

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ ГИДРОТРАНСПОРТА ПРИ КАРТОВОМ ЗАМЫВЕ ХРАНИЛИЩА ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ

Пропонується методика розрахунку надкритичних режимів роботи гідротранспортного комплексу з розгалуженою системою трубопроводів в кінці магістралі, яка вперше враховує кількість, діаметр і довжину випускних трубопроводів, а також відстань між ними.

THE CALCULATION OF HYDROTRANSPORT PARAMETERS AND WORKING CONDITIONS DURING THE CARD WASHING OF TAILING PIT

The procedure of calculation of overcritical working conditions of hydrotransport complex with manifold system of pipelines at the end of the main is offered which first takes into account quantity, diameter and length of outlet pipes as well as spacing interval between them.

Одним из основных условий выживания населения Украины является переход на экологически безопасные технологии добычи, переработки и складирования отходов обогащения минерального сырья. При этом условием выживания для всех горных предприятий Украины в настоящее время является удешевление процесса производства, снижение себестоимости и повышение конкурентоспособности продукции [1-5]. Для горнодобывающих и горно-обогатительных предприятий наиболее эффективным способом воплощения стратегии развития, учитывающей оба указанных фактора, является оптимизация системы транспортирования и складирования отходов обогащения [2-5]. Как показывает опыт отечественных и зарубежных исследователей, наиболее рациональным решением для горно-обогатительных комбинатов (ГОК) Кривбасса является применение напорного гидротранспорта [6, 7]. Однако этот вид транспорта характеризуется высокой энергоемкостью, поэтому основным условием его эффективного применения является выбор и обоснование рациональных параметров и режимов работы [8]. Таким образом, задача их выбора и обоснования является актуальной научно-практической задачей [1, 2, 9, 10].

На многих железорудных ГОКах Кривбасса используется картвый способ замыва хранилищ отходов, когда пульпа из основного трубопровода, проложенного по дамбе, подается в хранилище через равномерно расположенные выпуски [11]. Поэтому основной особенностью гидротранспортных установок, обеспечивающих отвод отходов обогащения, является разветвленная сеть выпусков в конце магістралі. От таких установок требуется уже не просто отвести регламентированный объем отходов, а и обеспечить при этом заданные параметры течения в каждом из выпусков. В этом случае параметры и режимы работы гидротранспортной установки определяют не только энергоемкость процесса отведения, но и качество укладки отходов, то есть надежность бортов и откосов хранилища.

Большая часть хранилищ отходов, расположенных в Кривбассе, была создана во второй половине прошлого века, они уже заполнены более, чем на 70% своего объема, и в ближайшие годы будут выводиться из эксплуатации. Так, на Южном ГОКе завершается эксплуатация хранилища отходов «Войково» и предполагается введение второй карты хранилища «Объединенное». Очевидно, что изменившиеся со времени проектирования существующих хранилищ экономические условия, а именно, значительное удорожание электроэнергии, сокращение запасов воды и существенное ужесточение требований экологической безопасности, требуют нового подхода к расчету параметров и режимов работы гидротранспортных установок. При этом на первый план выходят условия обеспечения минимальной энергоемкости и регламентированных параметров подачи пульпы в карты хранилища.

Исследованием и расчетом параметров и режимов работы гидротранспортных установок, обеспечивающих отвод отходов обогащения железорудных ГОКов, занимались многие авторы [3-10, 12, 13]. При этом основное внимание в этих исследованиях уделялось изучению зависимости критической скорости и гидравлического уклона от параметров транспортируемого материала [5-8], пересчету расходно-напорных характеристик насосов при перекачивании гидросмеси [12, 13], регламента и надежности работы установок [5, 9, 10] или же разработке средств защиты от гидравлических ударов [3, 4].

Исследования вопроса течения гидросмеси в трубопроводе с системой выпусков или в трубопроводе с равномерной раздачей неизвестны. Так, нормативный документ, которым руководствовались при проектировании существующих хранилищ и используют при создании новых, «РСН 275-75. Временные указания по технологии возведения намывных хвостохранилищ горнообогатительных комбинатов» не содержит методики расчета таких трубопроводов. Согласно этому документу диаметры и расстояние между выпусками нужно выбирать, исходя из опыта эксплуатации [11].

Таким образом, цель публикации – разработка математической модели и метода расчета параметров и режимов работы гидротранспортного комплекса с разветвленной системой выпусков пульпы в конце магистрали.

Замыв карт хранилища отходов обычно производится через четыре выпуска, расположенных на откосах дамбы (см. рис. 1). Последний выпуск отходит от торца трубопровода, а остальные три ввариваются в трубопровод на расстоянии 100 калибров друг от друга и от торца трубопровода (см. рис. 1) [11].

