

**КОНСТРУЮВАННЯ НАСОСНИХ УСТАНОВОК З ЗАСТОСУВАННЯМ
ЕЖЕКЦІЙНИХ НАСОСІВ.**

5. ОСНОВИ НАПІРНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ ГІДРОСУМІШІ ТРУБАМИ

**CONSTRUCTING OF PUMPINGS OPTIONS IS WITH THE USE OF
EZHEKCIYNIKH OF PUMPS**

5. BASES OF PRESSURE TRANSPORTING OF SLURRY BY PIPES

У пропонованих статтях розглядаються принципи і методики конструювання і проектування гідроструминних насосів різного типу і призначення.

Ключові слова: гідравлічний транспорт, суміші, колоїди, напір, подача, робоче середовище, концентрація, всмоктування.

Principles and methods of constructing and planning of ejector pumps of different type and setting are examined in the offered articles.

Keywords: hydraulic transport, mixtures, colloids, pressure, serve, working environment, concentration, suction.

Напірним гідравлічним транспортуванням вважається процес перекачування трубами гідросуміші, утвореної робочим рідким середовищем (зазвичай водою) і подрібненими твердими нерозчинними матеріалами (відходи технологічних виробництв).

Гідравлічний транспорт широко використовують на зовнішніх і внутрішніх комунікаціях різних промислових підприємств, у тому числі і в харчовій промисловості. Основні задачі, які необхідно розв'язувати під час проектування гідротранспортних систем:

- вибір і розрахунок насосного (гідроелеваторного) обладнання для забору і транспортування гідросуміші;
- розрахунок трубопроводів, якими транспортується суміш (визначення втрат напору, вибір технологічно і економічно обґрунтованої швидкості, яка дозволяє запобігти випадання в осад твердих речовин);
- підбір найбільш доцільних для розрахункових умов концентрації твердої фази у гідросуміші.

До одного із видів насосного обладнання, яке використовується в системах напірного гідротранспортування, відносяться струминні насоси (гідроелеватори). Перед тим як навести основи розрахунку і гідравлічні характеристики струминних насосів, які застосовуються для гідро - транспортування, необхідно розглянути властивості гідросуміші, особливості перекачування трубами і всмоктування їх насосами.

Види гідросуміші. Головними признаками, які визначають вид гідросуміші, зазвичай використовують розмір частинок твердої фази, гранулометричний склад, концентрацію, а також густину твердої фази [1, 2].

Розмір частинок твердої фази визначає умови їх гідродинамічної взаємодії з потоком несучої рідини. За переважним вмістом певного класу частинок виділяють наступні види гідросуміші.

Колоїдні, містять частинки розміром до 1 мкм.

Структуровані (гідролізи), містять тверді частинки розміром від 1 до 50 мкм, отримані шляхом диспергування (для частинок структурованих рідин гідродинамічна взаємодія визначається в основному силами в'язкості – законом Стокса, і такі суміші нами не розглядаються).

Тонкодисперсні – з частинками розміром від 50 до 150 мкм, отримані частіше всього шляхом подрібнення (для тонкодисперсної гідросуміші – суспензії – взаємодія частинок з рідиною визначається залежністю гідравлічного опору від в'язкості рідини; цей опір тим більший, чим дрібніші частинки).

Грубодисперсні – з частинками розміром від 0,1...0,15 до 1,5...2,0 мм.

Неоднорідні грубодисперсні – з частинками розміром понад 1,5...2,0 мм (взаємодія потоку з частинками лежить в зоні квадратичних опорів).

Полідисперсні – з частинками різної крупності.

З позиції гідродинаміки структуровані гідросуміші при насиченні рідини твердими речовинами понад 35% внаслідок малого розміру частинок і великої їх концентрації основну роль у русі суміші відіграє тверда фаза. У той же час у різних гідросумішах при концентрації до 25...35% за об'ємом основна роль у переносі твердого компонента належить рідині. Процеси в них носять гідродинамічний характер, обумовлений швидкостями і тиском всередині рідини і на границях дотикання рідини з поверхнею трубопроводу.

Перекачування структурованих рідин за допомогою гідроструминних насосів у більшості випадків недоцільна, тому що значна в'язкість такої гідросуміші суттєво зменшує ККД струминних апаратів, тому у подальшому структуровані рідини нами не розглядаються.

Гранулометричний склад твердої фази гідросуміші можна наближено характеризувати середньоарифметичною (середньозваженою) крупністю частинок [1]:

$$d_{cp} = \frac{d_1 m_1 + d_2 m_2 + \dots + d_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} d_i m_i}{\sum_{i=1}^{i=n} m_i}, \quad (1)$$

де d_i – середня крупність частинок i -го інтервалу; m_i – масовий процентний вміст частинок i -го інтервалу.

Концентрація – одна із важливих характеристик гідросуміші. Необхідно відмітити, що гідросуміш існує тільки під час руху, тому можна розрізняти миттєву і середню концентрації твердих речовин у деякому виділеному об'ємі потоку гідросуміші.

