



ЦНИИМЭСЗ  
нечерноземной зоны СССР

**СБОРНИК НАУЧНЫХ  
ТРУДОВ**

**XIII**

Минск 1976

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
МЕХАНИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ С С С Р

# СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ВЫПУСК VII

МЕХАНИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Под общей редакцией  
доктора техн. наук С.И. Назарова

Минск 1976

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

доктора техн. наук С. И. Назаров, А. Т. Вагня, кандидаты  
техн. наук Ф. П. Пыганов, М. С. Кривко, И. С. Нагорский,  
Р. Л. Турецкий, А. М. Дмитриев, Г. П. Калдун, В. И. Передял,  
Н. Н. Подлекарев

Редакторы Н. В. Доркина, Т. Е. Резник  
Художественный редактор Е. И. Шумякина

© ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
МЕХАНИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ СССР (ЦНИИМЭСХ), 1976 г.

ЛТ 21614. Подписано к печати 28.УІ.1976 г. Формат 60x84 1/  
Физ. печ. л. 13,0. Усл. печ. л. 11,4. Уч.-изд. л. 10,25.  
Тираж 400 экз. Заказ № 248. Цена 78 коп. Бумага типографск.

Отпечатано на ротативе ЦНИИМЭСХ. Мянск, Кворина, 1.

# СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

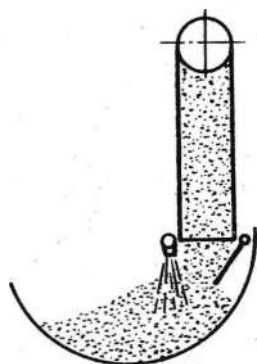
А. М. Дмитриев А. Д. Селезнев Г. Г. Тьчина	К оценке качества смесишенини . . .	3
А. М. Дмитриев Е. П. Михасенок А. Д. Селезнев Г. Г. Тьчина	Влияние на оценку качества смесишенини неравномерности дозировки и неоднородности индикатора . . .	29
В. В. Майонов В. П. Савиних	Морфологические и физиологические предпосылки обезвоживания рвоти- тельного корма . . .	43
К. Ф. Терпиловский Н. С. Примаков	Исследование процесса сушки при- варительно отжаты картофельной мезги . . .	49
К. Ф. Терпиловский Н. С. Примаков М. А. Дмитрачкова	Влияние режимов сушки на качество высушенного люпина . . .	67
А. В. Дервиш В. А. Короткевич В. Н. Гутман	К вопросу увлажнения комбикормов в стационарных кормораздатчиках . .	70
А. А. Тимохов	К вопросу исследования процесса на- мельчения картофеля методом резкого перепада давления . . .	107
Д. А. Смиловенко Н. М. Мельник М. П. Шатерник	К обоснованию технологии раздельной уборки высокоурожайных длинносте- бельных и полеглых зерновых культур	96
М. И. Кан А. М. Макаренко	Об устойчивости хода каррирно-па- раллелограммной секции комбиниро- ванной картофелесажалки . . .	113
В. В. Кацыгин А. Н. Орда	Закономерности сопротивления поч- вогрунтов при повторных нагрузках . . .	117
В. В. Гуськов В. А. Клим Н. А. Разоренов	Задача приведения масс ведущих колес к центру масс трактора при произвольном их буксовании и скорости вращения . . .	120
Н. М. Кандаулов В. Ю. Кумель	К анализу тягово-сцепных качеств самоходного картофелеуборочного комбайна	133

