

и  $a$  (рис. 5, а). В этом случае размер трещины не меняется, пока нагрузка не достигнет критического значения  $A$ . Тогда при малейшем превышении нагрузки трещина увеличивается скачком и переходит в другое, устойчивое состояние, соответствующее тому же значению нагрузки  $AB$ , после чего устойчиво развивается с ростом нагружения  $BC$  до максимального значения  $C$ . После этого трещина начинает катастрофически расти и тело разрушается. Рассмотрим следующий вариант: значение начальной длины трещины расположено между  $b$  и  $a$  (рис. 5, б). Размер трещины не меняется, пока нагрузка не достигнет критического значения  $A$ ; далее трещина развивается устойчиво, и все идет так же, как в предыдущем случае. Последний вариант: начальная длина трещины больше, чем расстояние между ребрами, и на графике (рис. 5, в) отмечается точкой, лежащей правее  $c$ . Когда достигнет критического значения  $A$ , тело разрушается, как и в первом случае.

Обратим внимание на второй и третий случаи. Здесь, пока нагрузка лежит в промежутке между высотами точек локального минимума и локального максимума кривой, длина трещины есть непрерывная функция приложенной нагрузки. Тело не разрушается и способно воспринять возрастающую нагрузку, несмотря на рост трещины. Предельное значение нагрузки, определяющее прочность рассматриваемой нами конструкции, одинаково для всех значений начальной длины трещины в диапазоне  $ac$ . Этот пример показателен в том отношении, что механика разрушения указывает универсальную характеристику прочности, не зависящую от начальной длины трещины. Такую характеристику желательно вводить при расчетах на прочность.

### Библиографические ссылки

1. Крауч С. Метод граничных элементов в механике разрушения / С. Крауч – М., 1980. – 256 с.
2. Партон В.З. Механика разрушения / В.З. Партон. – М., 1990. – 240 с.
3. Работнов Ю. Н. Введение в механику разрушения / Ю.Н. Работнов – М., 1987. – 80 с.
4. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения / Г.П. Черепанов – М., 1974. – 640 с.

Надійшла до редколегії 10.02.10

УДК 622.648.23:621.65:622.271.623

Б.А. Блюсс\*, Е.В. Семененко\*, С.И. Криль\*\*

\*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

\*\*Институт гидромеханики НАН Украины

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

Разработана методика расчета гидравлического уклона и критической скорости гидро-транспортирования полидисперсных россыпей и руд с частицами различной плотности, а также методика оценки интервалов изменения этих параметров в режиме установившихся пульсаций давления и расхода пульпы.

Ключевые слова: гидравлический уклон, критическая скорость, пульпа, турбулентное течение.

**Розроблено методику розрахунку гідравлічного ухилу та критичної швидкості гідротранспортування полідисперсних розсіпів і руд із частинками різної густини, методику оцінки інтервалів зміни цих параметрів у режимі усталених пульсацій тиску й витрати пульпи.**

*Ключові слова: гідравлічний ухил, критична швидкість, пульпа, турбулентна течія.*

**The method of analysis of specific hydraulic slope and the critical velocity of the hydrotransportation of polydisperse scattering and ore mineral with the diverse density particles was developed. Also, the elimination procedure of estimation of intervals of changing of such parameters in the regime of steady pressure fluctuation and flow-rate pulp was elaborated**

*Keywords: hydraulic slope critical velocity, pulp, turbulent flow.*

**Введение.** По запасам полиметаллических руд, содержащих минералы титана, циркон, алюмосиликаты и прочие минералы, Украина считается монополистом в Европе и входит в первую десятку стран-поставщиков в мире. Большая часть минерального сырья представлена россыпными месторождениями, разработка которых ведется открытым способом с применением методов гидромеханизации, а обогащение россыпей – осуществляется гравитационными методами. В таких технологиях основными процессами гидромеханизации являются напорное гидротранспортирование и пульпообразование. Анализ условий эксплуатации и режимов работы гидротранспортных комплексов на карьерах полиметаллических россыпных месторождений Украины позволил выделить следующие факторы, приводящие к завышенным расходам воды и электроэнергии [1 – 3]. Во-первых, для материалов, составляющих полиметаллические россыпи, характерны не только полидисперсность, но и существенное различие в плотностях частиц, что недостаточно учитывается известными методиками расчета критической скорости и гидравлического уклона. Во-вторых, существующие методы расчета гидротранспортных систем ориентированы на средние значения параметров при установившемся режиме работы. Однако применение центробежных насосов сопровождается генерированием в трубопроводе установившихся пульсаций давления и подачи, которые провоцируют выпадение транспортируемых частиц на дно потока. В-третьих, при открытой разработке полиметаллических россыпей концентрация и плотность пульпы, фактически, определяются в процессе пульпообразования, которым управляет оператор гидромониторов без учета процесса гидротранспортирования. В современных условиях выбор рациональных параметров процессов гидромеханизации возможен только при комплексном учете всех этих факторов, что сдерживается отсутствием соответствующей научно-методической базы [1 – 3].

