.науч. трудов. - зерноград, ФГОУВПО АЧГАА.2003.-С.72-77

7. Комченко Б.В. О статически устойчивых сводов связанных зернистых материалов/Е.В. Комченко, С.Н. Небыков//Научная молодежь агропромышленного комплекса: Сб.науч. трудов. - Зерноград, ФГОУВПО АЧГАА, 2003. - С.77-84
8. Богомягих В.А. Статическое сводообразование зернистых материалов в бункерах и способы его устранения/ В.А. Богомягих, В.А. Зацаринный, В.К. Шевкун,<sup>1</sup> Е.В. Рудик. А.Н. Каплунов и др. - Ростов н/Д. - «Терра», 2003 - 116 с.
9. Патент на изобретение № 2205780. Устройство для обрушения сводов сыпучего материала в бункерахУА.И. Обертышев, А.Ф. Паталах, С.Г. Добровольская, Е.В. Рудик. - г. Москва - 10 июня 2003 г.

Из фондов Российской национальной библиотеки

**Отпечатано ООО «Астролон»  
344112, г. Ростов-на-Дону, ул. Студенческая, 4.  
Заказ №341 от 24.05.2004 г. Тираж 100 экз.**



№ 12799

Из фондов Российской национальной библиотеки