К ВОПРОСУ УВЛАЖНЕНИЯ КОМБИКОРМОВ  
В СТАЦИОНАРНЫХ КОРМОРАЗДАТЧИКАХ

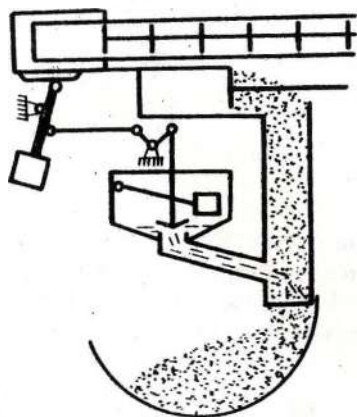
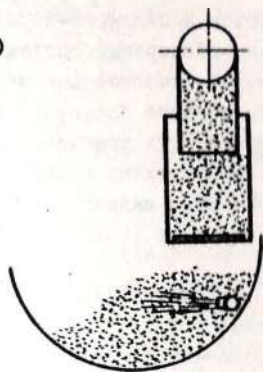
При кормлении свиней все более широкое распространение находят стационарные автоматизированные раздатчики-дозаторы сухих полнорационных кормов с устройствами для увлажнения их в процессе нормированной раздачи. Разнообразие применяемых и рекомендуемых устройств обусловлено поисками наиболее рациональных систем увлажнения, отсутствием данных теоретических и экспериментальных исследований смачиваемости комбикормов, необходимых для расчета и выбора оптимальных параметров рабочих органов увлажнителей.

В известных устройствах и системах увлажнения сухих комбикормов, которые используются в настоящее время в стационарных и мобильных кормораздатчиках, способы увлажнения можно разделить на два вида: 1) статический контакт материала с жидкостью и фильтрация ее в массу корма, загруженного в кормушку; 2) динамическое смачивание распыляемой жидкостью или ее потоком при выгрузке комбикормов из дозирующих емкостей или транспортирующего устройства.

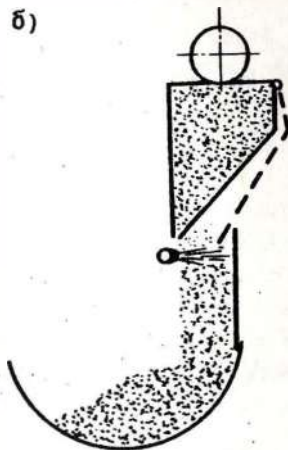
Первый вид увлажнения сухих комбикормов применяется, например, в раздатчиках фирмы "Дхонт" и "Спироматик" (Бельгия), "Шмеинг" (ФРГ), "Лесье" (Франция), "ИБО-Шталтехник" (ФРГ), второй - в раздатчиках фирмы "Шмеинг" (ФРГ), экспериментальном раздатчике РКА-600 (СССР) (см. рисунок). Работу увлажняющего устройства оценивают по равномерному и качественному увлажнению корма в пределах установленной влажности (65-75%). Качество увлажнения сухих порошкообразных материалов зависит от ряда факторов, основными из которых являются способ контакта частиц материала с жидкостью (вид связи) и его физико-механические свойства.



а)



б)



Способы увлажнения сухих комбикормов в стационарных кормораздатчиках: а - путем фильтрационной пропитки; б - в падающем потоке (динамическое смачивание).

Известно [1, 2], что материалы, впитывающие жидкость, являются капиллярно-пористыми коллоидными телами (относятся к связно-дисперсным системам), в которых частицы дисперсной фазы образуют относительно жесткие пространственные структуры - каркасы, поровые проходы, капилляры. Связь жидкости с такими телами может быть химической, физико-химической и физико-механической. При наличии малорастворимой фракции в процессе смачивания комбикормов жидкостью определяющее значение имеет физико-механическая связь (жидкость макро- и микрокапилляров, смачивания и пор).

Явление смачивания жидкостью твердых тел наблюдается на границе раздела трех фаз (твердое тело - жидкость - газ) и характеризуется конечным краевым углом  $\theta$  между поверхностью раздела жидкой фазы и твердым телом, косинус которого является мерой смачивания  $B$ , т.е.  $\cos \theta = B$ .