**Целью данной статьи** является развитие научных основ гидромеханизации при открытой разработке россыпных месторождений путем учета закономерностей механических процессов, происходящих при пульпообразовании и гидротранспортировании полидисперсных материалов, содержащих частицы различной плотности, в режимах с установившимися пульсациями давления и расхода гидросмеси для минимизации энергоемкости и водопотребления технологий гидромеханизации.

Анализ существующих методик расчета параметров гидротранспорта при течении пульп, а также обобщение результатов экспериментов позволил авторам разработать метод расчета гидравлического уклона и критической скорости гидротранспортирования полидисперсных материалов с частицами различной плотности, а также обосновать диапазоны изменения значений этих величин при установившемся пульсирующем режиме течения пульпы. С учетом того, что природные и техногенные россыпи являются смесью разнородных по плотности и средней крупности твердых частиц и представляют собой совокупность  $n'$  различных твердых материалов, каждый из

которых характеризуется плотностью  $\bar{\rho}_s^i$ , средним диаметром частиц  $\delta_i$ , гранулометрическим составом и массовой долей .. в смеси твердых материалов ( $i = 1, 2 \dots n'$ ), для расчета гидравлического уклона в сверхкритических режимах, а также критической скорости гидротранспортирования получены следующие формулы [4 – 7]:

$$i = \wp \phi i_w + (1 - \sigma_l) i_g \sin \phi + i_z \rho_*; u_{kp} = (1 + \psi_{kp}) Fr_{kp} \sqrt{gD}; \quad (1)$$

$$i_w = \frac{\lambda_w Q_w^2}{2gDF^2}; i_g = \frac{1 + \bar{\rho}_s C(1 - z_0)}{1 + C(1 - z_0)}; \frac{Fr_{kp}}{A_1 \Phi} = \ln(A_2 Fr_{kp}); F = 0.25\pi D^2; A_2 = \frac{\sqrt{g} D^{3/2}}{10v_w};$$

$$\Phi = C(1 - C) \sqrt{\frac{th(2.38\psi_{kp}^{0.433})}{1 + A_0 th(11.41\psi_{kp}^{0.86})}} \sqrt{\frac{(1 + \psi_{kp}) \left(1 + 0.527 \cos\left(\frac{90n_{0.01}C}{1 - (1 - n_{0.01})C}\right)\right)}{C^2 + R_{kp}(1 + \psi_{kp})(1 - C)^2 \psi_{kp}^2}}};$$

$$A_0 = 0.52 lg^{1.65} \left[ \sum_{i=1}^{n'} \theta_i \frac{w_s^i \delta_i}{v_w} \right]; n_s = 0.76 - 0.16 th \left( 2.82 lg^2 \left[ \sum_{i=1}^{n'} \theta_i \frac{w_s^i \delta_i}{v_w} \right] \right); C = \sum_{i=1}^{n'} C^i;$$

$$\wp \phi = \sigma \wp \cos \phi + (1 - \sigma) \wp' (1 - \cos \phi); A_1 = 1.316 \left( \sum_{i=1}^{n'} \theta_i \frac{\delta^i}{D} \right)^2 \sqrt{\sum_{i=1}^{n'} \theta_i A r_i};$$

$$\wp = z_1 \left( 1 - th \left[ 5.33 \left( 1 - Fr_{kp} \frac{\sqrt{gD}}{Q_w} F \right) \right] \right) \varepsilon; \wp' = \frac{1}{(1 - C')^2} \frac{1}{1 + z_0 C'} + R z_0^2; C' = \sum_{i=1}^{n'} C'^i;$$

$$n_c = 4.1 - 2.1 sign \left[ lg \left( \frac{w_s^i \delta_i}{5.01 v_w} \right) \right] th \left[ \frac{1}{2} \left| lg \left( \frac{w_s^i \delta_i}{5.01 v_w} \right) \right|^{4/3} \right]; z_0 = 1 + \frac{w_s F}{Q_w} (1 - C')^{n_c};$$

$$C^i \left[ 1 - \frac{f_p^i}{2.22} \left( 1 - \frac{3.3 C^i}{2 - n_{0.1}^i} \right)^{2.16} \right] = \frac{\psi^i}{1 + \psi^i}; C'^i \left[ 1 - \frac{w_s^i}{u_w} (1 - C'^i)^{n_i} \right] = \psi^i; R = \sum_{i=1}^{n'} \frac{\bar{\rho}_s^i \psi^i}{1 + \psi^i};$$

$$f_p^i = 1 + sign \left[ lg \left( \frac{w_s^i \delta_i}{7.59 v_w} \right) \right] th \left[ 0.967 \left| lg \left( \frac{w_s^i \delta_i}{7.59 v_w} \right) \right|^{0.6} \right]; \psi^i = \frac{G_s}{\rho_0 Q_w} \frac{\theta_i}{\bar{\rho}_s^i}; \psi = \sum_{i=1}^{n'} \psi^i;$$

$$z_1 = \left[ \frac{1}{(1 + \psi)(1 - C)^2} + R \left( \frac{\psi}{C} \right)^2 \right]; \varepsilon = \frac{lg^{1.65} \left( \sum_{i=1}^{n'} \theta_i \frac{w_s^i \delta_i}{v_w} \right) th(11.41\psi_{kp}^{0.86})}{1.92 + lg^{1.65} \left( \sum_{i=1}^{n'} \theta_i \frac{w_s^i \delta_i}{v_w} \right) th(11.41\psi_{kp}^{0.86})},$$