Концентрація твердої фази гідросуміші визначається відношенням об'ємних чи масових витрат твердого матеріалу до витрати рідини (води) чи гідросуміші. Масову концентрацію гідросуміші s_m можна виразити у наступному вигляді [3]:

$$s_{m1} = \frac{m_m}{m_p} = \frac{\rho_m}{\rho_p} \frac{\rho_{z.c} - \rho_p}{\rho_m - \rho_{z.c}}; \quad (2)$$

$$s_{m2} = \frac{m_m}{m_m + m_p} = \frac{\rho_m}{\rho_{z.c}} \frac{\rho_{z.c} - \rho_p}{\rho_m - \rho_p}; \quad (3)$$

аналогічним чином визначається об'ємна концентрація гідросуміші s_V :

$$s_{V1} = \frac{V_m}{V_p} = \frac{\rho_{z.c} - \rho_p}{\rho_m - \rho_{z.c}}; \quad (4)$$

$$s_{V2} = \frac{V_m}{V_m + V_p} = \frac{\rho_{z.c} - \rho_p}{\rho_m - \rho_p}; \quad (5)$$

У цих рівняннях s_{m1} , s_{m2} – відношення маси сухої твердої речовини m_m в одиниці об'єму гідросуміші, яка проходить за одиницю часу через поперечний переріз трубопроводу, відповідно до маси рідини m_p у цьому ж об'ємі гідросуміші і до маси одиниці об'єму гідросуміші ($m_m + m_p$); s_{V1} , s_{V2} – відношення об'єму твердої речовини у щільному тілі (без пор) V_m , що знаходиться в об'ємі гідросуміші, яка протікає за одиницю часу через поперечний переріз трубопроводу, відповідно до об'єму рідини V_p у гідросуміші і до об'єму гідросуміші ($V_m + V_p$); $\rho_{z.c}$, ρ_p , ρ_m – відповідно густина гідросуміші, рідини і твердої речовини.

Під час розрахунку гідротранспортних систем, які працюють на воді ($\rho_p = \text{const}$), важливо знати залежність густини гідросуміші $\rho_{z.c}$ від масової s_m чи об'ємної s_V концентрації і від густини твердої складової ρ_m .

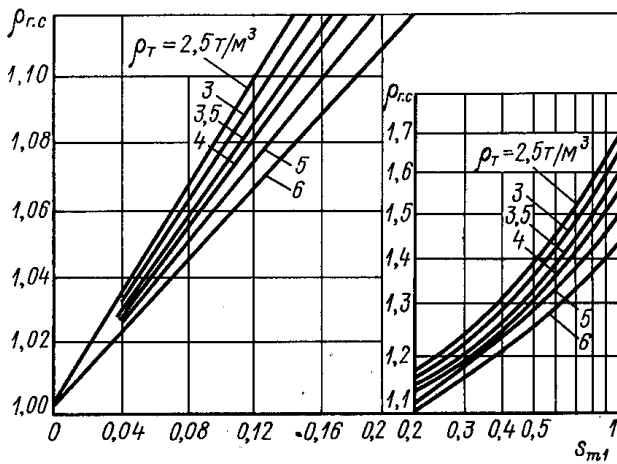


Рис.1. Залежність густини гідросуміші $\rho_{z.c}$ від масової концентрації s_{m1} і густини твердої фази ρ_m

На рис.1 наведена залежність густини гідросуміші $\rho_{z.c}$ від масової концентрації s_{m1} і густини твердої фази ρ_m , побудовані за формулою (2). Якщо задана об'ємна концентрація s_{V1} , то для визначення густини гідросуміші $\rho_{z.c}$ можна використати залежність s_{V1} від s_{m1} у відповідності з формулами (2) і (4), з яких можна отримати наступну залежність:

$$s_{m1} = \frac{\rho_m}{\rho_p} s_{V1}.$$

Розраховане значення s_{m1} , можна використати для визначення густини гідросуміші $\rho_{z.c}$ за графіком наведеним на рис.1.

Розрахунок параметрів руху гідросуміші. Режими руху. Для розрахунку гідротранспортних трубопровідних систем необхідно знати можливі швидкості руху гідросуміші трубами и мати можливість визначати гідравлічні опори під час перекачування різної гідросуміші з різними концентраціями і густинами. Основою для розрахунку руху гідросуміші трубою нині служать напівемпіричні і емпіричні залежності, отримані різними авторами [1, 2, 3].

Умови усталеного руху гідросуміші трубами можна характеризувати відмінністю чи відповідністю швидкості потоку v критичному значенню швидкості $v_{кр}$.