В рамках гидравлики процесс течения пульпы из магистрального трубопровода через отводы в карту хранилища отходов может быть охарактеризован как процесс истечения из отверстия или насадка [11, 14]. Если диаметр отверстия в трубопроводе, проложенном по дамбе, совпадает с диаметром отвода, то процесс течения в таком отводе аналогичен процессу истечения через насадку Вентури [14]. В этом случае расход пульпы через отвод может быть вычислен так [14]:

$$Q_b = \mu F_b \sqrt{2gH}; \quad F_b = \frac{\pi D_b^2}{4}; \quad H = \frac{P - P_A}{\rho_0 g}; \quad (1)$$

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \frac{a + e l}{\text{Re}_T}}; \quad \mu_0 = \frac{B \ell^{0.123 \alpha}}{1 + E \ell}; \quad \text{Re}_T = \frac{D_b}{\nu} \sqrt{2gH}; \quad l = \frac{L_b}{D_b}; \quad \Delta Z = L_b \sin \alpha,$$

где Q_b – расход пульпы через отвод, м³/с; μ – коэффициент расхода при истечении через насадку Вентури [14]; F_b – площадь поперечного сечения отвода, м²; g – ускорение свободного падения, м/с² ($g=9.81$); H – характеристический напор, м. вод. ст. [14]; Re_T – число Рейнольдса для течения в отводе; D_b – диаметр отвода, м; P – абсолютное давление в начальном сечении отвода, Па; P_A – атмосферное давление, Па; ρ – относительная плотность пульпы, ($\rho=1.04$); ΔZ – разница геодезических отметок конечного и начального сечения отвода, м; ρ_0 – плотность воды, кг/м³ ($\rho_0=1000$); ℓ – основание натурального логарифма, ($\ell=2.71$); α – угол наклона отвода к горизонту, рад.; E, a, e, B – эмпирические коэффициенты ($E=0.0057, a=97, e=211, B=0.822$) [12]; ν – кинематический коэффициент вязкости пульпы, м²/с [7, 8]; π – константа, равная 3.14.

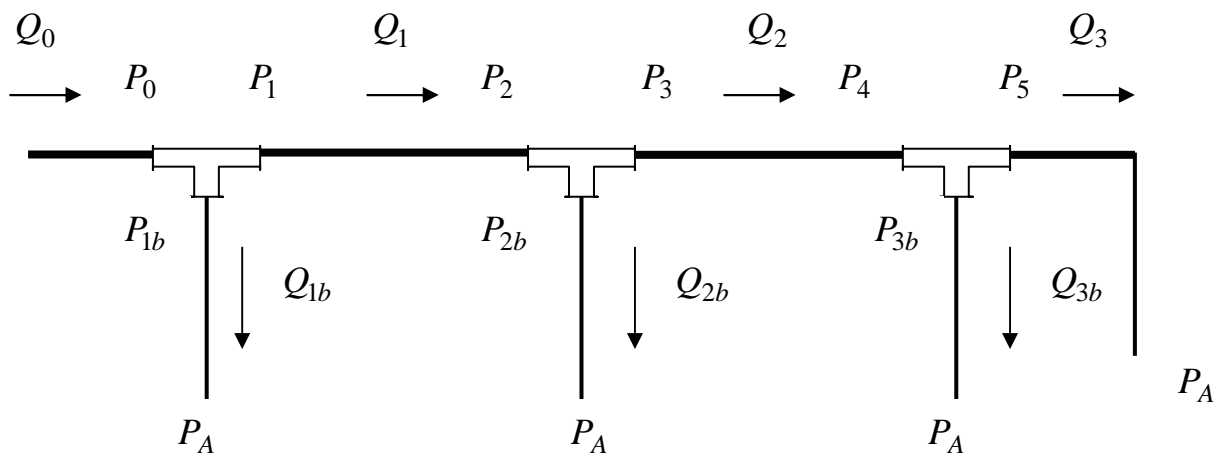


Рис. 1 – Принципиальная схема распределения потоков и давлений на участке замыва карты

Если же диаметр отверстия в трубопроводе, проложенном по дамбе, меньше диаметра отвода, то процесс течения в таком отводе аналогичен процессу истечения из отверстия в тонкой стенке [14]. В этом случае при расчете расхода пульпы через отвод в формулах (1) значение коэффициента расхода μ нужно принимать равным 0.592 [14]. При этом поток внутри отвода может быть безнапорным и не занимать всего поперечного сечения трубопровода.

Значение величины H для рассматриваемых случаев будет зависеть от

величин давлений в начальном сечении отвода и в магистральном трубопроводе до и после отвода, от соотношения расходов пульпы в отводе и в магистральном трубопроводе, от соотношения диаметров отвода и магистрального трубопровода, от порядкового номера отвода (рис. 1).

Зависимость давлений в начальном сечении отвода и в магистральном трубопроводе до и после отвода от соотношения расходов в отводе и в магистральном трубопроводе и от соотношения диаметров отвода и магистрального трубопровода достаточно полно была исследована в работах [11, 14].

