

**Чальцев М. М., канд. тех. наук, проф.**

## **ПРО АНАЛОГІЮ ДЕЯКИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ГІДРОМЕХАНІКИ ПНЕВМО- І ГІДРОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

*Проведен сравнительный анализ известных экспериментальных характеристик гидродинамических процессов пневмо- и гидротранспортных потоков. Сделан вывод о их аналогии, а также о возможности выработки общего подхода к определению основных параметров транспортирования с учетом особенностей каждого вида потока.*

Гідравлічний розрахунок систем пневмо- і гідротранспорту сипучих матеріалів характеризується високим ступенем складності. Ця складність виходить з того, що приходиться мати справу з гетерогенними сумішами двох фаз, одна з яких являє собою дискретний набір різного роду включень у виді твердих часток, а інша – творить безперервне рідке чи газоподібне середовище, що оточує дані включення. Така суміш у горизонтальній трубі рухається нерівномірно в часі і просторі, взаємодія компонентів двофазного потоку не підкоряється відомим законам механіки суцільного середовища.

У світовій практиці ще не розроблені досить надійні моделі і методи гідравлічного розрахунку двофазних потоків. Найкращі методики носять чисто емпіричний характер, тому області їхнього застосування обмежені умовами експерименту, а часто і неприпустимо низькою точністю.

Одним із загальних недоліків існуючих методів розрахунку є те, що вони не враховують зв'язки гідравлічного опору з кінематичною структурою потоку. Визначення поперечного профілю осереднених швидкостей і напруг у напрямку потоку є необхідною умовою підвищення точності гідравлічних розрахунків.

У моделюванні двофазних потоків в останні роки були досягнуті визначені успіхи, засновані на результатах попередніх експериментальних досліджень. Насамперед це відноситься до гідротранспорту [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

У монографії [2], наприклад рух гідросуміші розглядається з позиції фундаментальних положень статистичної гідромеханіки й експериментальних даних про кінематичну структуру, турбулентні характеристики, осереднених параметрах потоку. Отримані розрахункові залежності для визначення осереднених швидкостей і концентрації потоку, питомих гідравлічних опорів і критичної швидкості були апробовані на великому експериментальному матеріалі, характеризуються досить високим ступенем точності і застосовуються в практиці проектування гідротранспортних систем. У вітчизняній і закордонній науковій літературі відомі й інші подібні публікації, що свідчать про успіхи в розробці теорії гідротранспортування.

В області пневмотранспорту таких революційних розробок не відзначено. Природно виникає питання про можливість узагальнення досягнень в області розрахунків пульпопроводів для систем пневмотранспорту.

З погляду гідродинаміки особливості гідро- і пневмотранспорту обумовлені, в основному, різними фізичними властивостями несучого середовища, насамперед його густиною, в'язкістю і стисливістю рідини в порівнянні з газом (повітрям). Густина і в'язкість несучого середовища визначають оптимальні швидкості руху, стисливість викликає появу пульсацій швидкості, тиску і концентрації суміші.

Незважаючи на такого роду розходження, гідро- і пневмотранспорт володіють і рядом істотних аналогій. Зокрема, для обох типів потоків характерна асиметрія розподілу концентрації, дрібності частинок і швидкості суміші в поперечному перерізі трубопроводу. Характер цих залежностей для гідро- і пневмотранспорту практично ідентичний, що наочно ілюструє рисунок 1.