Поняття критичної швидкості гідросуміші $v_{кр}$ різне для горизонтальних і вертикальних трубопроводів. В горизонтальних трубопроводах під критичною розуміють таку мінімальну швидкість руху гідросуміші, за якої можливе в даних умовах транспортування твердих речовин повністю у зваженому стані без осідання їх на дно трубопроводу. У вертикальних трубопроводах за критичну приймають швидкість вільного падіння частинок твердої фази у нерухомій рідині. Ця швидкість залежить від гідравлічної крупності твердого матеріалу, до якої слід віднести розмір, форму і густину частинок твердої фази.

Закономірності руху гідросуміші в горизонтальних трубах [1, 2]. Для тонкодисперсної гідросуміші основним режимом транспортування є турбулентний режим її руху. На відмінність від руху однорідних малов'язких рідин (таких, як вода), на рух потоку тонкодисперсної гідросуміші впливає інерція твердих частинок. Але внаслідок малих розмірів твердих частинок у тонкодисперсній гідросуміші вони приймають участь у пульсаційних процесах. Виходячи з цього, гідросуміші можна представити у вигляді фіктивної однорідної рідини з густиною $\rho_{z.c}$, але у цьому випадку, на відмінність від істинної однорідної рідини, рух відбувається з додатковими витратами енергії, які приблизно пропорційні різниці густин гідросуміші $\rho_{z.c}$ і чистої рідини ρ_p , а також об'ємної концентрації твердих частинок s_{V2} [див. формулу (5)].

Розрахункова формула для визначення питомого гідравлічного опору під час руху тонкодисперсної гідросуміші має наступний вигляд [2]:

$$i_{z.c} = i_m \left(1 + c_0 \frac{\rho_m - \rho_p}{\rho_p} s_{V2} \right), \quad (6)$$

де $i_{z.c}$, i_p – питомі втрати напору для гідросуміші і для чистої рідини, виражені в метрах стовпа чистої рідини; c_0 – емпіричний коефіцієнт, який залежить від вмісту тонких фракцій у гідросуміші.

Для гідросуміші з вмістом твердих фракцій розмірами дрібніше 0,07 мм у кількості до 5...6% і для диспергованої гідросуміші при об'ємній концентрації s_{V2} менше критичної коефіцієнт c_0 можна приймати приблизно рівним одиниці (за даними роботи [1], він змінюється в межах 0,85...1,15). При цьому значення критичного (граничного) насичення потоку гідросуміші твердими частинками зв'язують з відношенням додаткових витрат енергії (у порівнянні з однорідною рідиною) на транспортування гідросуміші, викликаних впливом твердих частинок, до загальних витрат енергії. Із формули (6) можна отримати, що це відношення становить

$$\frac{i_p c_0 a s_{V2}}{i_p (1 + c_0 a s_{V2})} = c_0 a s_{V2} (1 + c_0 a s_{V2}), \text{ де } a = \frac{\rho_m - \rho_p}{\rho_p}.$$

Із розгляду отриманої формули видно, що додаткові витрати енергії для кожного виду гідросуміші є постійною величиною, вони не залежать від гідравлічних характеристик потоку, а визначаються фізико-механічними властивостями гідросуміші. Тому для тонкодисперсної гідросуміші поняття критичної швидкості, чи максимального насичення, у гідродинамічному змісті гублять своє значення. Для такої гідросуміші замість критичної швидкості вводять поняття граничної швидкості v_{gp} .

Під граничною швидкістю руху тонкодисперсної суміші в горизонтальних трубах розуміють ту мінімальну швидкість v_{gp} , нижче якої може виникати в'язкопластична течія гідросуміші чи відбувається відкладання пористого шару твердої фази на дні труби. Величина v_{gp} практично не залежить від концентрації твердої фази і визначається за формулою:

$$v_{gp} = k_1 \sqrt{agd_{mp}}, \quad (7)$$

де $k_1 = 1,0...1,5$ – коефіцієнт, який ураховує властивості і дисперсність твердих частинок; g – прискорення вільного падіння; d_{mp} – діаметр трубопроводу.

Таким чином, на відмінність від чистих рідин, для яких характерні як ламінарні (при малих швидкостях), так і турбулентні режими руху, тонко- дисперсні гідросуміші рухаються усталеним потоком тільки при швидкості вище v_{gp} . При швидкостях $v > v_{gp}$ у трубах рухається звичайний турбулентний потік, який може транспортувати гідросуміш при насиченні його твердими частинками до концентрації $s_{V2} = 0,2...0,25$.

При $v < v_{gp}$ відбувається зміна характеру руху гідросуміші і наближення його до структурованих потоків, для яких коефіцієнт c_0 збільшується в залежності від швидкості до значень 1,8...5,8. Аналіз виразів (6) і (7) показує, що питомі втрати напору $i_{z.c}$ при перекачуванні тонкодисперсної гідросуміші з об'ємною концентрацією $s_{V2} = 0,2...0,25$ при густині твердої фази $\rho_m = 2,6 \text{ т/м}^3$ збільшуються в порівнянні з питомими втратами напору для води в 1,3...1,5 рази. При цьому значення граничних швидкостей v_{gp} для труб діаметром 0,2...1,0 м лежить у межах 2,5...6,0 м/с.