где  $\bar{\rho}_s$  – средневзвешенная плотность транспортируемого материала;  $\sigma_l$  – доля длины трубопровода, приходящаяся на горизонтальные участки;  $i_z$  – геодезический уклон;  $\rho_*$  – эффективная плотность пульпы;  $Q_w$  – объемный расход жидкой

фазы;  $u_{kp}$  – критическая скорость пульпы;  $D$  – диаметр трубы;  $\nu_w$  – кинематический коэффициент вязкости воды;  $C$  – объемная концентрация;  $w_s$  – средневзвешенная гидравлическая крупность твердой фазы;  $n_{0.01}$  – объемная доля в материале частиц диаметром менее 0.01 мм;  $\psi_{kp}$  – отношение расходов фаз в критическом режиме;  $\phi$  – угол наклона трубопровода к горизонту;  $Ar_i$  – параметр Архимеда для частиц  $i$ -го материала;  $G_s$  – грузопоток;  $\rho_0$  – плотность воды.

Для оценки достоверности разработанного метода расчета использовались данные экспериментов по гидротранспорту россыпи Восточного участка Малышевского месторождения титан-цирконового песков (рис. 1 и 2). Из рис. 1 и 2 видно, что разница между экспериментальными величинами и рассчитанными по предложенной в настоящей работе методике не превышает 10 %, и она меньше, чем при использовании других методик.

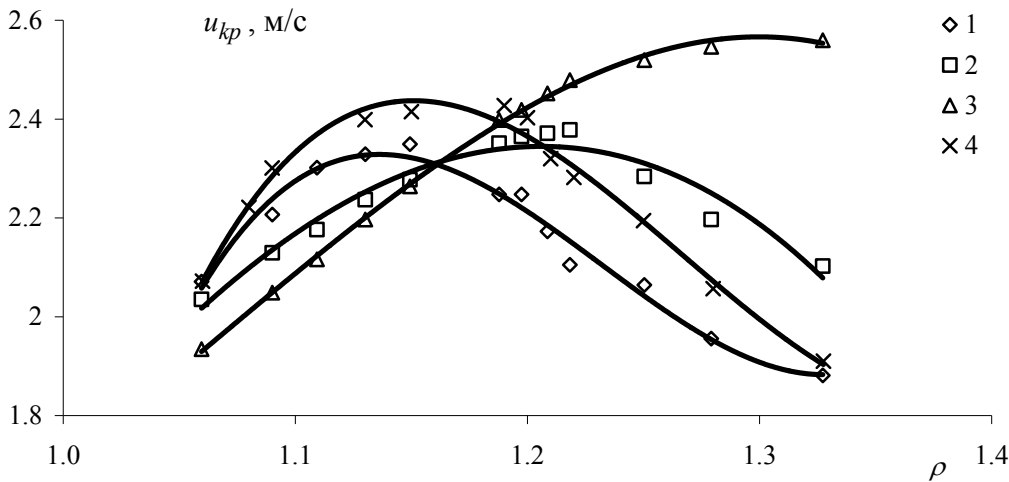


Рис. 1. Сравнение экспериментальных и расчетных зависимостей критической скорости при гидротранспортировке песков карьеров ВГМК по трубопроводу диаметром 150 мм от плотности пульпы: 1 – результаты экспериментов Харьковского отделения ВОДГЕО; 2 – расчет по методике НИИСПа; 3 – расчет по методике П-59-72; 4 – расчет по предлагаемой методике

При установившихся пульсациях давления и расхода гидросмеси в настоящем исследовании предлагается вместо рабочей точки системы определять возможную область ее работы, заключенную между максимально и минимально возможными расходно-напорными характеристиками (РНХ) трубопровода и насоса. С учетом формул (1) рабочие точки гидротранспортной установки, ограничивающие возможную область работы, и значения критических подач пульпы определяются из решения уравнений [8; 9]

$$\gamma - \Delta Z \rho_* - \beta Q - \alpha Q^2 - (1 - \sigma_l) i_g L \sin \phi = (1 \pm \Gamma) \wp \phi i_w L \pm \delta \Gamma' Q;$$

$$\frac{Fr_{kp}}{A_1 \Phi} = \sqrt{1 \pm \Gamma} \ln(A_2 Fr_{kp}); \tag{2}$$

$$\Gamma = \frac{2\delta\lambda}{\wp \phi \lambda_w u} \frac{a D}{L} \sqrt{1 + s^2}; \quad s = \frac{A_k \lambda_w u}{\omega 2D};$$

$$\Gamma' = \beta + \alpha(2 + \delta)Q; \theta = \frac{\omega L}{a}; \Lambda = \left( \operatorname{cth}(2\theta) + \frac{\cos(2s\theta)}{\operatorname{sh}(2\theta)} \right)^{-1},$$

где  $\Delta Z$  – перепад высот на трассе;  $L$  – длина трубопровода;  $\Gamma$  – параметр, учитывающий колебания расхода и давления пульпы;  $\omega$  – частота колебаний параметров потока пульпы;  $a$  – скорость распространения возмущений по трубопроводу;  $Q$  – подача насоса по пульпе;  $\gamma, \beta, \alpha$  – коэффициенты аппроксимации РНХ насоса;  $\delta$  – отношение амплитуды колебания скорости потока к ее стационарному значению;  $u$  – скорость течения воды в трубопроводе;  $A_k$  – параметр, зависящий от характеристик твердой фазы и РНХ магистрали.

