

Практична робота №9. Розрахунок гідротранспортної установки

Тема: Розрахунок гідротранспортної установки

Мета: Навчитись розв'язувати задачі використовуючи матеріали по темі: «Гідропневмотранспорт»

Рекомендована література

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, Д.П.Журавель, С.І.Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 34 - 47).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, С.І.Пастушенко, С.І.Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с.(с. 30 - 40).
3. Рогалевич, Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич; – К.: Вища школа, 1993. – 255 с. (с. 10 - 48).
4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с. 22- 34).
5. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П.Исаев, Б.И. Сергеев, В.А.Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 25 - 34).
6. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В.Карасев;–Минск: “Высшая школа”, 1983 – 288 с. (с. 14 - 23).
7. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И.Лаптев, Л.А.Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с. 53 - 64).

1. Теоретична частина

Гідропневмотранспорт - це комплекс пристроїв і устаткування, призначених для переміщення продуктів сільськогосподарського виробництва і матеріалів за допомогою рідини (у рідкому стані) або повітря (у сухому стані).

У сільськогосподарському виробництві гідропневмотранспорт використовують:

для приготування і транспортування рідких кормів на тваринницьких підприємствах, транспортування гною усередині будівель і до місць переробки, зберігання або використання;

для транспортування сипких матеріалів, наприклад зерна, мінеральних добрив.

Гідропневмотранспорт дозволяє повністю перейти на комплексну механізацію навантажувально-розвантажувальних робіт майже всіх матеріалів сільськогосподарського виробництва.

Крім того, гідропневмотранспорт попутно дозволяє провести ряд

технологічних процесів: охолодження, підсушування, зволоження і очищення від домішок і бруду.

1.1 Основні фізико-механічні властивості і реологічні параметри гідросумішей

Якщо несуче середовище - краплинна рідина, то такий трубопровідний транспорт називається *гідравлічним*; якщо несуче середовище газ - *пневматичним*.

Фізико-механічні властивості гідросумішей визначаються властивостями складових рідкої і твердої частин.

У сільськогосподарських технологічних процесах в якості рідкої складової гідросуміші використовується вода, молочний перегін, жомова вода і рідкі фізіологічні виділення тварин; як тверда складова - корм, тверді фракції біологічних відходів тварин і т.д.

Температура гідросуміші звичайно знаходиться в межах від 5 до 100°C.

До основних фізико-механічних властивостей гідросумішей відносять: густину, механічну грубість, гідравлічну грубість, вологість, в'язкість, клейкість (адгезія) і ін.

Питома густина гідросуміші визначається відношенням твердої фракції до рідкої. Вона залежить від температури і концентрації гідросуміші і в розрахунках виражається залежністю

$$\rho_z = \frac{\rho_m - \rho_p}{\rho_p} \quad (1)$$

де ρ_m - густина твердої фракції, кг/м³; ρ_p - густина рідкої фракції кг/м³.

Тверда частина (грубість частинок) гідросуміші суттєво впливає на роботу гідропневмотранспортних установок.

Величина частинок характеризується геометричними розмірами твердої фракції компоненту гідросуміші і класифікується таким чином:

велика (розмір частинок твердого компоненту досягає 200 мм. Сюди відносять коренеплоди - картоплю, буряк, моркву і ін.);

дрібна (до неї відносять зернові матеріали грубістю частинок від 2 до 10 мм);

грубодисперсна (розмір частинок від 2 до 7 мм. Це продукти переробки сільськогосподарських матеріалів - жом; роздріблені коренеплоди, відходи круп'яної промисловості);

тонкодисперсна (до них відноситься запарена протерта картопля, патока, замінник молока, кормові пасти і ін. Розмір частинок - від колоїдної суміші до 0,5 мм);

неоднорідна (розмір частинок - від колоїдних до 70 мм).

При транспортуванні гідросуміші з великими частинками активну роль в перенесенні твердої фракції грає рідина.

Транспортування гідросуміші дрібними частинками характеризується переривчастим зваженим переміщенням твердих частинок по вертикалі

трубопроводу.