При швидкості руху гідросуміші $v > 1,5v_{gp}$ питомі гідравлічні втрати напору можна наближено розраховувати по формулі

$$i_{z.c} = \frac{i_p \rho_{z.c}}{\rho_p}.$$

При таких швидкостях питомі втрати напору мають значну величину.

Варто зауважити, що рух гідросуміші в металевих трубах внаслідок абразивної дії твердих частинок приводить до шліфування стінок труб на протязі 100...200 год. роботи. Тому при розрахунку гідравлічних опорів можна використовувати формули для гідравлічно гладких труб. У більшості випадків розрахунки за цими формулами дають запас до 25%. Це пояснюється зменшенням шорсткості шліфованих гідросумішшю труб у порівнянні із шорсткістю нових труб, якою задаються під час розрахунків.

Для грубодисперсної гідросуміші. Під час руху грубодисперсної гідросуміші частинки твердої фази вносять у потік структурні зміни. Частинки твердої фази з причини значної інерційності дроблять вихрові маси і зменшують інтенсивність турбулентності, але разом з цим вони самі збуджують вихорі внаслідок дотикання до нижньої стінки труби з наступним рухом викликаним втягуванням потоку рідини. У такому потоці частина енергії тратиться на

підтримування поступального руху твердих частинок. Для грубодисперсної гідросуміші характерна суттєва відмінність кривих $i_{z.c} = f(v)$ від аналогічних кривих для чистих рідин (води). На рис.2 схематично показана залежність питомих втрат напору $i_{z.c}$ від швидкості руху грубодисперсної гідросуміші в горизонтальних трубах (криві 2...4) [3]. Для порівняння там же нанесена залежність питомих втрат напору i_p від швидкості v для чистої рідини без твердих домішок (крива 1). Криві 1...4 побудовано у припущенні, що густини знаходяться у такій залежності $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$.

Області критичних швидкостей (рис.2,а) відповідають мінімальні питомі втрати напору $i_{z.c}$. Із фізичних уявлень виходить, що чим більша густина гідросуміші $\rho_{z.c}$, тим вищим повинно бути значення критичної швидкості, яка перешкоджає випадінню твердих частинок в осад. З цієї причини із збільшенням $\rho_{z.c}$ мінімум втрат напору $i_{z.c}$ на кривих 2...4 зміщується праворуч (у бік більших значень швидкості). Ділянки $a_i b_i$ на кривих $i_{z.c} = f(v)$ відповідають області докритичних режимів з частковим відкладенням осаду в трубах; на ділянках кривих від точки b_i до точки c_i за рахунок вирівнювання розподілу твердих частинок у поперечному перерізі потоку криві 2...4 наближаються до кривої 1 для чистої рідини. Але праворуч від точки c_i криві 2...4 для гідросуміші починають знову відходити від кривої для чистої рідини.

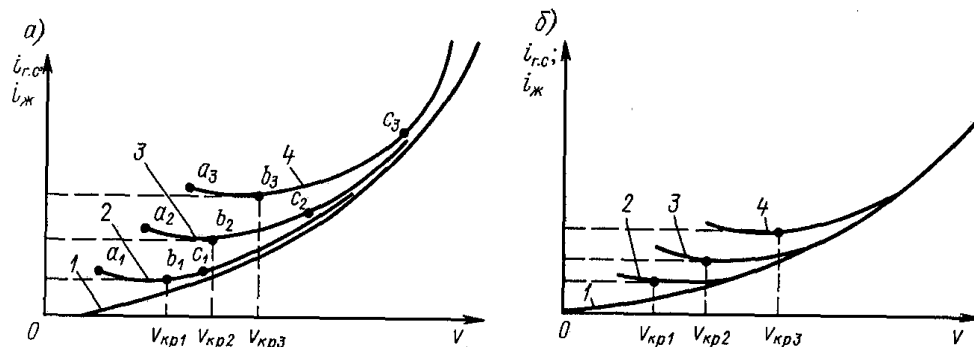


Рис.2. Характер залежності питомих втрат напору $i_{z.c}$ від швидкості v під час руху в горизонтальних трубах чистої рідини (криві 1) і гідросуміші (криві 2, 3, 4): а – втрати напору виражені в метрах стовпа чистої рідини; б – втрати напору виражені в метрах стовпа гідросуміші

При перекачуванні грубодисперсних матеріалів питомі втрати напору при інших рівних умовах менші, ніж при перекачуванні тонкодисперсної гідросуміші. Зі збільшенням швидкості ця різниця збільшується. При зменшенні швидкості нижче критичної питомі втрати напору збільшуються внаслідок збільшення кількості твердих частинок, які переносяться потоком по нижній поверхні труби. Якщо $v \approx 0,9v_{kp}$, режим руху гідросуміші стає нестійким, виникають застійні зони відкладення осаду. Виміряні для цього випадку питомі втрати напору дають велике розходження в показниках.