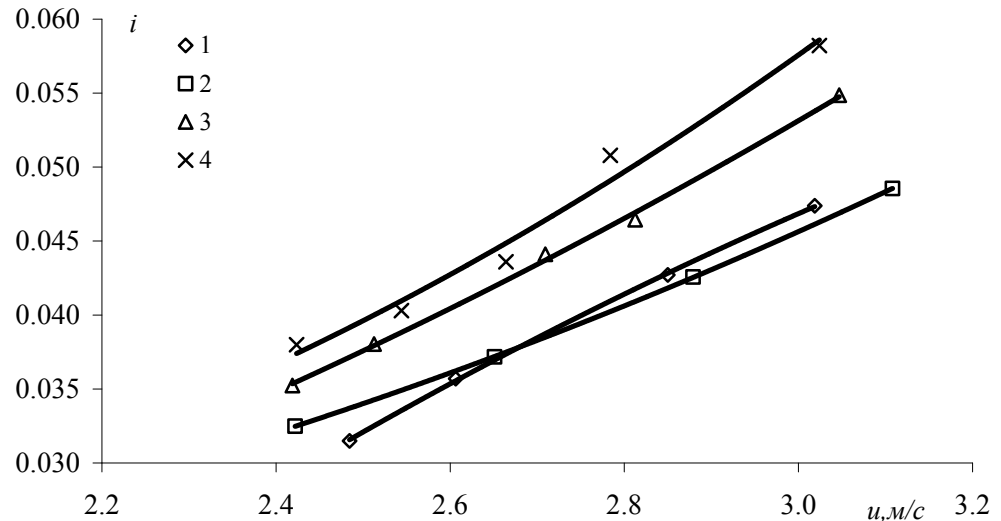


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчетных зависимостей гидравлического уклона при гидротранспортировке песков карьеров ВГМК по трубопроводу диаметром 150 мм от скорости пульпы при различной относительной плотности: 1 – результаты экспериментов Харьковского отделения ВОДГЕО ( $\rho=1,06$ ); 2 – расчет по предлагаемой методике ( $\rho=1,06$ ); 3 – результаты экспериментов Харьковского отделения ВОДГЕО ( $\rho=1,33$ ); 4 – расчет по предлагаемой методике ( $\rho=1,33$ )

При этом определяются три значения критической скорости, которые различаются знаком и величиной параметра  $\Gamma$  в уравнениях (2). В первом случае величина  $\Gamma$  положительна, во втором – равна нулю, а в третьем – отрицательна. Из формул следует, что зависимость амплитуды колебаний дополнительного гидравлического уклона от частоты колебаний давления и расхода пульпы определяется величиной  $\Lambda\sqrt{1+s^2}$ . Численные исследования показали, что влияние параметра  $s$  на величину  $\Lambda$  проявляется в ограниченном интервале значений параметра  $\theta$  (рис. 3). При значениях  $\theta$ , превышающих 2,57, величина  $\Lambda$  может считаться равной единице при любых значениях  $s$ . Величина  $s$  определяет количество экстремумов в зависимости  $\Lambda(\theta)$ , а также их величины. При этом наличие экстремумов в рассматриваемой зависимости наблюдается только при значениях  $s$ , больших 1.

Для условий открытой разработки месторождений предложена модель процесса пульпообразования, учитывающая распространенную на карьерах россыпных

месторождений практику применения гидромониторов, а также разработана модель системы водоснабжения гидротранспортных карьерных установок, учитывающая как особенности процесса пульпообразования, так и разветвленность трубопроводов подачи воды. При разработке этих моделей предполагалось, что система водоснабжения карьерного гидротранспортного комплекса имеет одну водозаборную станцию, состоит из  $m$  забойных установок, на каждой из которых процесс пульпообразования обеспечивают  $k$  гидромониторов, а подача воды в зумпф осуществляется по  $n$  трубопроводам. В общем случае для расчета величин расходов в этой трубопроводной сети необходимо решить систему из  $2(k+n)m$  нелинейных алгебраических уравнений. Однако анализ реальных значений расходов воды в трубопроводах, различий в длине этих трубопроводов и в геодезических отметках забойных станций в условиях открытых россыпных месторождений позволил предложить ряд упрощений, с учетом которых режимы работы системы водоснабжения описываются следующими уравнениями [3, 10, 11]:

$$\left(z_g + (a_g + \alpha)k^2\right)Q_g^2 + n^2\alpha Q_z^2 + 2kn\alpha Q_g Q_z + k(b_g + \beta)Q_g + n\beta Q_z - \gamma_g = 0;$$

$$b_m = \frac{I_m B_m}{K_m};$$

$$k^2\alpha Q_g^2 + (z_z + n^2\alpha)Q_z^2 + 2kn\alpha Q_g Q_z + k\beta Q_g + n\beta Q_z - \gamma_z = 0;$$

$$a_m = \frac{I_m A_m}{K_m^2}; \quad c_m = I_m C_m;$$

$$\beta = k(b_R + mb_m); \quad \alpha = z_R + a_R + (z_m + a_m)m^2;$$

$$\gamma_g = \Delta H_g + \gamma^*; \quad \gamma_z = \Delta H_z + \gamma^*; \quad \gamma^* = c_m + c_R + c_g,$$

где  $\Delta H_g$  – перепад геодезических отметок точки водозабора и сопла гидромонитора;  $\Delta H_z$  – перепад геодезических отметок точек водозабора и подачи воды в зумпф;  $Q_g$  – расход воды через сопла гидромонитора;  $Q_z$  – расход воды через трубопровод, подающий воду в зумпф;  $z_z$  – гидравлическое сопротивление трубопровода, подающего воду в зумпф;  $z_g$  – гидравлическое сопротивление трубопровода, подающего воду к гидромонитору;  $z_R$  – гидравлическое сопротивление трубопровода, подающего воду с межрудного целика на узел пульпообразования;  $z_m$  – гидравлическое сопротивление трубопровода, подающего воду по межрудному целику;  $c_R, b_R, a_R$  – коэффициенты аппроксимации РНХ насосов на промежуточной станции, размещенной на межрудном целике;  $c_g, b_g, a_g$  – коэффициенты аппроксимации РНХ насосов на бустерной насосной станции перед гидромонитором;  $c_m, b_m, a_m$  – коэффициенты аппроксимации РНХ насосов водозаборной станции;  $I_m$  – количество последовательных подъемов давления;  $K_m$  – количество параллельно работающих насосов;  $C_m, B_m, A_m$  – коэффициенты аппроксимации РНХ насосных станций, оборудованных несколькими насосами.