Грубодисперсні частинки при транспортуванні знаходяться в зваженому стані завдяки турбулентному режиму руху.

Тонкодисперсні гідросуміші також переміщуються при турбулентному режимі, де тверді компоненти по перетину розподіляються рівномірно. Швидкість переміщення досягає 1,5 м/с. Однорідність цих гідросумішів з високою концентрацією твердих компонентів має псевдопластичність або чисто пластичні властивості.

Вплив компонентного складу гідросуміші такий, що тонкодисперсні суміші можна віднести приблизно до структурних рідин, грубодисперсні - до неоднорідних сумішей.

Гідравлічною грубістю твердих частинок в гідросуміші називається швидкість рівномірного випадання їх в осад. Вона залежить від геометричної форми і розмірів частинок, густини речовини і від в'язкості рідкої фракції. Гідравлічна грубість позначається ω для тонко дисперсних і неоднорідних матеріалів і знаходиться за формулою

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

де d - середній діаметр частинок, мм; a - насичення потоку транспортуєчим продуктом; μ - динамічна в'язкість рідини в гідросуміші

$$a = \frac{\rho_z - \rho_{ж}}{\rho_z} \quad (3)$$

Як приклад слід сказати, що концентровані гідросуміші мають частинки від 0,5 до 1,5 мм.

Комбікорми характеризуються середнім розміром частинок (модулем): дрібні 0,2... 1,0; середні 1,0... 1,8; великі 1,8... 2,6 мм.

Фракційний склад зернових (цілих і подрібнених) різноманітний: для борошняних кормів розміри частинок мають значення від 0,53 (борошно просяне) до 2,39 мм (борошно рибне); для цілого зерна - від 3,9 (зерно пшениці) до 5,6 мм (зерно гороху).

Тверді екскременти гною - це полідисперсна гідромаса, що містить до 30% колоїдних частинок. Фракційний склад гною залежить від раціону годування.

Таким чином, при гідропневмотранспорті сільськогосподарських кормових і гнойових мас необхідно враховувати розміри частинок, які по своєму гранулометричному складу можуть бути тонкодисперсними з розміром частинок від 0,001 до 0,2мм; неоднорідними, розміри частинок в яких коливаються від колоїдних до 7,0 мм, і грубодисперсними з розміром частинок від 2,0 до 70 мм.

Коефіцієнт тертя твердої складової гідросуміші має широкі межі зміни: статичний - 0,68... 1,64; динамічний - 0,31...1,46. Крім того,

коефіцієнти тертя залежать від конструкційного матеріалу, стану поверхні, з якою контактує гідро чи пневмомаса що транспортується, швидкості руху, тиску і інших факторів.

Седиментація (осаджуваність) тонкодисперсних сільськогосподарських гідросумішів залежить від розчинності у воді і утворення структури. Так, для заміників молока основна маса розчиняється у воді і лише незначна її частина йде в осад.

Для кормових матеріалів, що погано розчиняються, у воді відбувається дуже швидке розшарування.

В залежності від гранулометричного складу, концентрації, способу приготування рідин швидкість осадження їх коливається від $0,069 \cdot 10^{-5}$ до $300 \cdot 10^{-5}$ м/с.

Питома вага сільськогосподарських гідросумішів коливається від 8900 до 11280 Н/м³, а компонентів, що входять до складу гідросуміші, - в значно великих межах - від 6000 до 26000 Н/м³.

Консистенція гідросуміші є ступенем насичення твердим компонентом і виражається об'ємними або масовими співвідношеннями

$$C = \frac{\rho_{\Gamma} - \rho_B}{\rho_{\Gamma} - \rho_B} \cdot 100\% = \frac{\gamma_{\Gamma} - \gamma_B}{\gamma_{\Gamma} - \gamma_B} \cdot 100\% \quad (4)$$

Вологість гідросуміш - це частка води, що міститься в масі змішай, виражена у відсотках:

$$W = \frac{m - m_c}{m} \cdot 100\% \quad (5)$$

де m - маса вологої суміші, кг; m_c - маса сухої суміші, кг.