Питомі втрати напору при перекачуванні грубодисперсної гідросуміші рекомендується визначати за формулою:

$$i_{z.c} = i_p + c_1 a s v^2 \frac{\theta}{D} \sqrt{d_{cp}}; \quad (8)$$

при цьому критичну швидкість v_{kp} визначають за допомогою залежності:

$$v_{kp} = (6,5 \dots 7,5) \sqrt{d_{mp}} \sqrt[3]{a s v^2 \frac{\theta}{\sqrt{d_{cp}}}}. \quad (9)$$

У цих залежностях θ – гідравлічна крупність частинок з середнім розміром d_{cp} (таблиці 1, 2); c_1 – емпіричний коефіцієнт, який вибирається в залежності від діаметра труби d_{mp} :

Таблиця 1

| Середній розмір твердих включень | | | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| d_{mp} мм | 25... | 63... | 105... | 150... | 300... |
| | 50 | 100 | 125 | 300 | 900 |
| c_1 | 3,0... | 2,5... | 1,5... | 0,4 | 0,3 |
| | 2,5 | 1,6 | 0,6 | | |

При розрахунках за формулами (8) і (9) значення d_{mp} і d_{cp} необхідно брати у м, θ – у м/с, тоді величина v_{kp} буде отримана також у м/с.

Основний вплив твердих частинок на рух неоднорідної грубодисперсної гідросуміші (розміри частинок більше 1,5...2,0 мм) проявляються в суттєвій зміні тертя біля нижньої стінки труби. Тверді частинки рухаються за рахунок ковзання чи кочення по стінці з короткочасним знаходженням у зваженому стані в товщині потоку. Тверді частинки поблизу дна створюють немовби рухому шорсткість. При цьому кострубаті не обкатані частинки створюють більший опір. На графіках, які відтворюють залежність питомих втрат напору $i_{z.c}$ від швидкості руху гідросуміші, криві для неоднорідної гідросуміші розташовуються значно вище, ніж для води. На відмінність від кривих для інших видів гідросуміші, ці криві в діапазоні зміни швидкості $v = (1...2)v_{kp}$ проходять приблизно еквідистантно до кривої для води (у той час аналогічні криві для тонкодисперсної суміші у цьому діапазоні швидкостей відходять, а для грубодисперсної суміші наближаються до кривої для води).

Область критичних швидкостей для неоднорідної грубодисперсної гідросуміші має дуже вузький діапазон. Рух зі швидкостями, які знаходяться біля цього діапазону, нестійкий. Зменшення швидкості призводить до різкого збільшення опору і закупорці трубопроводу. Це пояснюється тим, що розподіл концентрації частинок за висотою дуже нерівномірний. Більша частина твердих речовин при швидкості $v = (1...2)v_{kp}$ рухається в нижній третині перерізу труби. При цьому розподіл твердих частинок по висоті потоку незначно залежить від швидкостей гідросуміші, які відповідають практично доцільному діапазону їх зміни.

Таблиця 2.

Гідравлічна крупність (швидкість осідання) θ частинок з розміром $d_{cp} = 0,1...30$ мм при густині твердої фази $\rho_m = 2,65$ т/м³ і температурі 15 °С

| d_{cp} , мм | θ , см/с | d_{cp} , мм | θ , см/с | d_{cp} , мм | θ , см/с | d_{cp} , мм | θ , см/с |
|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 0,10 | 0,59 | 0,50 | 5,24 | 1,5 | 16,44 | 6,0 | 32,90 |
| 0,12 | 0,85 | 0,60 | 6,37 | 1,75 | 17,80 | 7,0 | 35,50 |
| 0,14 | 1,33 | 0,70 | 7,48 | 2,0 | 19,00 | 8,0 | 38,00 |
| 0,15 | 1,52 | 0,80 | 8,60 | 2,5 | 21,25 | 9,0 | 40,30 |
| 0,20 | 1,90 | 0,90 | 9,74 | 3,0 | 23,25 | 10,0 | 42,50 |
| 0,30 | 3,00 | 1,0 | 10,84 | 4,0 | 26,85 | 20,0 | 60,20 |
| 0,40 | 4,12 | 1,2 | 13,08 | 5,0 | 30,00 | 30,0 | 73,60 |

Примітка. Гідравлічну крупність твердих частинок θ' при густині твердої фази $\rho_m > 2,65$ т/м³ можна визначати за формулою $\theta' = \theta(\rho_m - 1) / 1,65$.