Угол  $\theta$  определяется коэффициентами поверхностного натяжения, которые характеризуют энергии поверхностей раздела:  $\sigma_{12}$  - жидкость-газ;  $\sigma_{31}$  - твердое тело-жидкость;  $\sigma_{32}$  - твердое тело - газ,

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{32} - \sigma_{31}}{\sigma_{12}} = B.$$

При смачивании возможны два случая [1]: 1)  $0 < B < 1$ , когда капля жидкости растекается по твердой поверхности, образуя краевой угол  $\theta < 90^\circ$ ; 2)  $-1 < B < 0$ , когда капля жидкости образует с поверхностью твердого тела краевой угол  $\theta > 90^\circ$ .

Если разность  $\sigma_{32} - \sigma_{31}$  равна или больше  $\sigma_{12}$ , капля жидкости полностью растекается по твердой поверхности ( $\theta = 0$ ). Отсюда следует, что величина угла смачивания зависит от того, какая поверхность твердого тела (сухая, предварительно смоченная или покрытая слоем другого вещества) вступает в контакт с жидкостью. Уменьшение этого угла и улучшение процесса смачивания возможны благодаря применению подогретой жидкости, так как при увеличении температуры поверхностное натяжение  $\sigma_{12}$

снижается. Уменьшение поверхностного натяжения, согласно [1], происходит приблизительно по линейному закону и для воды, например, может определяться формулой

$$\sigma_t = 75,7 (1 - 0,0020 t),$$

где  $\sigma_t$  - поверхностное натяжение при данной температуре, Н/м;  
 $t$  - температура воды, °С.

Капиллярная связь жидкости (пропитка в статическом состоянии) характеризуется коэффициентом поверхностного натяжения  $\sigma$  и капиллярным давлением  $P$ , от величины которого зависит подъем жидкости по капилляру на определенную высоту. Максимальный подъем жидкости зависит также от угла наклона капилляра. Для модельной системы капиллярно-пористого тела максимальный подъем жидкости по капилляру можно определять по теоретическим формулам [1], однако пользоваться ими затруднительно, так как реальное капиллярно-пористое тело состоит из капилляров различного радиуса, расположенных в разных направлениях. Поэтому при использовании этих уравнений необходимы дополнительные экспериментальные данные.

При капиллярном впитывании важным показателем является скорость впитывания (миграция) жидкости, характеризующая кинетику процесса. Принимая работу смачивания равной работе преодоления вязкости жидкости при ее течении [2], среднее капиллярное давление  $P$  у фронта пропитки, под действием которого происходит течение жидкости в порах, можно определить выражением

$$P = \gamma \sigma \cos \theta,$$

где  $\gamma$  - удельная поверхность пор, равная отношению удельной поверхности тела  $E$  к величине  $\delta$ , характеризующей отношение объема пор ко всему объему тела, 1/м.

Исходя из этого к скорости фильтрации можно применить закон Дарси [ 2 ] в виде

$$h \frac{dh}{dt} = \kappa \frac{\varepsilon}{\rho^2} \sigma \cos \theta$$

или

$$V = \frac{\kappa \rho \sigma \cos \theta}{h}$$

где  $h$  - толщина пропитанного слоя, м;  
 $\kappa$  - коэффициент фильтрации, м<sup>2</sup>/Н · с;  
 $V$  - объем жидкости, протекающей в единицу времени, на единицу площади фронта пропитки, м<sup>3</sup>/м · с.

Анализ кривых кинетики впитывания жидкостей модельными капиллярно-пористыми телами [ 3 ] показывает, что скорость капиллярного впитывания пропорциональна величине, обратной количеству поглощаемой жидкости. В начале процесса скорость впитывания максимальная, затем она уменьшается и кривая асимптотически приближается к некоторой максимальной высоте столба пропитки:  $h_{\infty} = h_{max}$ . Скорость впитывания зависит также от свойств жидкости и температуры: чем выше температура, тем больше скорость пропитки. Например, с повышением температуры воды от 6 до 19<sup>0</sup> высота столба впитывания капиллярами увеличивается более чем в два раза.