Используя результаты работ [11, 14] для расчета давления потока после тройников и уравнение Бернули для участков трубопровода между тройниками, можно записать выражения для расчета давлений в начальных сечениях каждого отвода [14]

$$\frac{P_{1b}}{\rho_0 g} = \frac{P_0}{\rho_0 g} - \xi_b^{(0)} \frac{\rho Q_0^2}{2gF_0^2}; \quad (2)$$

$$\frac{P_{2b}}{\rho_0 g} = \frac{P_0}{\rho_0 g} - \xi_c^{(0)} \frac{\rho Q_0^2}{2gF_0^2} - \xi_b^{(1)} \frac{\rho(Q_0 - Q_{1b})^2}{2gF_0^2} - J_{12}\Delta L; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{P_{3b}}{\rho_0 g} = \frac{P_0}{\rho_0 g} - \xi_c^{(0)} \frac{\rho Q_0^2}{2gF_0^2} - \xi_c^{(1)} \frac{\rho(Q_0 - Q_{1b})^2}{2gF_0^2} - \\ - \xi_b^{(2)} \frac{\rho(Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b})^2}{2gF_0^2} - (J_{12} + J_{23})\Delta L \end{aligned} \quad ; \quad (4)$$

$$\xi_b^{(0)} = A_b - B_b \frac{Q_{1b}}{Q_0} + E_b \left(\frac{Q_{1b}}{Q_0} \right)^2; \quad \xi_b^{(1)} = A_b - B_b \frac{Q_{2b}}{Q_0 - Q_{1b}} + E_b \left(\frac{Q_{2b}}{Q_0 - Q_{1b}} \right)^2; \quad (5)$$

$$\xi_b^{(2)} = A_b - B_b \frac{Q_{3b}}{Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b}} + E_b \left(\frac{Q_{3b}}{Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b}} \right)^2; \quad (6)$$

$$\xi_c^{(1)} = A_c - B_c \frac{Q_{2b}}{Q_0 - Q_{1b}} + E_c \left(\frac{Q_{2b}}{Q_0 - Q_{1b}} \right)^2; \quad \xi_c^{(0)} = A_c - B_c \frac{Q_{1b}}{Q_0} + E_c \left(\frac{Q_{1b}}{Q_0} \right)^2; \quad (7)$$

$$J_{12} = \frac{0.154\rho(Q_0 - Q_{1b})^2}{1g^2 \left(\frac{4(Q_0 - Q_{1b})}{10\pi D\nu} \right) gF_0^2} + \frac{C}{Q_0 - Q_{1b}}; \quad (8)$$

$$J_{23} = \frac{0.154\rho(Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b})^2}{1g^2 \left(\frac{4(Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b})}{10\pi D\nu} \right) gF_0^2} + \frac{C}{Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b}}; \quad F_0 = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (9)$$

где P_{1b} – абсолютное давление в начальном сечении первого отвода, Па; P_0 – абсолютное давление перед участком намыва, Па; Q_0 – расход пульпы, по-

ступающей на участок намыва, м³/с; F_0 – площадь поперечного сечения магистрального трубопровода, м²; P_{2b} – абсолютное давление в начальном сечении второго отвода, Па; P_{3b} – абсолютное давление в начальном сечении третьего отвода, Па; Q_{1b} – расход пульпы через первый отвод, м³/с; Q_{2b} – расход пульпы через второй отвод, м³/с; J_{12} – гидравлический уклон при течении пульпы между первым и вторым отводами, м. вод. ст./м; J_{23} – гидравлический уклон при течении пульпы между вторым и третьим отводами, м. вод. ст./м; ΔL – расстояние между отводами, м; $\xi_b^{(0)}$, $\xi_b^{(1)}$, $\xi_b^{(2)}$ – коэффициенты местного гидравлического сопротивления при отборе потока из магистрального трубопровода в отвод [14]; $\xi_c^{(0)}$, $\xi_c^{(1)}$ – коэффициенты местного гидравлического сопротивления при течении потока через тройник с отводом [12]; A_b , B_b , E_b , A_c , B_c , E_c – эмпирические коэффициенты ($A_b=1.209$, $B_b=0.3716$, $E_b=2.4695$, $A_c=0.8112$, $B_c=1.0198$, $E_c=0.8902$) [14]; D – диаметр магистрального трубопровода, м.

На основании формул (1) с учетом выражений (2) – (9) характеристические напоры для каждого отвода можно записать в виде

$$H_i = H_0 - \wp(\psi_i - B_b Q_{i-1} Q_{ib} + E_b Q_{ib}^2); \quad (10)$$

$$H_0 = \frac{P_0 - P_A}{\rho_0 g} - \rho \Delta Z; \quad \wp = \frac{\rho}{2gF_0^2}; \quad Q_1 = Q_0 - Q_{1b};$$

$$\psi_2 = \frac{J_{12}}{\wp} \Delta L + A_c (Q_0^2 + Q_1^2) + E_c Q_{1b}^2 + B_c Q_0 Q_{1b}; \quad \psi_1 = A_b Q_0^2;$$

$$Q_2 = Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b};$$

$$\psi_3 = (J_{12} + J_{23}) \frac{\Delta L}{\wp} + A_c (Q_0^2 + Q_1^2) + A_b Q_2^2 - B_c (Q_{2b} Q_1 + Q_0 Q_{1b}) + E_c (Q_{1b}^2 + Q_{2b}^2);$$

где H_i – напор в начальном сечении i -го отвода, м. вод. ст.; H_0 – напор в начале участка замыва, м. вод. ст.; Q_1 – расход пульпы в трубопроводе между первым и вторым отводами, м³/с; Q_2 – расход пульпы в трубопроводе между первым и вторым отводами, м³/с; i – номер отвода, отсчитанный от начала участка намыва ($i=1, 2, 3$).