Формула для визначення питомих втрат напору під час руху неоднорідної грубодисперсної гідросуміші за даними [2] має вигляд

$$i_{z.c} = i_p + c_2 a s_{V2}, \quad (10)$$

де c_2 – емпіричний коефіцієнт, який рекомендується брати рівним: 0,70...0,56 – для свіжих подрібнених скельних порід; 0,55...0,46 – для подрібнених гірних порід середньої міцності; 0,45...0,36 – для обкатаних твердих частинок типу гравію і м'яких подрібнених гірних порід; 0,35...0,20 – для сланцю і міцного вугілля; 0,20...0,10 – для м'якого вугілля і антрацитів.

Критичну швидкість руху гідросуміші можна розраховувати за формулою:

$$v_{kp} = (7...9) \sqrt{c_2 a g s_{V2} d_{mp}}. \quad (11)$$

Із формул (10) і (11) слідує, що $i_{z.c}$ і v_{kp} не залежать у даному випадку від розміру твердих частинок. Цей факт перевірено дослідним шляхом для частинок крупністю від 2 до 50...60 мм і навіть до 120 мм [2].

У деяких наукових роботах [4] робиться припущення, що для області швидкостей більших за критичну гідросуміші можна вважати однорідною рідиною з більшою, ніж у чистої рідини, густиною. Тому втрати напору для гідросуміші $i_{z.c}$ можна виразити через втрати напору для чистої рідини i_p у наступному вигляді:

$$i_{z.c} = \frac{i_p \rho_{z.c}}{\rho_p}. \quad (12)$$

Якщо виміряти питомі втрати напору для гідросуміші $i_{z.c}$ в метрах стовпа гідросуміші (більш важкої, ніж робоча рідина), то криві 2...4 змістяться вниз (за рахунок того, що

ордината $i_{2,c}$ ділиться на відповідне значення густини гідросуміші) і в області швидкостей більших за критичну співпадуть з кривою 1 для чистої рідини (див. рис.2,б). Для області $v > v_{кр}$ можна записати:

$$i_p = \frac{i_{2,c} \rho_p}{\rho_{2,c}}. \quad (13)$$

Таким чином, для кожної концентрації твердої речовини у гідросуміші, яка характеризується у даному випадку відповідною густиною, існує певне значення критичної швидкості $v_{кр}$, вище якої питомі втрати напору для гідросуміші, виражені в одиницях висоти стовпа транспортованої гідросуміші, чисельно дорівнюють втратам напору для чистої робочої рідини, вираженій в одиницях висоти стовпа цієї рідини. (Існує подібна залежність при перекачуванні води з кристалами льоду [5]).

Величина $v_{кр}$ збільшується зі збільшенням концентрації твердої фази у гідросуміші (густини гідросуміші), але швидкість робочої рідини, яка міститься у гідросуміші, віднесена до площі поперечного перерізу труби, незалежно від вмісту твердої фази залишається постійною [4].

Отже, для неоднорідної грубодисперсної гідросуміші під час її руху в горизонтальних трубопроводах зі швидкостями більшими за критичну питомі втрати напору $i_{2,c}$ приблизно можна визначити так само, як для чистої рідини, але виражати в метрах стовпа гідросуміші з густиною, що відповідає заданій концентрації твердої фази.

Під час руху горизонтальними трубопроводами полідисперсної (різнофракційної) гідросуміші режими руху залежать від кількісного складу окремих класів твердих речовин (клас твердих речовин визначається їх крупністю). Для $s_{12} \geq 0,1$ виявлено, що коли вміст певного класу твердих частинок у тонкодисперсній, грубодисперсній чи неоднорідній грубодисперсній гідросуміші перевищує 50...60%, то характер руху суміші визначається даним класом домішок. При цьому вміст у тонкодисперсній гідросуміші більш крупних частинок в кількості 10...15% мало впливає на величину гідравлічних опорів і критичні швидкості. Але якщо в гідросуміші з крупними частинками міститься більше 20% частинок тонкодисперсних речовин, то це суттєво впливає на гідравлічні опори.

Варто особливо відмітити, що для кількісної оцінки параметрів руху такої гідросуміші можна застосовувати принцип накладання (підсумовування) гідравлічних опорів, характерних для окремих компонентів, які входять до полідисперсної суміші.

У [4] розглянуто питання визначення оптимального значення об'ємної концентрації твердої фази s_V для створення економічно доцільних режимів експлуатації гідросистем при перекачуванні гідросуміші горизонтальними трубопроводами. Збільшення s_V відіграє подвійну роль: з одного боку, при збільшенні s_V зменшується об'єм перекачуваної гідросуміші, але, з іншого боку, зі збільшенням s_V збільшується значення критичної швидкості $v_{кр}$, і як наслідок, збільшуються витрати енергії на перекачування гідросуміші. Оптимальна концентрація гідросуміші отримується шляхом дослідження функції питомих витрат на перекачування гідросуміші на мінімум. У середньому мінімум питомих витрат відповідає об'ємній концентрації гідросуміші $s_{12} = 0,26$. Більше згущення гідросуміші, за даними [4], вважається недоцільним, у тому рахунку і з міркувань, що збільшується імовірність засмічення трубопроводів.