Процесс пропитки в реальном капиллярно-пористом теле в отличие от модельного характеризуется дополнительными факторами, определяемыми в основном физико-механическими свойствами материала.

В отличие от капиллярно-пористых тел, рассматриваемых в области флотационных процессов и массообмена [ 1, 2 ], комбикорма характеризуются неоднородностью (наличие пылевидной фракции). Кроме того, поверхность их частиц покрыта некоторым количеством жира и минеральных мелкодисперсных ингредиентов, что в конечном счете ухудшает смачиваемость. Значение краевого угла смачивания

Θ для частиц, покрытых жировой пленкой [4], зависит от степени покрытия их поверхности свободным жиром, его краевого угла смачивания при контакте с жидкостью, а также угла смачивания при контакте жидкости с частицами, полностью лишенными свободного жира.

Из данных [4] следует, что между гидрофильностью (способностью смачиваться водой) поверхности частиц и степенью покрытия их свободным жиром существует обратная корреляция. Кроме того, снижение гидрофильности обусловлено не всем свободным жиром, а только той его долей, которая находится на поверхности частиц.

Исследования смачиваемости водой сухих органических порошковых материалов, включающих определенное количество жира и растворимой фракции, показывают [4], что в начальной стадии взаимодействия материала с водой на границе раздела образуется пленка новой фазы, представляющая собой высококонцентрированный раствор составных частей материала. Возникновение этой фазы обусловлено интенсивным массообменом между водой и мельчайшими частицами, обладающими развитой поверхностью фазового контакта. Происходит закрытие поровых каналов в граничном с водой слое продукта, и процесс пропитки замедляется до полного затухания.

Из анализа исследований смачиваемости капиллярно-пористых тел [1-5] видно, что статическое увлажнение из-за длительности самого процесса не отвечает требованиям технологии кормоприготовления и раздачи.

Увеличение скорости капиллярной пропитки порошковых материалов путем образования новых контактных поверхностей и разрушения уже закрытых поровых каналов (перемешивание) в стационарных раздатчиках исключается, так как требует усложнения их конструкции.

В этой связи в стационарных кормораздатчиках представляет интерес предварительное увлажнение (перед транспортировкой и раздачей) распыляемой жидкостью комбикормов с помощью увлажнительных головок к высокооборотным смесительным аппаратам (комбинированный способ) или при выгрузке из дозаторов и транспортирующего устройства (применение распылителей) с последующим увлажнением в кормушках путем фильтрации.

Процесс смачивания в динамическом режиме характеризуется тремя этапами [ 6 ]: встречей капли распыляемой жидкости и частицы твердого тела, их соприкосновением, смачиванием частицы каплей жидкости, которым соответствуют параметры:  $E_1$  - эффективность встречи,  $E$  - эффективность соприкосновения и  $E_2$  - эффективность захвата.

Вероятность встречи капли с частицей твердого тела в воздушном пространстве рабочего органа (рукава, камеры и т.д.) зависит от концентрации или плотности потока материала в зоне действия факела распыла жидкости, концентрации капель в воздухе, относительной скорости движения частиц материала и капель, а также характера этого движения. Для прямолинейного движения капель эффективность встречи можно определить по формуле

$$E_1 = \frac{GC}{G_{общ} M}, \quad (1)$$

где  $G$  - объем, через который проходят капли распыленной жидкости,  $m^3$ ;  
 $C$  - концентрация капель,  $l/m^3$ ;  
 $G_{общ}$  - общий объем, через который проходит корм при свободном падении,  $m^3$ ;  
 $M$  - концентрация частиц,  $l/m^3$ .