Подставив выражение (10) в формулу (1) и проделав несложные преобразования, получим уравнение для расчета расхода пульпы через i -й отвод

$$Q_{ib}^2 - \frac{2g \wp B_b Q_{i-1}}{w_b} Q_{ib} - \frac{2g}{w_b} (H_0 - \wp \psi_i) = 0; \quad w_b = 2g \wp E_b + \left(\frac{1}{\mu F_b} \right)^2,$$

решение которого имеет вид

$$Q_{ib} = \frac{g \wp B_b}{w_b} \left(1 + \sqrt{1 + 2w_b \frac{H_0 - \wp \psi_i}{g \wp^2 B_b^2 Q_{i-1}^2}} \right) Q_{i-1}. \quad (11)$$

Величина H_0 зависит от расходно-напорных характеристик выбранных насосов и магистрали до участка намыва

$$H_0 = H - \rho(H_b - H_z) - J_0 L_0; \quad J_0 = \frac{0.154 \rho Q_0^2}{1g^2 \left(\frac{4Q_0}{10\pi D \nu} \right) g F_0^2} + \frac{C}{Q_0},$$

где H – суммарный напор насосов, м. вод. ст.; H_b – разница геодезических отметок дамбы, с которой осуществляется выпуск пульпы, и оси первого насоса, м; H_z – высота пульпы в зумпфе, м; J_0 – гидравлический уклон при течении пульпы по магистральному трубопроводу, м. вод. ст./м; L_0 – длина магистрального трубопровода, м; C – константа, зависящая от критической скорости и плотности пульпы, м³/с [6-8].

Для расчета величины Q_0 , а также величин всех остальных расходов в области сверхкритических режимов методом дихотомии решалось следующее уравнение:

$$H = J_0 L_0 + (J_{12} + J_{23}) \Delta L + J_3 L_3 + \rho(H_b - H_z - \Delta Z) + \wp \sum_{j=0}^2 \xi_c^{(j)} Q_j^2;$$

$$J_3 = \frac{0.154 \rho Q_3^2}{1g^2 \left(\frac{4Q_3}{10\pi D \nu} \right) g F_0^2} + \frac{C}{Q_3}; \quad Q_3 = Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b} - Q_{3b};$$

$$\xi_c^{(2)} = A_c - B_c \frac{Q_{3b}}{Q_2} + E_c \left(\frac{Q_{3b}}{Q_2} \right)^2,$$

где J_3 – гидравлический уклон при течении пульпы после третьего отвода, м. вод. ст./м; L_3 – длина трубопровода за третьим отводом, м; Q_3 – расход пульпы в трубопроводе после третьего отвода, м³/с; Q_{3b} – расход пульпы через третий отвод, м³/с.

По предлагаемой методике для условий проектируемой на ЮГОКе второй карты хранилища отходов «Объединенное» были произведены расчеты параметров и режимов гидротранспорта по различным расчетным схемам с насосами GIW HND 24×26-76, GIW LHD 24×26-76, GIW WBC 18×20-54 и GIW LSA 18×20-45 при номинальной частоте вращения рабочего колеса (см. табл. 1-3).

В соответствии с «Исходными данными на 2006 – 2015 г.г. по потреблению воды и выходу хвостов обогатительных фабрик ОАО «ЮГОК» при производительности до 22 млн. т/год сырой руды с массовой долей влаги 1%» все расчеты для указанных выше вариантов производились для плотности отводимой пульпы 1.04 т/м^3 , что соответствует массовой концентрации 6%. При этом критическая подача для транспортируемого материала в зависимости от диаметра трубопровода изменяется от $3250 \text{ м}^3/\text{ч}$ для трубопровода диаметром 800 мм до $8270 \text{ м}^3/\text{ч}$ для трубопровода диаметром 1200 мм.

Таблица 1 – Параметры расчетных схем при работе в два подъема

Номер схемы	Насосная станция первого подъема	Насосная станция второго подъема	Карта для складирования
1	ПНС2	ПНС1	II
2	ПНС2	ПНС СП	II
3	ПНС3	БПНС	II
5	ПНС3	–	II

Таблица 2 – Параметры магистралей гидротранспортных установок для различных расчетных схем при подаче пульпы на разные отметки

Номер схемы расчета	Величина	Геодезическая отметка подачи пульпы (H_g), м								
		100	106	112	118	124	130	136	142	148
1	ΔZ , м	29.13	35.13	41.13	47.13	53.13	59.13	65.13	71.13	77.13
	L_0 , м	5087	5128	5169	5210	5251	5292	5333	5374	5415
	L_N , м	9597	9542	9487	9432	9377	9322	9267	9211	9156
2	ΔZ , м	29.13	35.13	41.13	47.13	53.13	59.13	65.13	71.13	77.13
	L_0 , м	5177	5218	5259	5300	5341	5382	5423	5464	5505
	L_N , м	9687	9632	9577	9522	9467	9412	9357	9301	9246
3	ΔZ , м	34.5	40.5	46.5	52.5	58.5	64.5	70.5	76.5	82.5
	L_0 , м	5517	5558	5599	5640	5681	5722	5763	5804	5845
	L_N , м	10027	9972	9917	9862	9807	9752	9697	9641	9586
5	ΔZ , м	34.5	40.5	46.5	52.5	58.5	64.5	70.5	76.5	82.5
	L_0 , м	5267	5308	5349	5390	5431	5472	5513	5554	5595
	L_N , м	9777	9722	9667	9612	9557	9502	9447	9391	9336