Закономірності руху гідросуміші у вертикальних і похилих трубах. У випадку руху різної гідросуміші вертикальними і похилими висхідними трубами основним режимом руху для всієї гами гідросуміші, за винятком структурованої, є турбулентний режим [2]. Так само як і для горизонтальних потоків, існує зона критичних швидкостей. Значення критичних швидкостей збільшується із збільшенням концентрації, густини і крупності твердих частинок. При швидкостях $v > v_{кр}$ для всіх видів гідросуміші залежність питомих витрат від швидкості руху гідросуміші має вигляд, аналогічний залежності для тонкодисперсної гідросуміші. На критичну швидкість висхідних потоків основний вплив чинить гідравлічна крупність частинок.

Для висхідних потоків критичну швидкість, за якої втрати напору будуть мінімальними, можна визначити за формулою:

$$v_{кр} = \theta + 3\sqrt{as_{V2}gd_{mp}}. \quad (14)$$

У цьому випадку питомі втрати напору становитимуть:

$$i_{z.c} = i_p (1 + as_{V2}). \quad (15)$$

Під час проектування гідротранспортних систем рекомендується з урахуванням забезпечення стійкості гідравлічних режимів приймати наступні значення швидкостей руху гідросуміші: для тонкодисперсних – $v = (1,05 \dots 1,1)v_{кр}$; для грубодисперсних – $v = (1,1 \dots 1,15)v_{кр}$; для полідисперсних – $v = (1,15 \dots 1,20)v_{кр}$.

Режими руху в похилих трубопроводах вибирають, виходячи з кута підйому. При кутах підйому до 45° розрахунок виконують так само, як для горизонтальних трубопроводів, а при кутах підйому більших $45 \dots 75^\circ$ – як для вертикальних. Для запобігання засмічування труб необхідно виконувати наступне відношення між діаметром трубопроводу d_{mp} і максимальним розміром твердих частинок d_{max} :

$$\frac{d_{mp}}{d_{max}} \geq (2,5 \dots 3,0).$$

Особливості всмоктування гідросуміші. Гідросуміші в систему можна подати різними способами. Якщо насосний агрегат чи гідроелеватор (струминний насос) розташований нижче бункера (приймальної посудини) гідросистеми, то його приймальний патрубок зазвичай приєднують до отвору в конусному дні бункера. У цьому випадку гідросуміш потрапляє в насос під дією власної маси. Процес всмоктування як такий відсутній. Відмічається [6], що виходячи з умов економічності транспортування, наприклад, кускового вугілля трубами можна перекачувати гідросуміші з об'ємною концентрацією $s_{V1} = V_m/V_p = 0,5 \dots 0,3$, а по умовах забору гідросуміші із бункерів при такій концентрації відбувається засмічування приймальних отворів гідроелеватора (насоса) в умовах завалу їх твердими частинками, якщо не прийняти спеціальних заходів по дозуванню твердих речовин за допомогою шнеків чи інших пристроїв, які ускладнюють роботу установки.

Якщо під час роботи забірний посуд знаходиться нижче гідроструминного насоса, то необхідно забезпечити подачу твердої речовини до місця забору гідросуміші. При заборі гідросуміші із підводних забоїв приймач (сосун) приходиться зміщувати по горизонталі і по вертикалі по мірі забору ґрунту. Гідродинамічний процес всмоктування твердих частинок безперервним потоком включає фазу затягування окремих частинок, якщо в області всмоктувального отвору швидкості будуть більші гідравлічної крупності частинок, і фазу масового руху твердих частинок з утворенням воронки всмоктування, якщо швидкість руху рідини перевищує гідравлічну крупність у три – п'ять разів. Але по умовах всмоктування не вдається забезпечити стійку об'ємну концентрацію s_{V1} вище $0,2 \dots 0,1$.

При підборі і розрахунку насосів, призначених для забору гідросуміші із підводних забоїв, необхідно пам'ятати, що гідросуміш має більшу густину, ніж чиста робоча рідина. Виходячи з цього і умови запобігання кавітації розрахунок гранично допустимої висоти всмоктування насосів необхідно вести з урахуванням фактичної густини гідросуміші. Можна рекомендувати наступне рівняння для визначення гранично допустимої геометричної висоти всмоктування відцентрових насосів:

$$H_{вс}^{дон} = \frac{p_a - p_{н.п}}{\rho_p g} - \sum h \frac{\rho_{z.c}}{\rho_p} - \frac{v_{вс}^2}{2g} \frac{\rho_{z.c}}{\rho_p} - H_{зан} \left(\frac{\rho_{z.c}}{\rho_p} - 1 \right), \quad (16)$$

де p_a , $p_{н.п}$ – відповідно атмосферний тиск і тиск насиченої пари робочої рідини; $\sum h$ – сума місцевих і лінійних втрат напору у всмоктувальному трубопроводі; $v_{вс}$ – швидкість рідини у всмоктувальному трубопроводі; $H_{зан}$ – глибина занурення всмоктувального отвору під шар рідини.