По зоотехнічним вимогам вологість кормосумішів для свиней не повинна перевищувати 65%. Кормова суміш може мати вологість в межах 85... 90%, але вся волога буде у вільному стані. Остання гідросуміш транспортується краще.

Реологічні параметри гідросумішей. Вони характеризуються необоротними залишковими деформаціями і рухом різноманітних в'язких і пластичних матеріалів.

Реологію можна розглядати як механіку реальних, суцільних середовищ, використовуючи певною мірою основні положення теорії пружності, пластичності і гідродинаміки

Основні реологічні параметри - в'язкість ньютонівська, ефективна, пластична, модулі пружності, гранична напруга зрушення, повзучість, період релаксації.

Для знаходження реологічних параметрів гідросумішей частіше всього використовують ротаційні віскозиметри, які мають два концентричні циліндри, - внутрішній і зовнішній. Для вимірювання найбільшої в'язкості у області незруйнованої структури, модуля пружності, періоду релаксації і інших властивостей застосовують прилади з тангенціальним зсувом пластин або осьовим зсувом циліндрів.

В'язкість - одна з головних причин гідравлічних опорів і втрат енергії рухомих гідросумішей. Кормові і гнойові маси - це не ньютонівські рідини, бо їх в'язкість залежить від швидкості деформації.

Для цих матеріалів дотична сила тертя виражається залежністю

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{du}{dr} \quad (6)$$

де τ_0 - гранична напруга зрушення; η - структурна в'язкість; du/dr - градієнт швидкості.

Для більшості кормосумішей із збільшенням швидкості зрушення в'язкість зменшується до певної межі, а потім залишається практично постійною. Із зменшенням консистенції і із збільшенням вологості в'язкість і гранична напруга зрушення зменшуються. В'язкісні властивості кормосумішей більшою мірою залежать від температури. При цьому у більшості кормосумішей в'язкість і гранична напруга зрушення зменшуються при підвищенні температури. Для кормів, що містять крохмаль, спостерігається підвищення в'язкості при збільшенні температури за рахунок того, що відбувається набухання матеріалу.

В'язкість заміників молока змінюється залежно від його складу в межах від 0,03 до 0,15 Па·с. Підвищення температури заміників молока супроводжується зменшенням в'язкості, і в діапазоні температур 70...80°C в'язкість заміника молока наближається до в'язкості води.

В'язкість гнойових мас змінюється у великих межах - від 0,7...0,006 Па·с (великої рогатої худоби) до 0,38...0,004 Па·с (свиней) залежно від вологості, вмісту підстилки в гною, раціону годування, температури і інших чинників.

В'язкість гною зростає із збільшенням вмісту в ньому підстилки, але в цьому випадку в'язкість знижується за рахунок розбавлення його водою. Коров'ячий гній володіє значно більшими в'язкістю і опором зрушенню, чим свинячий.

За певних умов кормові і гнойові маси при швидкостях зрушення понад 0,5... 1,0 с⁻¹ проявляють тиксотропні властивості. Якщо за міру тиксотропності брати відношення максимальної і мінімальної в'язкості, то для кормових і гнойових мас він коливається в межах від 1,5 до 2,0.

У загальному випадку в'язкість кормових і гнойових гідросумішів характеризується значеннями від 0,0034 до 20,4 Па·с, а напруга зрушення від 0,15 до 382,2 Па.

Клейкість, або адгезійні властивості гідросуміші, характеризує взаємодію останніх з матеріалом трубопроводів.

Адгезійні властивості кормових і гнойових мас, так само як і в'язкісні визначаються складом даного матеріалу, вологістю, температурою і іншими чинниками. Адгезія (клейкість) кормосумішей коливається в діапазоні 10...1300 Па, а гнойових мас - від 40 до 2000 Па.

У розрахунках чисельні значення адгезії не використовуються, проте по їх величині можна судити про силу прилипання гідросуміші.