Таблица 3 – Коэффициенты аппроксимации паспортных расходно-напорных характеристик центробежных насосов

Название насоса	Значение коэффициента		
	A_0	$A_1 \cdot 10^3$	$A_2 \cdot 10^7$
GIW ННД 24×26-76	109,56	-0,6	-0,7
GIW ЛНД 24×26-76	73,442	-1	-0,5
GIW WBC 18×20-54	89,382	-2,3	-3
GIW LSA 18×20-45	57,996	0,4	-5

В ходе расчетов определены следующие параметры: подача пульпы, напор одного насоса, мощность одного насоса, давление перед вторым насосом и давление перед участком намыва. Расчеты производились для двух вариантов намыва карт хранилища отходов (см. табл. 2). В первом случае длина трубопровода магистрали (L_0), проложенного по дамбам текущей отметки хранилища отходов (H_g), принималась минимально, а во втором случае (L_N) – максимально возможной.

Все расчеты производились для трубопроводов диаметром (D) 1000 и 1100 мм и средней плотности транспортируемого материала 2950 кг/м^3 (см. табл. 4-7).

Таблица 4 – Расход пульпы (тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$) через отводы на участке замыва карты, осредненный по высоте подачи пульпы, при отводе отходов обогащения по различным схемам расчета насосами GIW HHD 24×26-76 и GIW LHD 24×26-76

Участок замыва	Диаметр магистрального трубопровода, мм											
	1100						1000					
	Q_{1b}		Q_{2b}		Q_{3b}		Q_{1b}		Q_{2b}		Q_{3b}	
D	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Схема расчета №3, насос GIW HHD 24×26-76												
0.15	0.55	0.51	0.52	0.49	0.48	0.46	0.45	0.41	0.42	0.39	0.39	0.37
0.20	1.05	0.98	0.99	0.94	0.94	0.90	0.86	0.80	0.81	0.76	0.77	0.73
0.25	1.70	1.60	1.61	1.53	1.52	1.48	1.40	1.29	1.32	1.24	1.25	1.20
0.30	2.46	2.32	2.33	2.24	2.23	2.18	2.03	1.88	1.92	1.81	1.83	1.77
0.35	3.32	3.07	3.16	2.97	3.06	2.92	2.73	2.51	2.59	2.43	2.50	2.39
0.40	4.17	4.01	3.98	3.92	3.90	3.90	3.45	3.26	3.29	3.17	3.22	3.15
0.45	5.18	5.09	5.00	5.02	4.98	5.05	4.23	4.14	4.06	4.07	4.03	4.09
0.50	6.35	6.27	6.23	6.26	6.27	6.30	5.18	5.11	5.05	5.09	5.07	5.13
Схема расчета №5, насос GIW HHD 24×26-76												
0.15	0.47	0.45	0.46	0.44	0.45	0.44	0.37	0.36	0.36	0.35	0.36	0.35
0.20	0.90	0.87	0.88	0.86	0.86	0.85	0.73	0.70	0.71	0.68	0.70	0.68
0.25	1.47	1.42	1.44	1.40	1.42	1.38	1.19	1.14	1.16	1.13	1.15	1.11
0.30	2.16	2.12	2.12	2.09	2.09	2.08	1.80	1.71	1.77	1.69	1.70	1.68
0.35	2.98	2.97	2.94	2.95	2.92	2.95	2.44	2.39	2.37	2.38	2.36	2.38
0.40	3.96	3.96	3.94	3.97	3.93		3.21	3.20	3.18		3.19	
0.45	5.05	5.05	5.06	5.07	5.07		4.10	4.27	4.08		4.10	
0.50	6.26	6.25	6.30	6.29	6.30		5.08	5.09	5.10		5.11	
Схема расчета №3, насос GIW LHD 24×26-76												
0.15	0.49	0.47	0.47	0.46	0.46	0.44	0.40	0.37	0.38	0.36	0.37	0.36
0.20	0.95	0.91	0.92	0.89	0.89	0.87	0.77	0.73	0.74	0.71	0.72	0.70
0.25	1.54	1.47	1.49	1.44	1.45	1.42	1.26	1.19	1.21	1.16	1.18	1.15
0.30	2.38	2.14	2.32	2.10	2.29	2.08	1.82	1.86	1.76	1.83	1.73	1.81
0.35	3.02	2.98	2.95	2.94	2.92	2.93	2.47	2.42	2.41	2.38	2.38	2.37
0.40	3.99	3.96	3.93	3.94	3.92	3.94	3.24	3.29	3.18	3.27	3.17	3.19
0.45	5.12	5.15	5.10	5.17	5.05	5.08	4.12	4.11	4.09	4.11	4.10	4.12
0.50	6.25	6.55	6.27	5.62	6.29		5.09	5.41	5.10	4.57	5.12	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Схема расчета №5, насос GIW LHD 24×26-76												
0.15	0.49	0.47	0.47	0.46	0.46	0.44						
0.20	0.95	0.91	0.92	0.89	0.89	0.87						
0.25	1.54	1.47	1.49	1.44	1.45	1.42						
0.30	2.38	2.14	2.32	2.10	2.29	2.08						
0.35	3.02	2.98	2.95	2.94	2.92	2.93						
0.40	3.99	3.96	3.93	3.94	3.93	3.94						
0.45	5.12	5.15	5.10	5.17	4.53	5.08						
0.50												

