

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВНУТРИФАБРИЧНЫХ СИСТЕМ ГИДРОТРАНСПОРТА

Семененко Е.В., канд. техн. наук, с.н.с.,
старший научный сотрудник ИГТМ НАН Украины

Предлагается методика расчета внутрифабричных гидротранспортных установок, впервые учитывающая полидисперсность и разнотекучность транспортируемого материала, а также изменение гранулометрического и плотностного составов материалов в процессе сепарации в различных обогатительных аппаратах.

The procedure of calculation of parameters of intrafactory hydrotransport plants is offered which first takes into account polydispersity and heterogeneity of transporting material as well as changes of granulometric and density composition of materials in process of separation in different ore-dressing apparatuses.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Современные обогатительные фабрики фактически представляют собой систему гидротранспортных установок, обеспечивающих подачу материала в обогатительные аппараты, отводящих концентраты, промежуточные продукты и отходы обогащения [1 – 3]. Поскольку в обогатительных аппаратах происходит сепарация минерального сырья, все эти установки транспортируют разнородные по плотностному составу материалы [1, 3]. Поэтому снижение энергоемкости переработки полезных ископаемых зависит от точности и надежности используемых методов расчета критических скоростей и гидравлических уклонов [1 – 9].

Анализ исследований и публикаций. Известные до сих пор методики расчета этих параметров предусматривали использование при расчете средневзвешенной плотности транспортируемого материала, а полидисперсность частиц учитывали различными коэффициентами [1 – 9]. Использование этих методик в условиях современных обогатительных фабрик Украины сдерживает переход к большим концентрациям пульпы и разработку техногенных месторождений где плотности отдельных фракций отличаются в 1.5 или 2 раза (см. табл. 1) [10].

Постановка задачи. Цель статьи – разработка методики расчета критических скоростей и гидравлических уклонов при напорном гид-

ротранспорте с учетом полидисперсности и разноплотности частиц транспортируемого материала.

Таблица 1 – Характеристика техногенных россыпей ЦГОКа

Класс крупности, мм		Доля фракции с плотностью, т/м ³					Массовая доля, %
		5.000	4.413	3.825	3.355	2.650	
Более	Менее						
Исходный материал							
0.000	0.044	9.24	0.11	0.07	0.09	8.53	18.04
0.044	0.070	3.69	0.66	1.10	0.58	4.64	10.66
0.070	0.160	1.97	0.99	4.23	3.43	6.79	17.40
0.160	0.250	0.79	0.55	5.59	3.93	8.03	18.90
0.250	0.500	0.17	0.06	6.67	7.20	4.70	18.80
0.500	1.000	0.00	0.00	4.20	6.26	3.93	14.40
1.000	5.000	0.00	0.00	0.55	0.81	0.45	1.80
Сумма, %		15.85	2.37	22.42	22.30	37.07	100.00
Предварительно обогащенный материал							
0.000	0.044	14.22	0.17	0.11	0.14	13.14	27.78
0.044	0.070	5.68	1.02	1.69	0.89	7.14	16.42
0.070	0.160	2.17	1.09	4.67	3.78	7.49	19.20
0.160	0.250	0.92	0.63	6.45	4.53	9.27	21.80
0.250	0.500	0.09	0.03	3.55	3.83	2.50	10.00
0.500	1.000	0.00	0.00	1.17	1.74	1.09	4.00
1.000	5.000	0.00	0.00	0.24	0.36	0.20	0.80
Сумма, %		23.08	2.94	17.88	15.27	40.83	100.00

Изложение материала и результаты. Таким образом, транспортируемый материал рассматривается как смесь разнородных по плотности и средней крупности твердых компонентов. Каждому компоненту соответствует свой гранулометрический состав и своя средняя плотность частиц. Для определения осредненных параметров такого материала используют формулы [1, 4 – 12]

$$\bar{\rho}_s = \sum_{i=1}^n \theta_i \bar{\rho}_s^i; \text{Re}_s = \sum_{i=1}^n \theta_i \text{Re}_s^i; n_{0.01} = \sum_{i=1}^n \theta_i n_{0.01}^i; n_{0.1} = \sum_{i=1}^n \theta_i n_{0.1}^i;$$

$$C_m = \sum_{i=1}^n \theta_i C_m^i; d_s = \sum_{i=1}^n \theta_i d_s^i; Ar = \sum_{i=1}^n \theta_i Ar_i; A_0 = 0.52 \lg^{1.65} \text{Re}_s;$$

$$C_m^i = 0.3(2 - n_{0.1}^i); A_1 = 1.316 \left(\frac{d_s}{D} \right)^{\frac{n_s}{2}} \sqrt{Ar}; n_s = 0.76 - 0.16 \text{th} \left(\frac{\lg^2 \text{Re}_s}{0.355} \right);$$

$$d_j = \frac{d_j^{(1)} + d_j^{(2)}}{2}; Ar_i = \bar{\rho}_s^i - 1; d_s^i = \sum_{j=1}^m \frac{p_{ij}}{100} d_j; Re_s^i = \frac{w_s^i d_i}{\nu_w}; R_s = \sum_{i=1}^n \theta_i S_i \bar{\rho}_s^i,$$