Радіус розтікання рідких кормів і гнойових мас коливається в межах 0,18... 0,25 м і залежить від виду конструкційного матеріалу, адгезії і в'язкості.

1.2 Транспортуюча спроможність потоку

Транспортуюча спроможність потоку - це такий його стан, при якому він переміщує максимально можливу кількість матеріалу.

Рух неньютонівських рідин по трубах і лотках характеризується цілим рядом особливостей в порівнянні з рухом ньютонівських рідин.

Клас неньютонівських рідин - в'язко пластичних - звичайно називають *бінгемовською рідиною*, названою на честь американського вченого Бінгема.

До таких рідин належать суспензії і колоїдні розчини, що складаються з двох фаз, - твердої і рідкої, кормові і гнойові суміші.

Реологічні властивості бінгемовської рідини характеризуються в основному двома параметрами: початковою напругою зрушення і *бінгемовською*, або пластичною в'язкістю:

$$\mu_{nl} = \frac{(\tau - \tau_0)}{\frac{du}{dr}} \quad (7)$$

В деяких випадках при гідравлічних розрахунках користуються ефективною в'язкістю

$$\mu_E = \frac{\mu_{nl} + \tau_0}{\frac{du}{dr}} \quad (8)$$

Для початкового руху не ньютонівської рідини необхідно створити різницю тиску, відповідну виникаючій в рідині дотичній напрузі τ і її початковій напрузі зрушення τ_0 . Це пояснюється наявністю просторової решітки, коли рідина знаходиться у спокої. Надалі вся маса рідини відривається від стінок трубопроводу і рухається спочатку як одне ціле з однаковими швидкостями для всіх частинок, у міру збільшення різниці тиску зростає і швидкість руху рідини. У центральній частині поперечного перетину виникає так зване центральне ядро, і рідина знову продовжує рухатися як тверде тіло. Це так званий структурний режим руху. При підвищенні різниці тиску центральне ядро зменшується, а область ламінарного режиму збільшується, і при подальшому зростанні ΔP структурний режим повністю перейде в ламінарний. Але ламінарний режим повністю не існує, оскільки ще за наявності центрального ядра зароджується турбулентний режим руху. Отже, структурний режим переходить безпосередньо в турбулентний.

Кількісна оцінка транспортуючої здатності потоку - критична швидкість. При критичній швидкості транспортування потік максимально насичений твердими частинками матеріалу і транспортуюча здатність

потіку використовується повністю. Додатки матеріалів в такий потік призводять до випадання твердих частинок на дно.

Для знаходження значення критичної швидкості при русі гідросуміші в літературі запропоновано безліч емпіричних формул і залежностей, що різною мірою задовольняють практиці.

При практичних розрахунках частіше всього поступають таким чином. По формулі

$$V_{кр} = 1,25 \sqrt{\tau_0 / \rho g} \quad (9)$$

знаходять критичну швидкість і, порівнюючи її з середньою швидкістю потоку V , встановлюють характер режиму: при $V < V_{кр}$ - режим ламінарний, при $V > V_{кр}$ - режим турбулентний.

На закінчення слід зазначити, що режим руху неньютонівських рідин встановлюється по критичному значенню узагальненого числа Рейнольдса.

2. Постановка завдання

Гідротранспортна установка призначена для подачі корму на свиноферму, кількість свиней $k=2500$ шт.; годування дворазове ($n = 2$), тривалість кожного годування $t=1$ ч. Добовий раціон годування на одну тварину включає суміш комбікорму, масою $m_1 = 2,5$ кг, і запареної картоплі, $m_2 = 3,5$ кг. Вологість початкових матеріалів відповідно $W_1 = 13,5\%$ і $W_2 = 80\%$. Вологість кормосуміші $W_c = 80\%$. Довжина трубопроводу $l=200$ м, висота підйому кормосуміші $H=5$ м.

Потрібно визначити діаметр трубопроводу і підібрати насос.