Таблица 5 – Расход пульпы (тыс. м³/ч) через отводы на участке замыва карты, усредненный по высоте подачи пульпы, при отводе отходов обогащения по различным схемам расчета насосами GIW WBC 18×20-54 и GIW LSA 18×20-45

Уча- сток замы- ва	Диаметр магистрального трубопровода, мм											
	1100						1000					
	Q_{1b}		Q_{2b}		Q_{3b}		Q_{1b}		Q_{2b}		Q_{3b}	
$\frac{D_b}{D}$	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Схема расчета №1, насос GIW WBC 18×20-54												
0.15	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.35
0.20	0.88	0.86	0.87	0.85	0.85	0.84	0.73	0.71	0.71	0.70	0.70	0.69
0.25	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.19	1.15	1.16	1.13	1.14	1.12
0.30	2.12	2.25	2.10	2.23	2.08	2.07	1.72	1.77	1.69	1.75	1.67	1.69
0.35	2.97	2.96	2.95	2.94	2.94		2.44	2.44	2.41	2.42	2.38	2.45
0.40	4.04	4.02	4.04	4.03			3.20	3.35	3.19	3.34	3.19	
0.45	5.04	5.03	5.07	5.06			4.20	4.09	4.22	4.11	4.12	
0.50	6.24	6.46	6.29	5.62			5.06	5.07	5.10	5.11		
Схема расчета №2, насос GIW WBC 18×20-54												
0.15	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.35
0.20	0.89	0.87	0.87	0.85	0.85	0.84	0.73	0.71	0.71	0.70	0.70	0.69
0.25	1.42	1.41	1.40	1.40	1.38	1.39	1.18	1.16	1.16	1.13	1.14	1.12
0.30	2.19	2.12	2.16	2.09	2.08	2.09	1.85	1.71	1.82	1.69	1.80	1.68
0.35	3.00	2.99	2.98	2.98	2.94		2.41	2.41	2.38	2.40	2.37	2.38
0.40	4.08	4.42	4.08	3.56			3.20	3.20	3.18	3.20	3.19	
0.45	5.04	5.03	5.07	5.06			4.11	4.10	4.12	4.11	4.12	
0.50	7.17	6.25	4.31	6.29			5.06	5.08	5.10	5.12		
Схема расчета №1, насос GIW LSA 18×20-45												
0.15	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43		0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34
0.20	0.86	0.84	0.85	0.83	0.84		0.69	0.68	0.68	0.67	0.67	0.67
0.25	1.41	1.40	1.40	1.39			1.14	1.13	1.13	1.12	1.11	
0.30	2.13	2.16	2.11	2.15			1.77	1.71	1.76	1.70	1.68	
0.35	3.13	2.96	3.13	2.96			2.46	2.39	2.45	2.39		
0.40	3.92	3.94	3.94	3.95			3.20	3.19	3.20	3.20		
0.45	5.04	5.06	5.07	5.08			4.46	4.10	3.46	4.12		

Продолжение табл. 5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0.50	6.29	6.30	6.30	6.30			5.18	5.36	4.29	3.91		
Схема расчета №2, насос GIW LSA 18×20-45												
0.15	0.44	0.43	0.43	0.42	0.43		0.36	0.35	0.35	0.34	0.35	0.34
0.20	0.84	0.85	0.83	0.84	0.82		0.69	0.68	0.68	0.67	0.67	0.66
0.25	1.41	1.77	1.39	1.39			1.13	1.13	1.12	1.12	1.11	
0.30	2.12	2.14	2.11	2.13			1.73	1.88	1.72	1.87	1.68	
0.35	2.96	3.14	2.95	3.14			2.39	2.39	2.39	2.39		
0.40	3.93	3.93	3.94	3.95			3.19	3.19	3.20	3.20		
0.45	5.05	5.05	5.07	5.07			4.09	4.09	4.11	4.11		
0.50	6.58	6.31	3.21	6.30			5.18	5.11	4.28	5.13		

Таблица 6 – Скорость пульпы (м/с) в выпусках на участке замыва карты, осредненная по высоте подачи пульпы, при отводе отходов обогащения по различным схемам расчета насосами GIW HHD 24×26-76 и GIW LHD 24×26-76

