



УДК 622.34-17:621.796.004.5

Семененко Е.В., д.т.н., с.н.с., Медведєва О.А., к.т.н., с.н.с.

Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України,
г. Дніпропетровськ, Україна

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА ПРИ ДОБЫЧЕ ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ ИЗ ХРАНИЛИЩ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ

Напорный гидротранспорт традиционно используется для складирования отходов переработки минерального сырья. Для большей части ГОКов Украины хранилища отходов обогащения (ХО) достигают в высоту более 20 м. Эти ХО являются техногенными месторождениями, в которых сосредоточены запасы минерального сырья, оставшегося от переработки первичных россыпей. В современных условиях разработка таких техногенных месторождений становится экономически выгодной. Очевидно, что трубопроводный транспорт рассматривается как наиболее перспективный для доставки техногенных россыпей на обогатительное производство. При этом режимы работы гидротранспортных установок будут существенно зависеть от геометрических параметров ХО, поскольку высота отметок, с которых предполагается доставлять техногенные россыпи, а также параметры дамбы обвалования определяют течение пульпы в том или ином режиме. Существующие гидротранспортные установки обеспечивают подачу пульпы под давлением насосов, поэтому влияние параметров ХО на их режимы работы мало, а скорость транспортирования и диаметр трубопровода выбирался из условия сверхкритического течения. Для вновь проектируемых установок, течение пульпы в которых обеспечивается перепадом геодезических высот ХО, методы расчета режимов работы отсутствуют, что сдерживает эксплуатацию ХО как техногенных месторождений минерального сырья.



Таким образом, оценка возможных режимов течения пульп по трубопроводам под действием перепада геодезических высот верхней и нижней отметками дамбы обвалования ХО является актуальной научной задачей.

Результаты анализа более двух десятков известных методик расчета параметров гидротранспорта указывают на то, что вид формулы для определения гидравлического уклона при течении пульпы по трубопроводу выбирается в зависимости от режима течения, концентрации пульпы и соотношения фактической и критической скоростей (табл. 1).

Для пульп высокой концентрации понятие критической скорости отсутствует, поскольку при таких концентрациях твердые частицы не выпадают на дно трубопровода. С понижением, до определенного значения, скорости транспортирования изменяется режим течения. При этом, однородный режим течения переходит в стержневой, при котором формируется недеформируемое ядро потока. При дальнейшем снижении перепада давления ядро потока увеличивается в диаметре, пока не достигнет внутренней поверхности трубы, после чего течение по трубопроводу прекращается

Таблица 1

Классификация режимов течения пульп различной концентрации

Классификация пульп по концентрации	Классификация режимов течения	
	Гетерогенная жидкость	Однородная жидкость
Низкая концентрация $C < 0,2 \frac{Ar+1}{Ar}$	$V < 1,25V_{kp}$	$V \geq 1,25V_{kp}$
Средняя концентрация $0,2 \frac{Ar+1}{Ar} \leq C < \frac{Ar+1}{Ar+3,33}$	$V_{kp} = 15 \sqrt[3]{D} \sqrt[4]{w} (\rho - 0,4)$	$V_{kp} = 12,8 \sqrt[3]{D} \sqrt[4]{w} \sqrt[3]{\frac{Ar+1}{ArC}}$
Высокая концентрация $\frac{Ar+1}{Ar+3,33} \leq C < \frac{(1+Ar)(2-P_{0,1})}{3,33+Ar(2-P_{0,1})}$	Стержневой	Турбулентный



где c – массовая концентрация пульпы; Ar – параметр Архимеда твердых частиц; V – средняя расходная скорость; V_{kp} – критическая скорость гидротранспортирования; $P_{0,1}$ – доля в твердой фракции частиц диаметром менее 0,1 мм; D – диаметр трубы; w – гидравлическая крупность частиц твердой фракции; ρ – относительная плотность пульпы.

При течении пульп низкой и средней концентрации в горизонтальном трубопроводе в режиме гетерогенной жидкости гидравлический уклон рассчитывают по следующим формулам:

$$i = i_0 + \sigma_0^{kp} \frac{V_{kp}}{V}; \quad (1)$$

$$i_0 = \frac{\lambda V^2}{2gD}; \quad i_0^{kp} = \frac{\lambda_{kp} V_{kp}^2}{2gD}; \quad \sigma = \rho^{1,5} \left(1 + 150 \frac{d_{cp}}{D}\right) - 1; \quad \rho = \frac{1 + Ar}{1 + Ar(1 - C)}; \quad \lambda = 0,3091g^{-2} \left(\frac{DV}{10\nu_w}\right); \quad \lambda_{kp} = 0,3091g^{-2} \left(\frac{DV_{kp}}{10\nu_w}\right),$$

где i_0 – гидравлический уклон при течении воды; i_0^{kp} – гидравлический уклон при течении воды с критической скоростью; σ – коэффициент, учитывающий влияние диаметра и плотности частиц; λ – коэффициент гидравлического сопротивления трения; g – ускорение свободного падения; λ_{kp} – коэффициент гидравлического сопротивления трения в критическом режиме; ν_w – кинематический коэффициент вязкости воды.