3. Приклад розв'язку завдання

1. Визначається маса води m_v , яку необхідно додати в початкові матеріали для отримання необхідної вологості кормосуміші по формулі

$$m_v = \sum_1^i m \frac{W_c - W_i}{1 - W_c}, \quad (1)$$

У даному прикладі

$$\begin{aligned} m_v &= m_1 \frac{W_c - W_1}{1 - W_c} + m_2 \frac{W_c - W_2}{1 - W_c} = \\ &= 2,5 \cdot \frac{0,8 - 0,135}{1 - 0,8} + 3,5 \cdot \frac{0,8 - 0,8}{1 - 0,8} = 8,3 \text{ кг.} \end{aligned}$$

2. Обчислюється маса кормо суміші на годівлю однієї тварини

$$q = m_1 + m_2 + m_v, \quad (2)$$

$$q = 2,5 + 3,5 + 8,3 = 14,3 \text{ кг.}$$

3. За довідковими даними знаходяться параметри, що характеризують фізичні властивості гідросуміші: щільність $Q = 1070$ кг/м³, питома вага $\gamma=10,3$ кН/м³, динамічний (структурний) і кінематичний коефіцієнти в'язкості

$\mu=0,8 \text{ Па} \cdot \text{с}$, $\nu = 7,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, напруга початкового зрушення $\tau_0 = 3,8 \text{ Па}$.

4. Визначається пропускна спроможність (витрата) гидротранспортной установки

$$Q = \frac{q \cdot k}{t \cdot n \cdot \rho}, \quad (3)$$

$$Q = \frac{14,3 \cdot 2500}{1 \cdot 2 \cdot 1070} = 17 \text{ м}^3/\text{ч} = 4,72 \text{ л/с}.$$

5. Намічається швидкість руху кормосуміші в трубопроводі, при якій відсутнє прилипання суміші до стінок, а втрати тиску по можливості мінімальні. З урахуванням сказаного прийmemo $\nu = 1 \text{ м/с} = 10 \text{ дм/с}$.

Далі за допомогою рівняння нерозривності обчислюється площа поперечного перетину трубопроводу і потім відповідний діаметр.

$$S = \frac{Q}{\nu}, \quad (4)$$

$$S = \frac{4,72}{10} = 0,472 \text{ дм}^2.$$

$$d = 0,775 \text{ дм} = 77,5 \text{ мм}.$$

Приймаемо найближче стандартне значення $d = 83 \text{ мм}$; $S = 0,541 \text{ дм}^2$.

6. Застосовуючи рівняння нерозривності, знаходимо фактичну швидкість руху кормосуміші в трубопроводі

$$\nu = \frac{Q}{S}, \quad (5)$$

$$\nu = \frac{4,72}{0,541} = 8,74 \text{ дм/с} = 0,874 \text{ м/с}.$$

7. Знаходиться число Рейнольдса

$$Re = \frac{\nu \cdot d}{\nu}, \quad (6)$$

$$Re = \frac{0,874 \cdot 0,083}{7,6 \cdot 10^{-4}} = 95,4.$$

обчислюється узагальнене число Рейнольдса по формулі

$$Re^* = \frac{Re}{1 + \frac{\tau_0 d}{6 \nu \mu}}, \quad (7)$$

$$Re^* = \frac{95,4}{1 + \frac{3,8 \cdot 0,083}{6 \cdot 0,874 \cdot 0,8}} = 88,7.$$

і визначається коефіцієнт гідравлічного тертя

$$\lambda = \frac{64}{Re^*}, \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{64}{88,7} = 0,72.$$