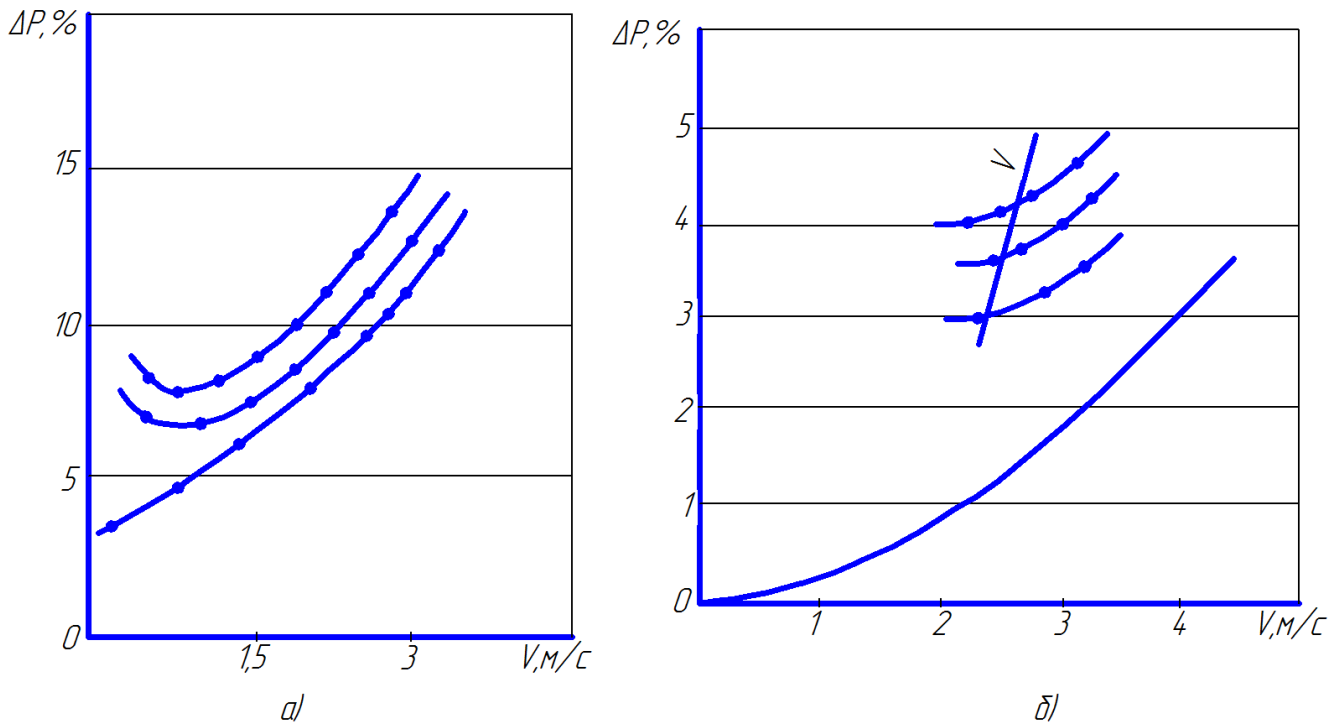


Рисунок 1 – Залежність гідравлічного опору від швидкості при пневмо- і гідротранспорті:

а) пневмотранспорт азбесту класу 1 – 2 мм;  $D = 0,32$  м;  $Q_s = 0; 0,17; 0,34$  кг/с;

б) гідротранспорт вугілля класу 0 – 70 мм;  $D = 0,307$  м;  $m = 0; 0,1; 0,2; 0,28$

Характерну подібність мають і залежності гідравлічних опорів і критичних швидкостей. На рисунку 2 як приклад приведено загальний вид залежності гідравлічних опорів при гідро- і пневмотранспорті.

Як видно з рисунків 1 і 2 кінематика і динаміка потоків гідро- і газових сумішей практично ідентична. З огляду на якісну аналогію динаміки і кінематики цих двох різновидів потоків можна припустити, що підхід до визначення основних параметрів транспортування буде загальним.

Це припущення було перевірено на прикладі розрахунку критичної швидкості завислої суміші на підставі рівнянь, виведених для умов гідравлічного транспорту. Зокрема, у роботі [2] пропонується наступне вираження:

$$\frac{\rho_{кр}^o}{\rho_g} \cdot \frac{\lambda_{кр}}{(1 - a_{кр}) \cdot w} \cdot \frac{v_{кр}^2}{2gD} = \frac{k(\Delta_S - 1)2S_g h_{кр}}{(1 + a_{кр})}, \quad (1)$$

де  $a_{кр}$ ,  $w_{кр}$ ,  $\rho_{кр}^o$  – параметри, що характеризують осьову асиметрію швидкісного поля в критичному режимі;

$\lambda_{кр}$  – коефіцієнт гідравлічного опору у режимі критичних швидкостей;

$k$  – коефіцієнт сухого тертя ковзання твердого матеріалу;

$S_g$  – гранично можлива концентрація завислої суміші;

$h_{кр}$  – відносна товщина шару замулення.