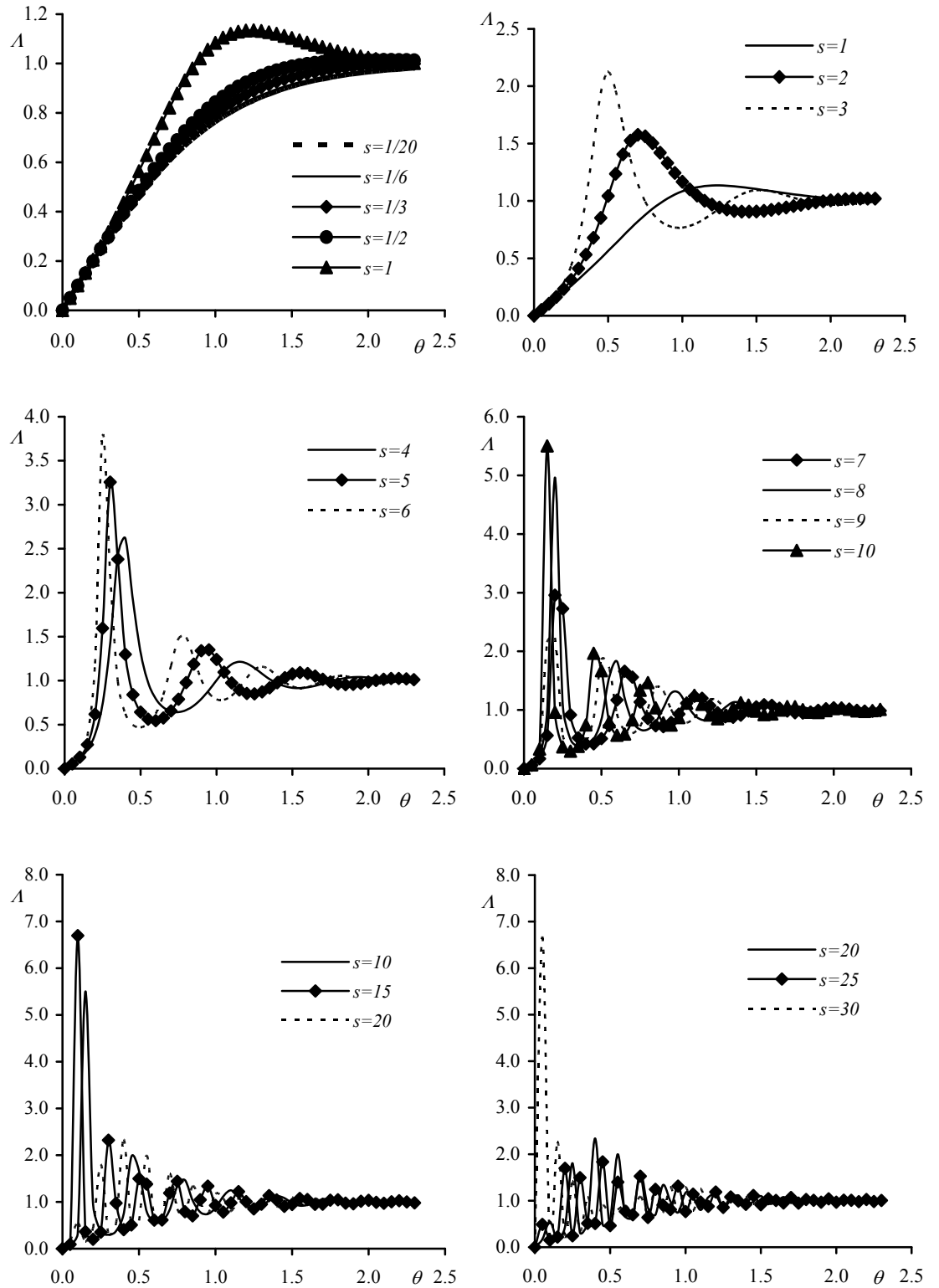


Рис. 3. Зависимость величины  $\Lambda$  от  $\theta$  при различных значениях  $s$

Разработанная модель процесса пульпообразования учитывает зависимость параметров гидросмеси в зумпфе от расхода воды, подаваемой на гидромониторы и в зумпф, и количества гидромониторов, используемых для размыва горной массы. При этом концентрацию, плотность и массовый расход гидросмеси предлагается определять так [3, 10, 11]:

$$C_z = \frac{Y}{1+E+Y}; \rho_z = 1 + \frac{ArY}{1+E+Y}; \psi_z = \frac{Y}{1+E}; E = \frac{n}{k} q_z; Y = \frac{k_z}{k} A_g; q_z = \frac{Q_z}{Q_g}, \quad (4)$$

где  $C_z$  – концентрация гидросмеси в зумпфе, д. ед.;  $q_z$  – параметр пульпообразования;  $\rho_z$  – относительная плотность гидросмеси в зумпфе;  $E$  – показатель процесса пульпообразования;  $Y$  – показатель производительности гидромонитора;  $k_z$  – количество гидромониторов, работающих на забой;  $A_g$  – удельная производительность гидромонитора.

Обработка данных наблюдений, проведенных в условиях карьеров ВГМК (табл. 1), позволила получить эмпирические зависимости между параметрами процесса пульпообразования (рис. 4), сравнить их с теоретическими и подтвердить достоверность уравнений (4), а также установить зависимость параметров пульпы в трубопроводе от параметров процесса пульпообразования (рис. 5). Анализ графиков на рис. 5 позволил установить, что процесс пульпообразования на гидротранспортном комплексе ВГМК осуществляется в основном в двух диапазонах значений  $q_z$  (табл. 2).

Таблица 1

Характеристика режимов пульпообразования

Параметр	Режим пульпообразования				
	№1	№2	№3	№4	№5
Расход пульпы, м <sup>3</sup> /ч	3478	3352	3416	3481	3453
Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	3217	2845	2923	3112	3019
Расход твердого, м <sup>3</sup> /ч	261	507	493	370	435
Плотность пульпы, т/м <sup>3</sup>	1,14	1,26	1,25	1,18	1,22
Производительность по твердому, т/ч	734	1425	1387	1038	1222
Удельный расход твердого, м <sup>3</sup> тв./м <sup>3</sup> в.	0,082	0,178	0,169	0,119	0,145
Удельный расход воды, м <sup>3</sup> в./м <sup>3</sup> тв.	13,16	5,67	5,93	8,44	7,18
Истинная концентрация пульпы, дол. ед.	0,079	0,144	0,138	0,101	0,120
Расходная концентрация пульпы, дол. ед.	0,075	0,151	0,145	0,106	0,126

Таблица 2

Параметры диапазонов изменения значений  $q_z$  в процессе пульпообразования

Область №	Диапазон изменения $q_z$		Среднее значение	Коэффициент вариации, %
	От	До		
1	0,343	0,495	0,405	10,04
2	0,572	0,783	0,633	12,86



Совместное рассмотрение моделей системы водоснабжения и процесса пульпообразования и предложенной методики расчета параметров гидротранспорта позволяет при открытой разработке месторождений рассматривать все трубопроводные системы как единый технологический комплекс. Это обеспечивает прогноз параметров процессов гидромеханизации и оценку режимов работы трубопроводных установок.