где $\bar{\rho}_s$ – плотность транспортируемого материала, т/м³; $n_{0.01}$ – доля частиц крупностью менее 0.01 мм в транспортируемом материале, д. ед.; $n_{0.1}$ – доля частиц крупностью более 0.1 мм в транспортируемом материале, д. ед.; C_m – максимально возможная концентрация пульпы, д. ед.; d_s – средневзвешенный диаметр частиц транспортируемого материала, мм; Ar – параметр Архимеда частиц транспортируемого материала; $n_{0.1}^i$ – доля частиц крупностью более 0.1 мм в i -м компоненте транспортируемого материала, д. ед.; C_m^i – максимально возможная концентрация пульпы, д. ед. [7]; Ar_i – параметр Архимеда частиц i -го компонента транспортируемого материала; d_s^i – средневзвешенный диаметр частиц i -го компонента транспортируемого материала, мм; ν_w – кинематический коэффициент вязкости воды, м²/с; T – температура гидросмеси, град; $d_j^{(1)}$ – минимальный диаметр частиц j -го класса крупности, мм; $d_j^{(2)}$ – максимальный диаметр частиц j -го класса крупности, мм; m – количество классов крупности в транспортируемом материале; $\bar{\rho}_s^i$ – средняя плотность частиц i -го компонента транспортируемого материала, т/м³; θ_i – массовая доля i -го компонента в транспортируемом материале, %; n – количество компонентов в транспортируемом материале; p_{ij} – массовая доля частиц j -го класса крупности в i -м компоненте транспортируемого материала, %; Re_s^i – число Рейнольдса для частицы i -го компонента транспортируемого материала; $sign$ – функция знака; th – функция гиперболического тангенса; w_s^i – гидравлическая крупность частиц i -го компонента транспортируемого материала, м/с.

Расчет критической скорости гидротранспортирования производится после выполнения предварительных расчетов осредненных параметров транспортируемого материала и выполняется в два этапа.

На первом этапе рассчитывается объемная концентрация гидросмеси, а также величины, зависящие от нее. Расчеты для каждого значения массовой концентрации из выбранного диапазона ведутся по формулам [1, 10, 12]

$$C = \sum_{i=1}^n \theta_i C_i; S = \sum_{i=1}^n \theta_i S_i; \psi_{kp} = \sum_{i=1}^n \frac{\theta_i S_i}{1 - S_i}; \varphi = \frac{A_0 th(11.41 \psi_{kp}^{0.86})}{1 + A_0 th(11.41 \psi_{kp}^{0.86})};$$

$$C_i = \frac{C_g}{C_g + (1 - C_g) \bar{\rho}_s^i}; S_i = C_i \left[1 - 0.45 f_p^i \left(1 - \frac{C_i}{C_m^i} \right)^{2.16} \right]; R_i = \lg \left(\frac{Re_s^i}{7.586} \right);$$

$$\sigma = 1 + 0.527 \cos \left(\frac{90 C n_{0.01}}{1 - (1 - n_{0.01}) C} \right); f_p^i = 1 + sign(R_i) th \left(\frac{|R_i|^{0.6}}{1.034} \right);$$

$$\Phi = \sqrt{\frac{th(2.38 \psi_{kp}^{0.433})}{1 + A_0 th(11.41 \psi_{kp}^{0.86})}} \sqrt{\frac{(1 + \psi_{kp}) \sigma C^2 (1 - C)^2}{C^2 + R_s (1 + \psi_{kp}) (1 - C)^2 \psi_{kp}^2}}.$$

На втором этапе для каждого значения C_g определяют величину критической скорости гидротранспортирования путем решения нелинейного уравнения [1, 10, 12]

$$u_{kp} = \frac{Fr_{kp}}{1 - S} \sqrt{gD}; \quad \frac{Fr_{kp}}{A_1 \Phi} = \ln(A_2 Fr_{kp}); \quad A_2 = \frac{\sqrt{gD}^{3/2}}{10 v_w},$$

где u_{kp} – критическая скорость пульпы, м/с.