Усі члени правої частини цього рівняння, крім останнього $H_{зан} (\rho_{z.c}/\rho_p - 1)$, знаходяться у відповідних рівняннях для перекачування чистої рідини (без множників $\rho_{z.c}/\rho_p$). Введення останнього члена в рівняння обумовлено різницею густин гідросуміші у всмоктувальній трубі $\rho_{z.c}$ і чистої робочої рідини ρ_p , яка знаходиться навколо труби. З цього рівняння видно, що чим більша глибина занурення всмоктувального отвору і чим більша

концентрація гідросуміші (чим більше $\rho_{г.с}$), тим меншою буде допустима висота всмоктування.

Проілюструємо сказане з допомогою рис.3. По осі ординат відкладено напір H , який відповідає атмосферному тиску. Похилими кривими подана залежність $H_1 = H_{зан}(\rho_{г.с}/\rho_p - 1)$, яка показує зменшення висоти всмоктування за рахунок занурення отвору під шар рідини. Розрахунки виконані для гідросуміші води з піском ($\rho_m = 2,65 \text{ т/м}^3$). Віднімаючи з величини напору, який відповідає атмосферному тиску ($H = 10 \text{ м}$), величину напору, що відповідає тиску насиченої пари води ($H_{н.п}$), а також необхідний кавітаційний запас Δh , отримаємо пряму A , на перетині з якою кривих H_1 можна відшукати робочу точку B всмоктувального трубопроводу при роботі в умовах, які відповідають глибини занурення $H_{зан}$ і об'ємній концентрації s_{V1} . При цьому допустимий напір всмоктування $H_{ес}^{дон}$ включає в себе, у відповідності з рівнянням (16) наступні складові: $H_{ес}^{дон}$ – геометричну висоту всмоктування;

$\Sigma h_{р.с}/\rho_p$ – суму втрат напору у всмоктувальному трубопроводі; $\frac{v_{ан}^2}{2g} \frac{\rho_{ан}}{\rho_д}$ – швидкісний напір.

Наявність множників $\rho_{г.с}/\rho_p$ обумовлено необхідністю переведу напору, який виражений в метрах стовпа гідросуміші, в метри водяного стовпа.

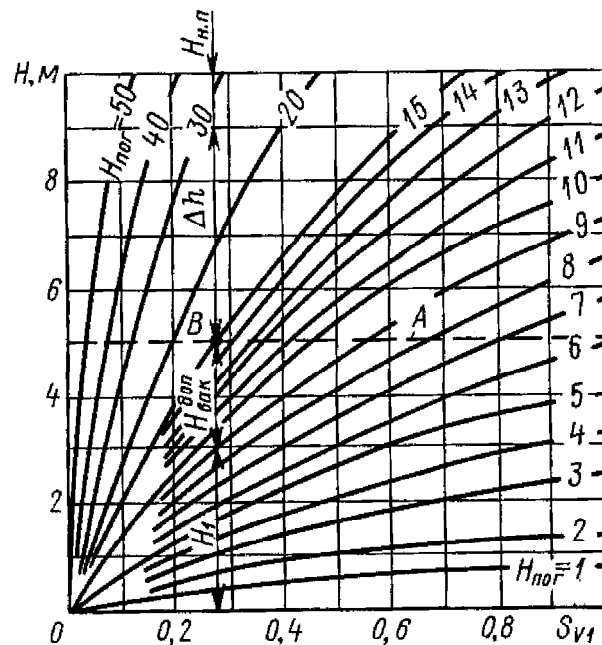


Рис.3. Визначення допустимої висоти всмоктування насосів в залежності від глибини занурення всмоктувального отвору під шар рідини ($H_{ног} = H_{зан}$), м, кавітаційного запасу Δh , м і напору $H_{н.п}$, який відповідає тиску насиченої пари, при роботі на гідросуміші з об'ємною концентрацією s_{V1}

Література

1. Джаршейшвили А.Г. Гидротранспортные системы горнообогатительных комбинатов. М.: Недра, 1973.– 352 с.
2. Лобанов Д.П., Смолдырев А.Е. Гидромеханизация геологоразведочных и горных работ: Учебн. пособие для вузов. М.: Недра, 1982.– 432 с.
3. Юфин А.П. Гидромеханизация: Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1965.– 466 с.
4. Колчаян Т.Г. Исследование некоторых вопросов гидротранспорта мелкодисперсных материалов: Автореф. ... канд. техн. наук. Ереван: Ереван. политехн. ин-т, 1973.– 22 с.
5. Жидких В.М., Попов Ю.А. Ледовый режим трубопроводов. Л.: Энергия, 1979.– 132 с.
6. Щербина Г.С. Исследование и совершенствование гидроэлеваторов для гидротранспорта сыпучих материалов. М.: Ин-т горного дела, 1979.– 24 с.