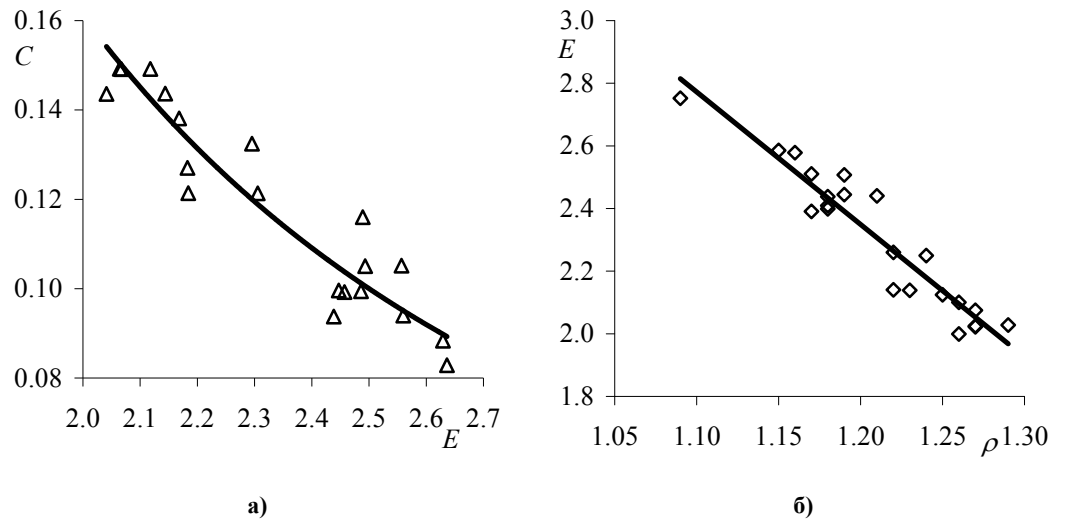


Рис. 4. Сравнение результатов расчетов согласно модели процесса пульпообразования с экспериментальными исследованиями зависимостей: а) объемной концентрации пульпы (дол. ед.) от  $E$  (ошибка не более 14 %); б)  $E$  от относительной плотности пульпы (ошибка не более 17 %).

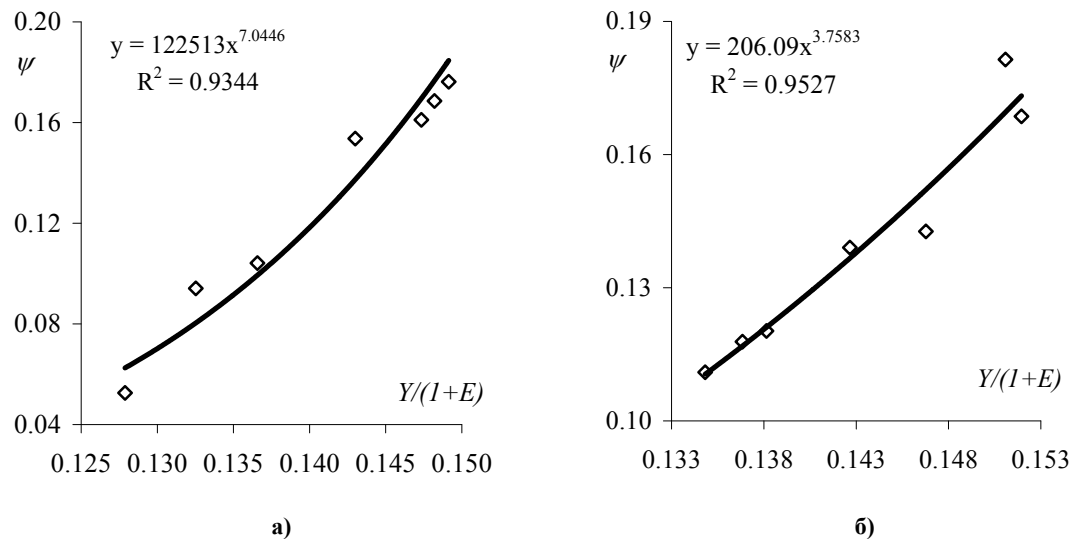


Рис. 5. Аппроксимация зависимости отношения объемных расходов твердой и жидкой фаз пульпы в трубопроводе от параметров процесса пульпообразования: а) режимы №1 и №3; б) режимы №2 и №4.

**Выводы.** Приведенные выше научные разработки прошли апробацию в промышленных условиях ВГМК в период с 2001 по 2008 г. Это позволило обосновать

следующие изменения в схеме гидротранспортирования: исключение из магистрали и демонтаж бустерной пульпонасосной станции, находившейся возле обогащительного производства, а также пульпонасосной станции, находившейся возле балки Глубокой; включение в магистраль новой бустерной пульпонасосной станции на межрудном целике; спрямление трубопроводов магистрали в месте предыдущего размещения пульпонасосной станции; оборудование и включение в магистраль новой бустерной пульпонасосной станции в месте спрямления трубопроводов; продвижение вслед за фронтом горных работ забойной пульпонасосной станции второй очереди на 1200 м; установка на всех пульпонасосных станциях второй очереди и на бустерных пульпонасосных станциях первой очереди насосов WBC18×20 (HD) с рабочими колесами диаметром 54"; изменение мест размещения насосов GIW LSA 18×20-44(45) с рабочим колесом диаметром 45" на гидротранспортных установках ВГМК; установка насоса Д2000 на каждой головной пульпонасосной станции непосредственно перед гидромонитором после отбора воды для подачи в зумпф по трубам диаметром 150 мм; исключение из схемы водоснабжения насоса второго подъема Д6300, находившегося в помещении пульпонасосной станции на борту карьера. Реализация этих технических предложений в период с 2005 по 2007 г.г. позволила предотвратить возникновение кавитационных и критических режимов работы; снизить потребление электроэнергии и оборотной воды; продлить срок эксплуатации гидротранспортного комплекса без установки дополнительного четвертого насоса.