Участок замыва	Диаметр магистрального трубопровода, мм											
	1100						1000					
	Отвод №1		Отвод №2		Отвод №3		Отвод №1		Отвод №2		Отвод №3	
$\frac{D_b}{D}$	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Схема расчета №3, насос GIW HHD 24×26-76												
0.15	7.11	6.62	6.70	6.32	6.29	6.03	7.01	6.43	6.61	6.15	6.20	5.88
0.20	7.71	7.19	7.26	6.88	6.85	6.59	7.64	7.03	7.19	6.73	6.77	6.46
0.25	7.97	7.46	7.52	7.15	7.13	6.91	7.93	7.32	7.47	7.02	7.08	6.78
0.30	8.01	7.55	7.57	7.26	7.26	7.08	7.98	7.41	7.54	7.12	7.20	6.94
0.35	7.93	7.34	7.54	7.09	7.31	6.97	7.89	7.26	7.48	7.01	7.23	6.89
0.40	7.62	7.34	7.27	7.16	7.14	7.12	7.63	7.20	7.27	7.01	7.11	6.97
0.45	7.48	7.35	7.22	7.26	7.19	7.29	7.39	7.23	7.09	7.12	7.03	7.15
0.50	7.43	7.34	7.29	7.32	7.34	7.37	7.33	7.23	7.14	7.21	7.18	7.25
Схема расчета №5, насос GIW HHD 24×26-76												
0.15	6.08	5.87	5.92	5.75	5.80	5.70	5.86	5.65	5.70	5.54	5.61	5.49
0.20	6.60	6.37	6.43	6.25	6.32	6.18	6.42	6.18	6.26	6.07	6.16	6.01
0.25	6.88	6.64	6.72	6.53	6.66	6.47	6.72	6.46	6.56	6.37	6.50	6.29
0.30	7.03	6.88	6.90	6.81	6.80	6.76	7.08	6.72	6.96	6.65	6.67	6.62
0.35	7.12	7.09	7.03	7.05	6.98	7.03	7.05	6.91	6.96	6.88	6.80	6.87
0.40	7.24	7.25	7.20	7.25	7.19		7.11	7.08	7.06	7.08	7.04	
0.45	7.30	7.29	7.30	7.32	7.32		7.16	7.45	7.17	7.20	7.17	
0.50	7.33	7.32	7.37	7.36	7.37		7.19	7.21	7.23	7.25	7.23	
Схема расчета №3, насос GIW LHD 24×26-76												
0.15	6.38	6.09	6.14	5.93	5.92	5.77	6.23	5.90	6.00	5.74	5.77	5.59
0.20	6.94	6.64	6.70	6.48	6.48	6.33	6.82	6.47	6.57	6.31	6.35	6.17
0.25	7.23	6.88	6.99	6.73	6.81	6.62	7.12	6.74	6.88	6.59	6.69	6.49
0.30	7.74	6.96	7.54	6.83	7.42	6.75	7.17	7.30	6.94	7.19	6.80	7.13
0.35	7.21	7.11	7.03	7.02	6.97	7.00	7.14	6.98	6.95	6.89	6.87	6.84
0.40	7.29	7.23	7.18	7.20	7.17	7.20	7.16	7.27	7.02	7.24	7.01	7.06
0.45	7.40	7.44	7.36	7.46	7.30	7.33	7.20	7.18	7.14	7.19	7.16	7.19
0.50	7.31	7.66	7.34	6.58	7.36		7.21	7.66	7.22	6.46	7.25	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Схема расчета №5, насос GIW LHD 24×26-76												
0.15	6.38	6.09	6.14	5.93	5.92	5.77						
0.20	6.94	6.64	6.70	6.48	6.48	6.33						
0.25	7.23	6.88	6.99	6.73	6.81	6.62						
0.30	7.74	6.96	7.54	6.83	7.42	6.75						
0.35	7.21	7.11	7.03	7.02	6.97	7.00						
0.40	7.29	7.23	7.18	7.20	7.17	7.20						
0.45	7.40	7.44	7.36	7.46	7.30	7.33						
0.50												

Таблица 7 – Скорость пульпы (м/с) в выпусках на участке замыва карты, осредненная по высоте подачи пульпы, при отводе отходов обогащения по различным схемам расчета насосами GIW WBC 18×20-54 и GIW LSA 18×20-45