Часть трубопроводов рассматриваемых гидротранспортных установок проложено по наружным откосам дамб обвалования, и поэтому наклонены к горизонту на угол, равный углу между откосом и основанием дамб. При этих углах наклона трубопроводы нельзя рассматривать как вертикальные. С учетом этого при течении пульп низкой и средней концентрации в наклонных трубопроводах, при углах наклона близких к углам наружных откосов дамб обвалования, в режиме гетерогенной жидкости гидравлический уклон рассчитывают по следующим формулам:

$$\frac{i_{\alpha} - i_0}{i - i_0} = \cos^2 \alpha, \quad (2)$$

где i_{α} – гидравлический уклон при течении гидросмеси по трубопроводу, наклоненному к горизонту под углом α .

Подставив в выражение (2) предыдущие формулы, и проведя соответствующие преобразования, получим:

$$i_{\alpha} = i_0 \left[1 + \mu \sigma \left(\frac{V_{kp}}{V} \right)^3 \cos^2 \alpha \right]; \quad (3)$$

$$\mu = 10 \log_{\frac{Re_{kp}}{10}}^2 \left(\frac{Re}{10} \right); \quad Re = \frac{DV}{\nu_w}; \quad Re_{kp} = \frac{DV_{kp}}{\nu_w},$$

где Re – число Рейнольдса; Re_{kp} – критическое число Рейнольдса.

Учитывая сверхкритический режим течения гидросмеси фактическую скорость в трубопроводе можно выразить через величину критической скорости:

$$V = KV_{kp}, \quad (4)$$

где K – параметр режима гидротранспортирования, величина которого изменяется в интервале $1 \leq K \leq 2$.

Как показали результаты ряда исследователей критические режимы течения суспензий соответствуют турбулентному течению, поэтому для критического числа Рейнольдса справедлива следующая оценка:

$$Re_{kp} = 10^k, \quad (5)$$

где k – показатель степени со значением $k \geq 3$.

С учетом (4) и (5) формулу величины μ можно записать в виде выражения

$$\mu = \left(1 + \log_{10^{k-1}} K \right)^2,$$

которое после разложения в степенной ряд логарифма и соответствующих преобразований, преобразуется в следующую приближенную формулу:



$$\mu = \left(1 + \frac{0,328}{k-1}\right)^2.$$

Последнее выражение позволяет получить оценку среднего значения для величины μ

$$\mu_{cp} = 1,19,$$

с учетом которого выражение (3) примет следующий вид:

$$i_{\alpha} = i_0 \left[1 + 1,2 \frac{\sigma}{K^3} \cos^2 \alpha\right]. \quad (6)$$

В случае использования для расчета величины λ вместо логарифмического закона степенного закона вместо формулы (6) нужно использовать следующее выражение:

$$i_{\alpha} = i_0 \left[1 + \sigma \left(\frac{V_{kp}}{V}\right)^{3-p} \cos^2 \alpha\right], \quad (7)$$

где n – коэффициент пропорциональности; p – показатель степени.

При течении пульп низкой и средней концентрации в режиме однородной жидкости гидравлический уклон не зависит от угла наклона трубопровода и для расчетов рекомендовано использовать следующую формулу:

$$i = \rho i_0. \quad (8)$$

Сравнивая правые части выражений (6) – (8), а также оценив интервал изменения относительной плотности пульпы (рис. 1.5), можно сделать вывод, что условие (8) может быть реализовано при значениях параметра режима гидротранспортирования удовлетворяющих неравенству:

$$K \geq K_{\rho}; \quad K_{\rho} = \sqrt[3]{\frac{1,2\sigma}{\rho-1} \cos^2 \alpha}. \quad (9)$$

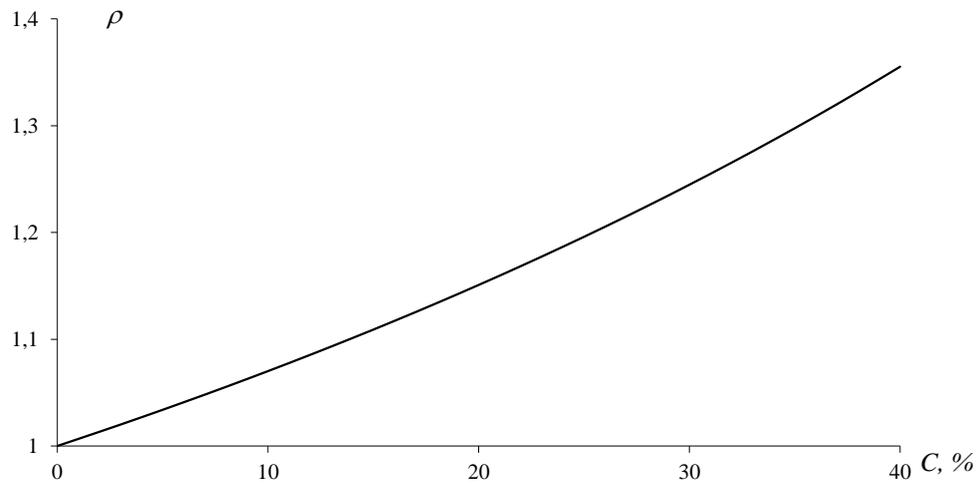


Рис. 1 – Зависимость относительной плотности пульпы от массовой концентрации

В случае использования для расчета величины λ вместо логарифмического закона степенного закона вместо выражения (9) получим

$$K_{\rho} = 3^{-p} \sqrt{\frac{\sigma \cos^2 \alpha}{\rho - 1}}.$$