### Библиографические ссылки

1. Проблемы разработки россыпных месторождений / [И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин]. – Днепропетровск, 2001. – 224 с.
2. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углубогащения / [Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семенов]. – Севастополь, 2002. – 247 с.
3. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий // [Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин]. – Д., 2006. – 416 с.
4. **Семенов Е.В.** Метод расчета параметров гидротранспорта отходов и продуктов обогащения / Е.В. Семенов, С.И. Криль // Обогащение полезных ископаемых, 2006. – №25(66)-26(67). – С. 176 – 183.
5. **Криль С.И.** Расчет параметров гидротранспорта песков россыпных и техногенных месторождений / С.И. Криль, Е.В. Семенов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – №5. – 2006. – С. 77 – 80.
6. **Криль С.И.** Расчет параметров гидротранспорта разноплотностных полидисперсных материалов / С.И. Криль, Е.В. Семенов // Промышленная гидравлика и пневматика. – 2006. – №3(13). – С. 38 – 43.
7. **Блюсс Б.А.** Расчет параметров трубопроводных систем для транспортирования технологических пульп / Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов, М.Н. Лившиц // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – 2009. – №1. – С. 29 – 34.
8. **Блюсс Б.А.** Моделирование пульсационных процессов при нестационарном течении гидросмеси в круглом трубопроводе / Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов // Вибрации в технике и технологиях. – 2007. – №3(48). – С. 93 – 96.
9. **Блюсс Б.А.** Расчет параметров трубопроводных систем для транспортирования технологических пульп / Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов // Обогащение руд. – 2008. – №1. – С. 29–34.
10. **Блюсс Б.А.** Обеспечение эффективной работы карьерных гидротранспортных комплексов с учетом процесса пульпообразования / Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин // Разработка рудных месторождений. – 2005. – Вып. 89. – С. 15 – 19.

11. **Блюсс Б.А.** Расчет термогидромеханических параметров трубопроводного транспорта полидисперсных материалов / Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – №1. – 2005. – С. 85 – 89.

*Надійшла до редколегії 15.02.10*

**УДК 502: 519.6**

Е.Р. Абрамовский

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

## **АЭРОЛОГИЯ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ В РАСЧЕТАХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ**

**Выполнен анализ поля воздушных потоков вокруг наиболее типовых городских сооружений. На основе выполненных расчетов и использования экспериментальных данных получены полуэмпирические соотношения, позволяющие определить коэффициенты сопротивления и боковых сил, которые действуют на городские сооружения при различных скоростях и направлении ветра. Наличие таких данных позволяет определить характер потоков загрязненного воздуха в нижнем слое городской атмосферы.**

*Ключевые слова: ветровой поток, городские объекты, аэродинамические силы, загрязнение воздуха.*

**Проведено аналіз поля повітряних потоків біля найбільш типових міських споруд. На основі проведених розрахунків і використання експериментальних даних отримано напівемпіричні співвідношення, які дозволяють визначити коефіцієнти опору і бокових сил, що діють на міські споруди при різних швидкостях і напрямках вітру. Наявність таких даних дозволяє визначити характер потоків забрудненого повітря в нижньому шарі міської атмосфери.**

*Ключові слова: вітровий потік, міські об'єкти, аеродинамічні сили, забруднення повітря.*

**The wind flow field near the typical city structures is studied and analyzed. Semi empirical relations, which make it possible to determine aerodynamic forces, acting on buildings and structures, are obtained on the basis of calculations and the use of experimental dates. Such relations can be used in analysis of polluted air flow within the lower layer of city atmosphere.**

*Keywords: wind flow, city buildings and structures, aerodynamic forces, air pollutions.*

**Введение.** Характер распространения загрязнений в рамках застроенной территории, существенным образом, зависит от высоты над поверхностью земли, на которой рассматривается ветровое течение. Ветровой поток над городской территорией можно условно разделить по высоте на три слоя. Первый, околосемный, имеет толщину, обусловленную средней высотой зданий и других объектов. Второй – расположен над околосемным и имеет такую толщину (высоту), на которой сохраняется влияние поверхностной структуры. Третий слой начинается на высоте, где влияние этой структуры отсутствует. Благодаря турбулентному характеру ветрового потока и вертикальному перемешиванию загрязнение поступает во все три слоя, но распространяется с различной скоростью. Наиболее важным с точки зрения оценки вредного воздействия загрязнений на жителей города есть нижний слой и, особенно, пешеходные зоны с высотой примерно 2 м над поверхностью земли. Для анализа ветровых потоков в околосемном слое необходимо исследовать аэрологию городских объектов, таких как отдельные здания, сооружения, уличные каньоны и т. п. Речь идет в определении давления на поверхности зданий и сооружений, их лобовом сопротивлении, а также о характере потоков непосредственно возле этих объектов. Следует заметить, что задачи определения