

зонтальной и вертикальной плоскостях по сложной криволинейной траектории. Напорный гидропневмотранспорт делится на компрессорный, насосно-компрессорный, насосно-напорный и насосно-всасывающий.

Безнапорное движение осуществляется преимущественно по открытым лоткам и металлическим желобам под действием сил тяжести.

В сельскохозяйственном производстве безнапорный гидротранспорт, например, применяется при очистке от навоза животноводческих помещений. Гидравлические безнапорные установки можно разделить на системы прямого смыва, рециркуляционные и самотечные.

К безнапорному пневмотранспорту относятся аэрожелоба, где при помощи вентилятора создается поток воздуха, который при помощи чешуйчатой решетки направляется в слой зерна (или другого сыпучего материала) и переводит последний в псевдооживленное состояние. Транспортировка сыпучего материала в этом состоянии происходит за счет сил тяжести в сторону уклона аэрожелоба.

Характеристика работы напорного и безнапорного гидротранспорта — критическая скорость.

Критической скоростью называется такая скорость движения гидросмеси, при которой большая часть твердой фазы, содержащейся в потоке, полностью перемещается, не осаждаясь на дне трубопровода. Для нормальной работы напорного гидротранспорта необходимо, чтобы скорость движения смеси была равна или несколько превышала критическую. Анализ ряда эмпирических формул для определения критической скорости показал, что она зависит от гранулометрического состава гидросмеси, его гидравлической крупности, удельного веса частиц и диаметра трубопроводов.

При проектировании безнапорного гидротранспорта основной параметр — это уклон дна, который должен обеспечить такую скорость гидросмеси, чтобы крупные частицы не выпадали на дно (не заиливали).

После определения уклона необходимо вычислить скорость и сравнить ее с критической. Уклон лотка (желоба) увеличивают до получения равенства $v_{кр} = v$.

Глава 5. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ГИДРОПНЕВОТРАНСПОРТА

Основные расчетные параметры гидропневмотранспортной системы — диаметр труб, толщина стенки и их материал. В непосредственной связи с диаметром труб находятся потери давления (напора).

Диаметр трубопровода для транспортирования гидросмеси вычисляется из уравнения неразрывности потока

$$Q = \omega v = \text{const.} \quad (6.9)$$

Средняя скорость транспортирования смеси определяется технико-экономическими расчетами из условия $v_k < v < 2$ м/с, где $v_k = 0,6 \dots 0,8$ м/с — скорость самоочистки труб.

По найденному значению диаметра выбирается стандартный диаметр трубопровода, уточняется скорость движения гидросмеси и делается проверка выполнения условия ($v_k < v < 2$ м/с).

По обобщенному критерию Рейнольдса определяют режим движения жидкости.

Обобщенный критерий Рейнольдса для бингамовских жидкостей может быть вычислен по формулам

$$\text{Re}^* = \frac{\text{Re}}{1 + 1/6 (\tau_0 d / \mu v)} = \frac{\text{Re}}{1 + 1/6 \sin}, \quad (6.10)$$

где $\text{sen} = \tau_0 d / \mu v$ — критерий Сен-Венона (Ильюшина) — характеристика пластических свойств жидкости для кормовых смесей.

$$\text{Re}^* = \frac{1}{\frac{\mu}{v d \rho} + \frac{\tau}{6 v^2 \rho}}. \quad (6.11)$$

Если $\text{Re}^* < 1500 \dots 5000$, то имеет место переходный режим движения. И в этом случае диаметр трубы и скорость выбраны правильно.

Если $\text{Re}^* > 1500 \dots 500$, то режим движения турбулентный и в трубопроводе будут иметь место чрезмерно большие потери давления. Поэтому необходимо увеличить диаметр и уменьшить скорость движения гидросмеси в трубопроводе.

При влажности кормовых и навозных масс свыше 95% можно применять турбулентный режим. И расчет ведут по тем же закономерностям, как и для воды.

При расчете потерь давления руководствуются следующим: режим движения кормовых смесей — структурно-гидравлические сопротивления при транспортировании кормовых смесей пропорциональны объемному расходу или скорости; при одинаковом объемном расходе потери давления возрастают с уменьшением диаметра трубопровода; увеличение потерь давления опережает уменьшение площади поперечного сечения трубопровода; снижение стоимости трубопровода (за счет уменьшения диаметра) вызывает повышение потерь давления.

Потери давления (напора) в основном зависят от структурной вязкости и предельного напряжения сдвига.