Затем для каждого значения u_w в зависимости от угла наклона трубопровода к горизонту рассчитывается величина гидравлического уклона по следующим формулам [1, 10, 12]:

$$i_\alpha = \wp_0 \lambda_w \frac{u_w^2}{2gD} + \frac{1 + \bar{\rho}_s CZ_g}{1 + CZ_g} \sin \alpha; \quad \wp_0 = \wp \cos \alpha + \wp' (1 - \cos \alpha);$$

$$\wp = \left[\frac{1 - S}{(1 - C)^2} + \frac{R_s}{(1 - S)^2} \left(\frac{S}{C} \right)^2 \right] \left(1 - th \left[5.33 \left(1 - Fr_{kp} \frac{\sqrt{gD}}{u_w} \right) \right] \varphi \right);$$

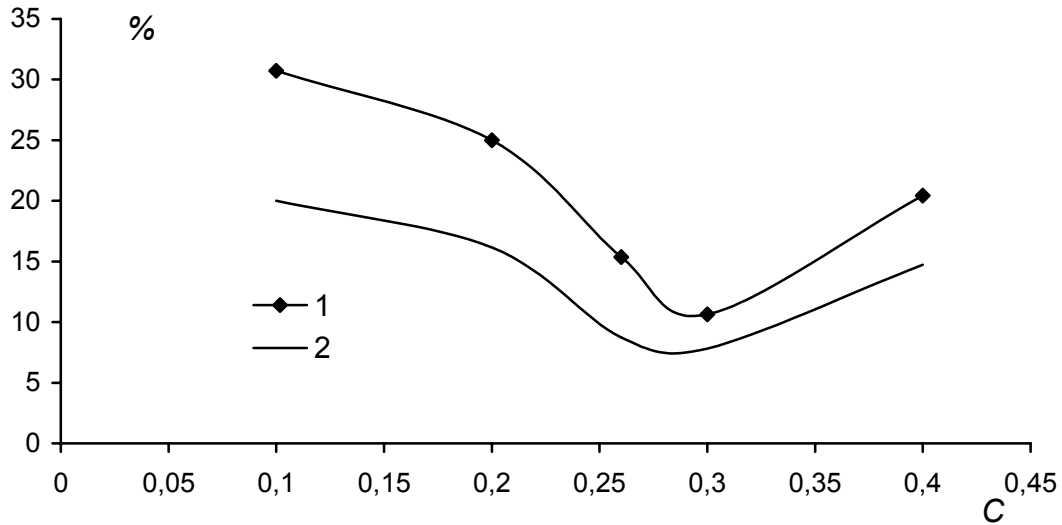
$$\wp' = \frac{1}{(1 - C)^2} \frac{1}{1 + CZ_g} + R_s Z_g^2; \quad Z_g = 1 - \frac{w_s}{u_w} (1 - C)^{n_c};$$

$$n_c = 4.1 - 2.1 sign \left[\lg \left(\frac{Re_s}{5.012} \right) \right] th \left[\frac{1}{2} \left| \lg \left(\frac{Re_s}{5.012} \right) \right|^{4/3} \right],$$

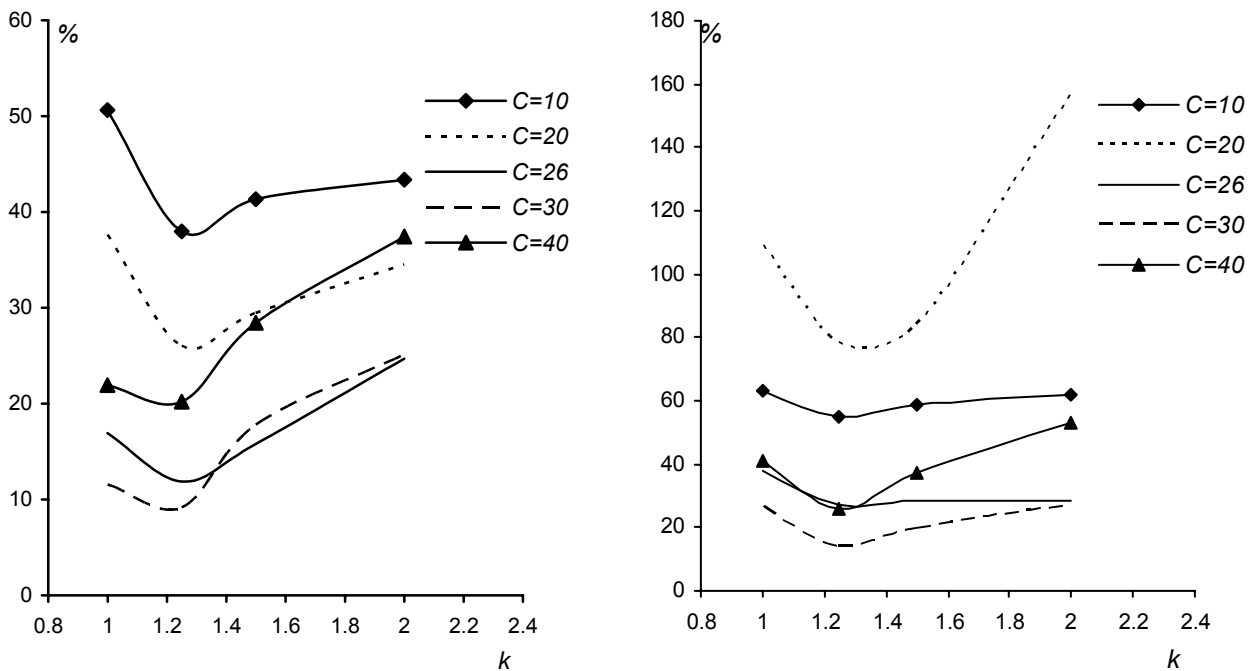
где α – угол наклона трубопровода к горизонту, рад.