Вследствие эффекта обтекания [ 6 ], который проявляется при движении капли в газовой среде (воздух), может не произойти соприкосновения частиц жидкости и твердого тела даже при движении по линии их центров навстречу друг другу. Эффективность соприкосновения  $E$  по Ленгмюру [ 6 ] определяет долю частиц, которые входят в соприкосновение с каплей в результате эффекта обтекания, и выражается зависимостью

$$E = \frac{F_1}{F_2}, \quad (2)$$

где  $F_1$  - площадь поперечного сечения объема, образованного крайними траекториями частиц, попадающих на каплю,  $m^2$ ;

$F_2$  - площадь диаметрального сечения капли,  $m^2$ .

Величина  $E$  зависит от безразмерной комбинации параметров, характеризующих траекторию движения частиц твердого тела, увлекаемых потоком воздуха при движении капли. Показатель  $K_n$  представляет собой критерий подобия эффекта обтекания [6] и определяется соотношением

$$K_n = \frac{2}{9} z^2 \frac{\rho_1}{\eta} \frac{v}{z_{\kappa}}, \quad (3)$$

где  $z$  - радиус частицы материала, м;

$\rho_1$  - плотность частицы,  $kg/m^3$ ;

$\eta$  - вязкость воздуха,  $N \cdot c/m^2$ ;

$v$  - скорость набегающего потока, м/с.

Зависимость эффекта соприкосновения  $E$  от параметра  $K_n$  для случая вязкого и аэродинамического течения потока имеет предельные значения [6]: для вязкого течения  $K_n = 1,214$ , аэродинамического  $K_n = 0,0833$ . Для промежуточных значений режимов течения построены графики зависимости  $E = f(K)$ , по которым можно определить  $E$  при разных размерах капли.

Эффективность захвата  $E_3$  характеризует количество жидкости (капли), которые может быть захвачено частицей при их соприкосновении в процессе движения, т.е.

$$E_3 = \frac{G_*}{G_{\kappa}}, \quad (4)$$

где  $G_*$  - количество жидкости, захваченное частицей, кг;

$G_{\kappa}$  - масса капли, кг,

и определяется в основном [6] краевым углом смачивания  $\theta$ , энергией соударения движущихся частиц, а также соотношением их размеров.

Из анализа формул (1)-(4) следует, что качественные показатели (равномерность увлажнения) работы устройств, основанных на

принципе динамического смачивания мелкодисперсных материалов, зависят от физико-механических свойств материала и жидкости (углы смачивания, гранулометрический состав, влажность, поверхностное натяжение смачивающей жидкости, ее температура и др.), формирования потока корма при выгрузке, соотношения размеров частиц корма и капель, относительной скорости движения.

## ВЫВОДЫ

1. Увлажнение сухих кормов только фильтрацией (подача воды на корм или под его массу, загруженную в кормушку) в стационарных кормораздатчиках из-за длительности и затухания процесса пропитки не отвечает технологическим требованиям.
2. Равномерность увлажнения сухого корма при динамическом смачивании зависит от формирования его потока при выгрузке из дозирующих устройств, соотношения размеров частиц корма и капель распыляемой жидкости, относительной скорости их движения, а также физико-механических свойств.
3. В стационарных кормораздатчиках целесообразно применять предварительное увлажнение и комбинированные системы, работающие по принципу динамического смачивания с последующим увлажнением корма в кормушках путем фильтрации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М., Гостехиздат, 1954.
2. Дерягин Б. Определение удельной поверхности пористых тел по скорости капиллярной пропитки. - "Коллоидный журнал", т. 8, 1946, № 1-2.
3. Норхаев А.П. Кинетика впитывания жидкости элементарными капиллярами и пористыми материалами. - "Коллоидный журнал", т. II, 1949, № 5.
4. Дворецкий Г.Б. Исследование смачиваемости сухих молочных продуктов. - "Молочная промышленность", 1972, № 1.
5. Швейцаров Л., Новиков Н., Никишин Н. Раздача увлажненных комбикормов на свиноферме. - "Степные просторы", 1973, № 10.
6. Духин С.С., Каганер В.М. Влияние эффекта обтекания на пшцеудавливание при орошении. - "Горный журнал", 1954, № II.