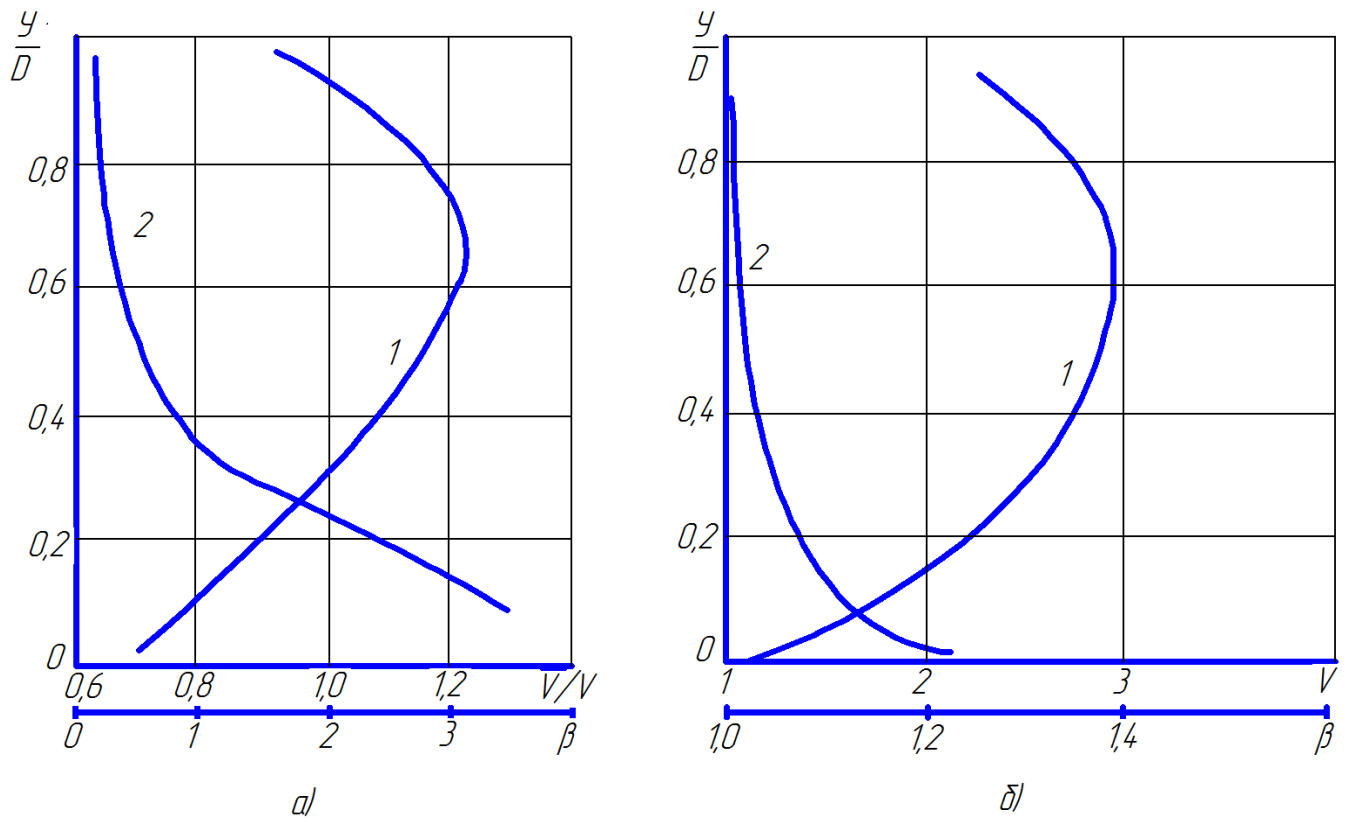


Рисунок 2 – Розподіл швидкості (1) і густини (2) по вертикальному діаметру трубопроводу при пневмо- і гідротранспорті:

а) пневмотранспорт пшениці  $D = 0,061$  м;  $V = 26$  м/с;  $Q_S = 0,59$  кг/с;

б) гідротранспорт вугілля  $D = 0,206$  м;  $V = 2,44$  м/с;  $S = 0,08$

Рівняння (1) описує критичний режим транспортування і може бути вирішено, якщо відомі величини  $k$ ,  $h_{kp}$  і  $S_g$ . Ці величини можуть бути отримані з наявних літературних зведень про результати експериментальних досліджень потоків завислої суміші. Конкретно в даному досвіді як дисперсний матеріал було обране дрібнозернисте вугілля з  $\rho_s = 1500$  кг/м<sup>3</sup> і  $d_s = 0,85 \cdot 10^{-4}$  м.

Приклади перевірки пропонованих аналогій, виконані по різних методах, представлені на рис. За для гідротранспорту і 3б для пневмотранспорту вугілля.

