

ные. Если технологический процесс достаточно обеспечен водой, а трубопровод имеет надлежащий уклон, то применяют более простые и дешевые безнапорные установки. Для раздачи кормов, заменителей цельного молока в связи со сложностью гидравлических линий применяют напорные установки. Для уборки навоза из животноводческих помещений и дальнейшей транспортировки его на место хранения или на поля орошения применяют комбинированные установки.

Общая классификация гидропневмотранспортных установок приведена на рисунке 6.1 (см. форзац).

Пневматические установки по способу создания разности давления делятся на установки всасывающего, нагнетательного и смешанного типов. Они могут быть стационарные и мобильные. Стационарные используют для удаления навоза, транспортирования молока, приготовления и раздачи кормовых смесей на зерноскладах; мобильные — для перегрузки зерна, погрузки сена, соломы, силоса и птицы.

По величине развиваемого напора установки делятся на низконапорные с давлением до 0,5 МПа, средненапорные — с давлением от 0,5 до 1 МПа и высоконапорные — с давлением выше 1 МПа.

По способу создания напора их делят на насосные, компрессорные, насосно-компрессорные и гидростатические.

В зависимости от гидравлической схемы работы гидропневмотранспортных установок они делятся на простые и сложные.

Безнапорные установки применяются при удалении навоза из помещений, а также при межоперационных перемещениях зерна в аэролотках.

Гидравлические безнапорные установки можно разделить на системы прямого смыва, рециркуляционные и самотечные.

Кормопроводы могут быть стальные, пластмассовые, керамические, асбестоцементные и стеклянные; навозопроводы — чугунные, асбестоцементные, керамические, пластмассовые, стальные и резиноканевые.

При разработке гидропневмотранспортных установок учитывают физико-механические свойства перемещаемых материалов.

## **Глава 2. КЛАССИФИКАЦИЯ, ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГИДРОСМЕСЕЙ**

**Классификация и основные физико-механические свойства.** Если несущая среда — капельная жидкость, то такой трубопроводный транспорт называется *гидравлическим*; если несущая среда газ — *пневматическим*.

Физико-механические свойства гидросмесей определяются свойствами составляющих жидкой и твердой частей.

В сельскохозяйственных технологических процессах в качестве жидкой составляющей гидросмеси используются вода, обрат, жомовая вода и жидкие физиологические выделения животных; в качестве твердой составляющей — корм, твердые фракции биологических отходов животных и т. д.

Температура гидросмесей обычно находится в пределах от 5 до 100°C.

К основным физико-механическим свойствам гидросмесей относят: плотность, механическую крупность, гидравлическую крупность, влажность, вязкость, липкость (адгезия) и др.

Удельная плотность гидросмеси определяется отношением твердой фракции к жидкой. Она зависит от температуры и концентрации гидросмеси и в расчетах выражается зависимостью

$$\rho_r = \frac{\rho_t - \rho_{ж}}{\rho_{ж}},$$

где  $\rho_t$  — плотность твердой фракции, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{ж}$  — плотность жидкой фракции, кг/м<sup>3</sup>.

Твердая часть (крупность частиц) гидросмеси оказывает существенное влияние на работу гидропневмотранспортных установок.

Механическая крупность частиц характеризуется геометрическими размерами твердой фракции компонента гидросмеси и классифицируется следующим образом:

*крупная* (размер частиц твердого компонента достигает 200 мм. Сюда относят корнеклубнеплоды — картофель, свеклу, морковь и др.);

*мелкая* (к ней относят зерновые материалы с крупностью частиц от 2 до 10 мм);

*грубодисперсная* (размер частиц от 2 до 7 мм. Это продукты переработки сельскохозяйственных материалов — жом; дробленые корнеклубнеплоды, отходы крупяной промышленности);

*тонкодисперсная* (к этим гидросмесям относятся запаренный протертый картофель, патока, заменитель цельного молока, кормовые пасты и др. Размер частиц — от коллоидной смеси до 0,5 мм);

*неоднородная* (размер частиц — от коллоидных до 70 мм).

При транспортировании гидросмесей с крупными частицами активную роль в переносе твердой фракции играет жидкость.

Транспортирование гидросмесей мелкими частицами характеризуется прерывным взвешенным перемещением твердых частиц по вертикали трубопровода.

Грубодисперсные частицы при транспортировании находятся во взвешенном состоянии благодаря турбулентному режиму движения.

Тонкодисперсные гидросмеси также перемещаются при турбулентном режиме, где твердые компоненты по сечению распределяются равномерно. Скорость перемещения достигает 1,5 м/с. Однородность этих гидросмесей с высокой концентрацией твердых компонентов обладает псевдопластичностью или чисто пластичными свойствами.