Гидравлический расчет гидропневмопроводов проводят по упрощенной формуле Букингема

$$i = \frac{16\tau_0}{3\gamma d} + \frac{32v\eta}{\gamma d^2}, \quad (6.12)$$

где i — гидравлический уклон; τ_0 — начальное напряжение сдвига; η — структурная вязкость; v — средняя скорость гидросмеси, м/с.

$$\tau_0 = \frac{3id\rho g}{16}; \quad \eta = \frac{d^2\rho g}{32v}(i - i_0), \quad (6.13)$$

где i_0 — начальный гидравлический уклон, соответствующий нулевой скорости.

Потери давления можно вычислить по методике Дарси — Вейсбаха на основании формул

$$\Delta p_{\text{дл}} = \frac{\lambda l}{d} \frac{v^2}{2} \rho; \quad \lambda = 64/\text{Re}^*. \quad (6.14)$$

Местные потери давления рекомендуется рассчитывать, как потери на некотором дополнительном участке основного трубопровода l_3 :

$$l_3 = (\xi/\lambda) D,$$

где D — диаметр трубопровода, мм.

Потери давления на подъем h гидросмеси вычисляют по формуле

$$\Delta p_{\text{п}} = R \frac{\rho_{\text{г}}}{\rho_0}, \quad (6.15)$$

где $\rho_{\text{г}}$ — плотность гидросмеси, кг/м³; ρ_0 — плотность жидкой составляющей (воды), кг/м³.

Расход жидкости при структурном режиме может быть определен по упрощенной формуле Букингема

$$Q = \frac{\pi r^4}{8\mu L} \left(\Delta p - \frac{4}{3} \Delta p_0 \right), \quad (6.16)$$

где r — радиус трубопровода, мм; Δp — приложенная разность давления, Па; Δp_0 — разность давления, соответствующая началу движения жидкости ($\Delta p_0 = p_1 - p_2 = 4\tau_0 l/d$), Па; L — длина объема жидкости внутри трубы, мм; l — длина трубопровода, м.

Давление, которое необходимо создать в начале трубопровода, чтобы обеспечить заданную подачу гидротранспортной установки, вычисляют по зависимости

$$p_{\text{н.у}} = (\Delta_{\text{к}} - \Delta_{\text{н}}) \rho g + \Delta p, \quad (6.17)$$

где $\Delta_{\text{к}}$, $\Delta_{\text{н}}$ — соответственно отметки центров тяжести начального и конечного сечения трубопровода; Δp — общие потери давления в гидросети, Па.

В заключение следует сказать, что к настоящему моменту сложились следующие практические методы расчета гидротранспорта:

основанные на опытных данных, которые характеризуются интегральными кривыми, или табличных данных;

на основании сравнения интегральных характеристик воды и гидросмеси;

по эмпирическим формулам, полученным на базе обобщения опытного материала по исследованию гидротранспорта;

основанные на теоретических предположениях о закономерностях движения гидросмесей.

Глава 6. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ГИДРОПНЕВОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК

6.1. ГИДРОПНЕВОТРАНСПОРТ ДЛЯ НАВОЗА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Гидравлическая уборка навоза из животноводческих помещений имеет несколько вариантов, но в основе ее лежат две системы: прямоточная и оборотная.

Для транспортирования навоза в навозохранилище применяются напорные, напорно-всасывающие и безнапорные установки. Напорные установки могут быть насосными и компрессорными, а напорно-всасывающие установки чаще всего представлены вакуумно-компрессорными. Безнапорные установки применяются в том случае, если уклон местности позволяет достичь необходимой разности геодезических отметок.

На поля фильтрации навоз из навозохранилищ транспортируется напорными гидротранспортными установками.

Из помещений навоз убирают напорными и безнапорными гидравлическими системами. К безнапорным системам относят: смывные, отстойно-лотковые (шлюзовые), комбинированные и самотечные.

Гидросмыв может осуществляться прямым и рециркуляционным способами. При прямом смыве навоз удаляют струей воды, создаваемой давлением от сети или подкачивающим насосом. Этот способ требует большого количества воды, поэтому он применяется только в хозяйствах, имеющих достаточное количество воды, а рециркуляционный способ в нашей стране не применяется.

Отстойно-лотковая система периодического удаления навоза состоит из продольных и поперечных каналов, закрытых по всей длине решетками. Поперечный канал имеет уклон в сторону навозоприемника и перекрывается перед входом в навозопри-