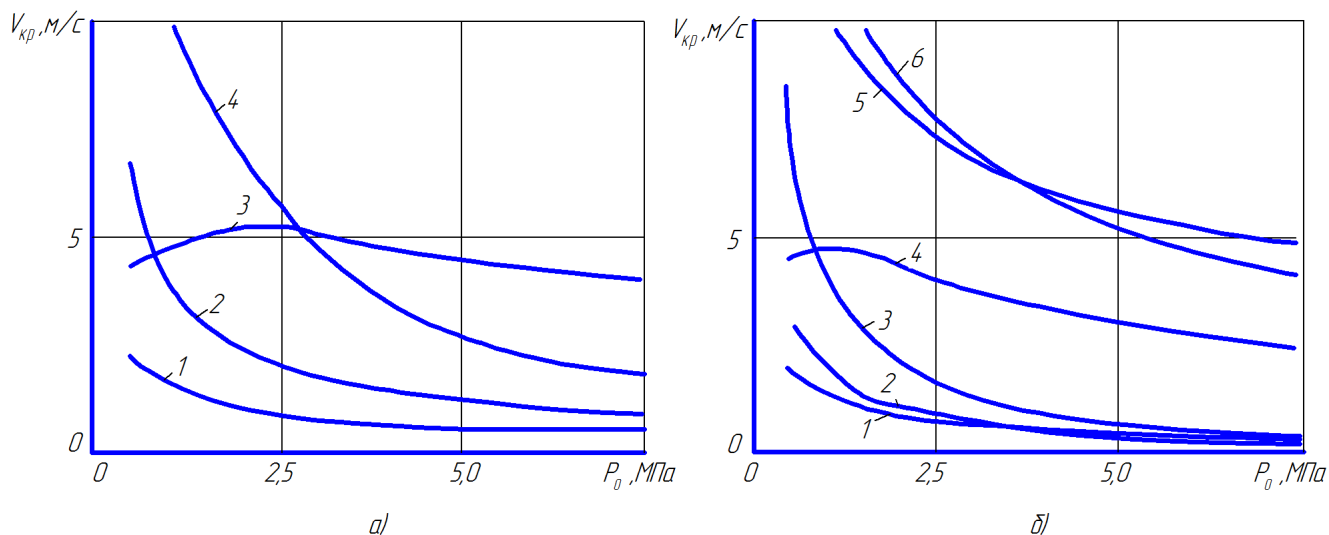


Рисунок 3 – Залежність критичної швидкості гідро- (а) і пневмотранспортування (б) відпочаткового робочого тиску:

а) 1 – розрахунок згідно [4]; 2 – згідно [7]; 3 – по формулі (1); 4 – згідно [6];

б) 1 – розрахунок згідно [4]; 2 – згідно [7]; 3 – по формулі (1); 5 – згідно [5]; 6 – згідно [1]

Порівняння результатів проведеної перевірки свідчить про правомочність використання передових методик розрахунку деяких параметрів гідротранспортних систем для умов пневматичного транспорту з урахуванням специфіки несучого середовища.

### Література

1. Гансюрген Р. Определение потери напора и критической скорости при течении гетерогенных систем по трубопроводам на основе модели скольжения / Р. Гансюрген // Реология, процессы и аппараты химической технологии. – Волгоград, 1980. – С. 39–45.

Gansyurgen R. Opredeleniye poteri napora I kriticheskoy skorosti pri techenii geterogennykh system po truboprovodam na osnove modeli skolzheniya / R. Gansyurgen // Reologiya, protsessy I apparaty khimicheskoy tekhnologii. – Volgograd, 1980. – S. 39–45.

2. Криль С. И. Напорные взвесенесущие потоки / С. И. Криль. – К.: Наукова думка, 1990. – 160 с.

Kril S. I. Napornyye vzvesenesushchiye potoki / S. I. Kril. – K.: NaukovaDumka, 1990. – 160 s.

3. Криль С. И. Распределение концентрации твердых частиц по глубине высококонцентрированного взвесенесущего потока / С. И. Криль, В. П. Берман // Гидромеханика. – К.: Наук.думка, 1977. – № 34. – С. 66–72.

Kril S. I. Raspredeleniye kontsentratsii tverdykh chastits po glubine vysokokontsentririvannogo vzvesenesushchego potoka / S. I. Kril, V. P. Berman // Gidromekhanika. – K.: Naukovadumka, 1977. – № 34. – S. 66–72.

4. Сакс С. Е. Определение критической скорости взвесенесущего потока / С. Е. Сакс // Инженерно-физический журнал, т. XVIII. – 1970. – № 5. – С. 832–837.

Saks S. E. Opredeleniye kriticheskoy skorosti vzvesenesushchego potoka / S. E. Sakas // Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal. – 1970. – № 5. – T. XVIII. – S. 832–837.

5. Силин Н. А. Гидротранспорт, вопросы гидравлики / Н. А. Силин, Ю. К. Витошкин, В. М. Карасик, В. Ф. Очеретько. – К.: Наукова думка, 1971. – 160 с.

Silin N.A. Hidrotransport, voprosy gidravliki / N. A. Silin, Yu. K. Vitoshkin, V. M. Karasik, V. F. Ocheretko. – K.: Naukova Dumka, 1971. – 160 s.

6. Смолдырев А. Е. Гидро- и пневмотранспорт / А. Е. Смолдырев. – М.: Металлургия, 1975.

Smoldyrev A. E. Hidro- i pnevmotransport / A. E. Smoldurev. – M.: Metallurgiya, 1975.

7. Соловьев М. И. К вопросу взвешивания и транспортирования зернистого материала в горизонтальном трубопроводе / М. И. Соловьев. – С. 62–66.

Solovyev M. I. K voprosu vzveshyvaniya I transportirovaniya zernistogo materiala v gorizontalmom truboprovode / M. I. Solovyev. – S. 62–66.