Неоднородные гидросмеси при размере твердых частиц до 0,5 мм перемещаются во взвешенном состоянии, размером 6... 8 мм — прерывным взвешиванием, а частицы более 10 мм — прерывным взвешиванием в пристенной части или волочением по нижней стенке трубы.

Влияние компонентного состава гидросмесей таково, что тонкодисперсные смеси можно отнести приближенно к структурным жидкостям, грубодисперсные — к неоднородным смесям.

*Гидравлической крупностью твердых частиц в гидросмеси* называется скорость равномерного выпадания их в осадок. Она зависит от геометрической формы и размеров частиц, плотности образующего ее вещества и от вязкости жидкой фракции. Гидравлическая крупность обозначается  $\omega$  для тонкодисперсных и неоднородных материалов и вычисляется по формуле

$$\omega = \frac{0,545d^2a}{\mu}, \quad (6.2)$$

где  $d$  — средний диаметр частиц, мм;  $a$  — насыщение потока транспортируемым продуктом;  $\mu$  — динамическая вязкость жидкости в гидросмеси.

$$a = \frac{\rho_r - \rho_{ж}}{\rho_r}.$$

В качестве примера следует сказать, что концентрированные гидросмеси имеют частицы от 0,5 до 1,5 мм.

Комбикорма характеризуются средним размером частиц (модулем): мелкие 0,2... 1,0; средние 1,0... 1,8; крупные 1,8... 2,6 мм.

Фракционный состав зерновых (целых и измельченных) разнообразен: для мучных кормов размеры частиц имеют значения от 0,53 (мука просяная) до 2,39 мм (мука рыбная); для целого зерна — от 3,9 (зерно пшеницы) до 5,6 мм (зерно гороха).

Твердые экскременты навоза представляют собой полидисперсную гидромассу, содержащую до 30% коллоидных частиц. Фракционный состав навоза зависит от рациона кормления.

Таким образом, при гидропневмотранспорте сельскохозяйственных кормовых и навозных масс необходимо учитывать размеры частиц, которые по своему гранулометрическому составу могут быть тонкодисперсными с размером частиц от 0,001 до

0,2 мм, неоднородными, размеры частиц в которых колеблются от коллоидных до 7,0 мм, и грубодисперсными с размером частиц от 2,0 до 70 мм.

Коэффициент трения твердой составляющей гидросмеси имеет широкие пределы изменения: статический — 0,68 ... 1,64; динамический — 0,31 ... 1,46. Кроме того, коэффициенты трения зависят от конструкционного материала, состояния поверхности, с которой контактирует транспортируемая гидро-или пневмосмесь, скорости движения, давления и других факторов.

Седиментация (осаждаемость) тонкодисперсных сельскохозяйственных гидросмесей зависит от растворимости в воде и образования структуры. Так, для заменителей молока основная масса растворяется в воде и лишь незначительная ее часть идет в осадок.

Для плохо растворяющихся кормовых материалов в воде происходит очень быстрое расслоение.

В зависимости от гранулометрического состава, концентрации, способа приготовления жидкостей скорость осаждения их колеблется от  $0,069 \cdot 10^{-5}$  до  $300 \cdot 10^{-5}$  м/с.

Удельный вес сельскохозяйственных гидросмесей колеблется от 8900 до 11 280 Н/м<sup>3</sup>, а компонентов, входящих в состав гидросмесей, — в значительно больших пределах — от 6000 до 26 000 Н/м<sup>3</sup>.

Консистенция гидросмеси представляет собой степень насыщения твердым компонентом и выражается объемными или весовыми соотношениями

$$C = \frac{\rho_r - \rho_n}{\rho_r - \rho_n} 100\% = \frac{\gamma_r - \gamma_n}{\gamma_r - \gamma_n} 100\%. \quad (6.3)$$

Влажность гидросмеси — это доля воды, содержащаяся в массе смеси, выраженная в процентах:

$$W = \frac{m - m_c}{m} 100\%, \quad (6.4)$$

где  $m$  — масса влажной смеси, кг;  $m_c$  — масса сухой смеси, кг.

По зоотехническим требованиям влажность кормосмесей для свиней не должна превышать 65%. Кормовая смесь может иметь влажность в пределах 85 ... 90%, но вся влага будет в свободном состоянии. Последняя гидросмесь транспортируется лучше.

Реологические параметры гидросмесей характеризуются необратимыми остаточными деформациями и течением разнообразных вязких и пластичных материалов.