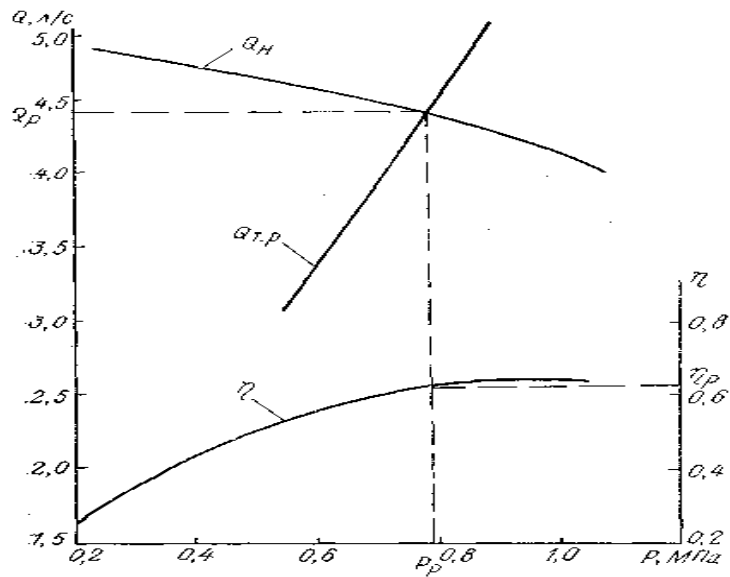


Рис 1. Робочі характеристики насоса 1В 20/10 при вологості кормосуміші $W_c = 80\%$.

8. Знаходяться втрати тиску в трубопроводі по формулі

$$\Delta p = 1,1 \cdot \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (9)$$

$$\Delta p = 1,1 \cdot 0,72 \cdot \frac{200}{0,083} \cdot \frac{1070 \cdot 0,874^2}{2} = 765000 = 765 \text{ кПа}.$$

9. Визначається потрібний тиск насосної установки

$$p_{г.у} = \gamma \cdot H + \Delta p, \quad (10)$$

$$p_{г.у} = 10,3 \cdot 5 + 765 = 817 \text{ кПа} \approx 0,82 \text{ МПа}.$$

Таким чином, розрахунковими параметрами, необхідними для підбору насоса є витрата $Q_p = 4,72 \text{ л/с}$; потрібний тиск $p_p = 0,82 \text{ МПа}$; вологість гідросуміші $\eta = 80\%$.

10. Вибираємо насос 1В20/10 і будуємо його робочі характеристики при вологості кормової суміші $W_c = 80\%$ (рис. 1).

Таблиця 1 - Параметри, що характеризують гідротранспортну установку

$Q, \text{ л/с}$	3	4	5	$Q_0 = 4,72 \text{ л/с}$
$P_{г.у.}, \text{ МПа}$	0,56	0,71	0,86	0,82

11. Будуємо характеристику гідротранспортної установки, повторивши пункти прикладу 7, 8, 9. Отримані розрахунки зводимо в таблицю 1.

12. По робочій точці насоса з параметрами

$$Q_A = 4,4 \text{ л/с} = 0,0044 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$p_A = 0,79 \text{ МПа} = 790 \text{ кПа},$$

$$\eta_A = 0,62.$$

визначаємо потужність, необхідну на привід насоса

$$N_A = \frac{Q_A \cdot p_A}{\eta_A},$$

$$N_A = \frac{0,0044 \cdot 790}{0,62} = 5,7 \text{ кВт}.$$

4. Самостійне завдання

Самостійно виконати гідравлічний розрахунок гідротранспортної установки згідно поставленого завдання за наступними варіантами – Таблиця 2, варіант вибирається по останній цифрі номера залікової книжки.

Таблиця 2- Вихідні дані для виконання завдання

№ п/п	Вихідні дані	Варіанти									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	K, шт	2500	2550	2600	2650	2700	2750	2800	2850	2900	3000
2	m ₁ , кг	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	2,55	3,55	4,55	1,5	1,55
3	m ₂ , кг	3,0	4,0	4,5	5,0	5,5	3,5	4,5	5,5	3,5	3,0
4	W ₁ , %	13,6	13,8	14,0	14,5	14,6	12,5	11,5	13,9	12,8	13,0
5	W ₂ , %	80	81	79	78	83	76	84	79	82	77
6	l, м	150	250	300	350	320	400	450	280	310	260
7	H, м	6	7	4	8	5	6	7	8	9	10