Для оценки влияния фактора различной плотности компонентов транспортируемого материала на параметры гидротранспорта было проведено сравнение результатов расчетов критической скорости и гидравлических уклонов техногенных россыпей Центрального горно-

обогащительного комбината (ЦГОК) (см. табл. 1) по предлагаемой методике с результатами расчетов по методике, рекомендованной для данных условий нормативными документами СССР [8, 9] (см. рис. 1 и 2).



1 – исходный материал; 2 – предварительно обогащенный материал;
Рисунок 1 – Зависимость относительной разности критических скоростей, рассчитанных по разным методикам, от массовой концентрации пульпы для рассматриваемых материалов



А) предварительно обогащенный

Б) исходный

Рисунок 2 – Зависимость относительной разности гидравлических уклонов, рассчитанных по разным методикам, от параметра гидротранспортирования и концентрации пульпы для разных материалов

Из рис. 1 и 2, видно, что расчет параметров гидротранспорта по средневзвешенной плотности приводит к существенно заниженным

значениям критических скоростей и гидравлических уклонов. Во всех случаях величины параметров гидротранспорта, полученные по предлагаемой методике, оказывались выше, чем рассчитанные по осредненным показателям.

Выводы и направления дальнейших исследований. Результаты произведенных расчетов параметров гидротранспорта отходов обогащения, техногенных и первичных россыпей показывают, что использование осредненных плотностей и диаметров частиц оправдано при массовых концентрациях пульпы менее 5%. Использование этого метода расчета для оптимизация параметров и режимов работы установок, обеспечения снижения энергоемкости и удельных расходов воды, не возможно из-за существенного увеличения ошибки, обусловленной использованием среднезвешенных величин. В то же время предлагаемая методика может быть использована во всех перечисленных выше случаях и позволяет учитывать изменение параметров отдельных фракций, характерное для условий технологий обогащения.

Список источников.

1. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий // Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин – Д.: «Новая идеология», 2006. – 416 с.
2. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
3. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семененко. – Севастополь: Вебер, 2002. – 247 с.
4. Силин Н.А., Коберник С.Г. Режимы работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов. – К.: Изд-во АН УССР, 1962. – 215 с.
5. Коберник С.Г., Войтенко В.И. Напорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов. – К.: Наук. думка, 1967. – 140 с.
6. Силин Н.А., Витошкин Ю.К. Гидротранспорт угля по трубам. – Киев: Изд-во АН УССР. – 1964. – 86 с.
7. Криль С.И. Напорные взвесенесущие потоки. – К.: Наук. думка, 1990. – 160 с.
8. ИС 21-26.3-567-81. Система напорного гидротранспорта отходов чугунолитейного производства. – К.: Минстройматериалов СССР, 1982. – 56 с.
9. РСН 275–75. Временные указания по технологии возведения намывных хвостохранилищ горнообогатительных комбинатов. – Киев: Госстрой УССР, 1975. – 180 с.
10. Криль С.И., Семененко Е.В. Расчет параметров гидротранспорта песков россыпных и техногенных месторождений // Научно – технический и производственный журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность». – №5. – 2006. – С. 77 – 80.
11. Гончаров В.Н. Движение наносов. – Л.;М.: ОНТИ, Главная редакция строительной литературы, 1938. – 312 с.
12. Семененко Е.В., Криль С.И. Метод расчета параметров гидротранспорта отходов и продуктов обогащения // Научно-технический сборник «Обогащение полезных ископаемых». – Днепропетровск, 2006. Вып. № 25 (66) – 26 (67). – С. 176 – 183.

Дата поступления статьи в редакцию: 13.11.07