Реологию можно рассматривать как механику реальных, сплошных сред, заимствуя в определенной степени основные положения теории упругости, пластичности и гидродинамики.

Основные реологические параметры — вязкость ньютоновская, эффективная, пластическая, модули упругости, предельное напряжение сдвига, ползучесть, период релаксации.

Для определения реологических параметров гидросмеси чаще всего используют ротационные вискозиметры, которые имеют два концентрических цилиндра — внутренний и внешний. Для измерения наибольшей вязкости в области неразрушенной структуры, модуля упругости, периода релаксации и других свойств применяют приборы с тангенциальным смещением пластин или осевым смещением цилиндров.

Вязкость — одна из главных причин гидравлических сопротивлений и потерь энергии движущихся гидросмесей. Кормовые и навозные массы — это неньютоновские жидкости, ибо их вязкость зависит от скорости деформации.

Для этих материалов касательная сила трения выражается зависимостью

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{du}{dr},$$

где  $\tau_0$  — предельное напряжение сдвига;  $\eta$  — структурная вязкость;  $du/dr$  — градиент скорости.

Для большинства кормосмесей с увеличением скорости сдвига вязкость уменьшается до определенного предела, а затем остается практически постоянной. С уменьшением консистенции и с увеличением влажности вязкость и предельное напряжение сдвига уменьшаются. Вязкостные свойства кормосмесей в большей степени зависят от температуры. При этом у большинства кормосмесей вязкость и предельное напряжение сдвига уменьшаются при повышении температуры. Для кормов, содержащих крахмал, наблюдается повышение вязкости при увеличении температуры за счет того, что происходит набухание материала.

Вязкость заменителей молока изменяется в зависимости от его состава в пределах от 0,03 до 0,15 Па·с. Повышение температуры заменителей молока сопровождается уменьшением вязкости, и в диапазоне температур 70...80°C вязкость заменителя молока приближается к вязкости воды.

Вязкость навозных масс изменяется в больших пределах — от 0,7...0,006 Па·с (крупного рогатого скота) до 0,38...0,004 Па·с (свиней) в зависимости от влажности, содержания подстилки в навозе, рациона кормления, температуры и других факторов.

Вязкость навоза возрастает с увеличением содержания в нем подстилки, но в этом случае вязкость снижается за счет разбавления его водой. Коровий навоз обладает значительно большими вязкостью и сопротивлением сдвигу, чем свиной.

При определенных условиях кормовые и навозные массы при скоростях сдвига свыше 0,5...1,0 с<sup>-1</sup> проявляют тиксотропные

свойства. Если за меру тиксотропности брать отношение максимальной и минимальной вязкости, то для кормовых и навозных масс он колеблется в пределах от 1,5 до 2,0.

В общем случае вязкость кормовых и навозных гидросмесей характеризуется значениями от 0,0034 до 20,4 Па·с, а напряженье сдвига — от 0,15 до 382,2 Па.

Липкость, или адгезионные свойства гидросмесей, характеризует взаимодействие последних с материалом трубопроводов.

Адгезионные свойства кормовых и навозных масс, так же как и вязкостные, определяются составом рассматриваемого материала, влажностью, температурой и другими факторами. Адгезия (липкость) кормосмесей колеблется в диапазоне 10...1300 Па, а навозных масс — от 40 до 2000 Па.

В расчетах численные значения адгезии не используются, однако по их величине можно судить о силе прилипания гидросмесей.

Радиус растекания жидких кормов и навозных масс колеблется в пределах 0,18...0,25 м и зависит от вида конструкционного материала, адгезии и вязкости.

### Глава 3. ТРАНСПОРТИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОТОКА

Транспортирующая способность потока — это такое его состояние, при котором он перемещает максимально возможное количество материала.

Движение неньютоновских жидкостей по трубам и лоткам характеризуется целым рядом особенностей по сравнению с движением ньютоновских жидкостей.

Класс неньютоновских жидкостей — вязкопластичных — обычно называют *бингемовской жидкостью*, названной в честь американского ученого Бингема.

К числу таких жидкостей относятся суспензии и коллоидные растворы, состоящие из двух фаз — твердой и жидкой, кормовые и навозные смеси.

Реологические свойства бингемовской жидкости характеризуются в основном двумя параметрами: начальным напряжением сдвига и бингемовской, или пластической, вязкостью:

$$\mu_{пл} = (\tau - \tau_0) / \frac{du}{dr} . \quad (6.6)$$

В некоторых случаях при гидравлических расчетах пользуются эффективной (кажущейся) вязкостью

$$\mu_{э} = \mu_{пл} + \tau_0 / \frac{du}{dr} . \quad (6.7)$$