Участок замыва	Диаметр магистрального трубопровода, мм											
	1100						1000					
	Отвод №1		Отвод №2		Отвод №3		Отвод №1		Отвод №2		Отвод №3	
$\frac{D_b}{D}$	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N	L_0	L_N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Схема расчета №1, насос GIW WBC 18×20-54												
0.15	5.97	5.88	5.84	5.77	5.72	5.67	5.89	5.76	5.74	5.63	5.59	5.52
0.20	6.46	6.31	6.33	6.21	6.22	6.14	6.47	6.30	6.31	6.17	6.17	6.07
0.25	6.67	6.60	6.55	6.51	6.47	6.41	6.74	6.52	6.59	6.40	6.48	6.32
0.30	6.90	7.31	6.81	7.25	6.74	6.72	6.78	6.96	6.64	6.88	6.58	6.85
0.35	7.10	7.06	7.05	7.03	7.02		7.05	7.03	6.96	6.99	6.86	7.09
0.40	7.38	7.36	7.38	7.37			7.09	7.40	7.05	7.40	7.06	
0.45	7.28	7.26	7.32	7.30			7.35	7.15	7.37	7.18	7.20	
0.50	7.30	7.56	7.36	6.57			7.16	7.18	7.21	7.23		
Схема расчета №2, насос GIW WBC 18×20-54												
0.15	5.96	5.87	5.83	5.76	5.71	5.66	5.90	5.75	5.74	5.63	5.59	5.51
0.20	6.48	6.33	6.35	6.22	6.24	6.14	6.47	6.31	6.31	6.18	6.17	6.08
0.25	6.66	6.62	6.54	6.53	6.46	6.48	6.71	6.54	6.55	6.42	6.44	6.35
0.30	7.10	6.87	7.02	6.81	6.78	6.79	7.26	6.73	7.14	6.64	7.08	6.58
0.35	7.16	7.15	7.11	7.12	7.02		6.96	6.97	6.87	6.92	6.85	6.87
0.40	7.46	8.07	7.46	6.51			7.07	7.08	7.03	7.07	7.06	
0.45	7.28	7.27	7.32	7.31			7.18	7.16	7.19	7.19	7.19	
0.50	8.38	7.32	5.04	7.36			7.16	7.19	7.21	7.24		
Схема расчета №1, насос GIW LSA 18×20-45												
0.15	5.70	5.71	5.62	5.64	5.56		5.61	5.50	5.52	5.42	5.45	5.41
0.20	6.25	6.13	6.18	6.06	6.15		6.06	5.99	5.97	5.92	5.92	5.90
0.25	6.58	6.54	6.52	6.49			6.43	6.38	6.36	6.32	6.29	
0.30	6.90	7.00	6.86	6.98			6.96	6.71	6.91	6.67	6.60	
0.35	7.47	7.07	7.47	7.07			7.10	6.91	7.08	6.90		
0.40	7.18	7.20	7.19	7.22			7.07	7.06	7.08	7.08		
0.45	7.28	7.30	7.32	7.33			7.79	7.17	6.04	7.20		
0.50	7.36	7.37	7.37	7.37			7.33	7.58	6.08	5.53		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Схема расчета №2, насос GIW LSA 18×20-45												
0.15	5.66	5.60	5.58	5.52	5.63		5.59	5.49	5.50	5.41	5.45	5.39
0.20	6.14	6.24	6.06	6.17	5.99		6.08	5.97	5.99	5.90	5.95	5.86
0.25	6.57	8.25	6.52	8.22			6.40	6.43	6.32	6.37	6.30	
0.30	6.89	6.93	6.86	6.91			6.81	7.39	6.75	7.36	6.62	
0.35	7.06	7.50	7.06	7.50			6.91	6.90	6.89	6.90		
0.40	7.19	7.19	7.21	7.21			7.06	7.06	7.07	7.07		
0.45	7.29	7.30	7.33	7.33			7.15	7.15	7.18	7.18		
0.50	7.69	7.38	3.75	7.37			7.33	7.24	6.06	7.26		

Пустые клетки в табл. 4-7 соответствуют возникновению критического режима течения в трубопроводе между отводами или невозможности обеспечить регламентированную подачу пульпы на данную геодезическую отметку.

Анализ результатов расчетов свидетельствует, что при течении в сверхкритических режимах значения расхода пульпы через отводы и расходы в трубопроводах между отводами для разных высот подачи пульпы при всех расчетных схемах можно усреднить. При этом максимальное значение среднего отклонения не превысит 4% от среднего значения.

Полученные результаты использованы институтом УКРГИПРОРУДА для оценки эффективности работы системы отведения отходов обогащения ЮГОКа и разработке рекомендаций по ее модернизации на период выведения из эксплуатации хранилища «Войково» и начала эксплуатации второй карты хранилища «Объединенное».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
2. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягельский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семененко. – Севастополь: «Вебер», 2002. – 247 с.
3. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
4. Джваршеишвили А.Г. Системы трубопроводного транспорта горно-обогатительных предприятий. – М.: Недра, 1981. – 384 с.
5. Нурок Г.А. Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ. – М.: Недра, 1985. – 583 с.
6. Коберник С.Г., Войтенко В.И. Напорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов. – Киев: Наукова думка, 1967. – 138 с.
7. Карасик В.М., Асауленко И.А., Витошкин Ю.К. Интенсификация гидротранспорта продуктов и отходов обогащения горно-обогатительных комбинатов. – Киев: Наукова думка, 1976. – 156 с.
8. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов / Асауленко И.А., Витошкин Ю.К., Карасик В.М., Криль С.И., Очеретько В.Ф. – Киев: Наукова думка, 1981. – 364 с.
9. Семененко Е.В., Блюсс Б.А. Обеспечение бескавитационного режима работы гидротранспортного комплекса с несколькими насосами // Межвед. сб. науч. тр. «Геотехническая механика». – Днепропетровск, 2002. – Вып. № 40. – С. 217-222.
10. Семененко Е.В. Перспективы повышения надежности и эффективности работы гидротранспортного комплекса ВГГМК // Металлургическая и горнорудная промышленность. – №4. – 2004. – С. 74-78.
11. РСН 275–75. Временные указания по технологии возведения намывных хвостохранилищ горнообогатительных комбинатов. – Киев: Госстрой УССР, 1975. – 180 с.
12. Самойлович Д.С., Кузнецов О.В. К расчету параметров центробежных грунтовых насосов для гидросмеси // Горный журнал. – 1986. – №8. – С. 43-46.
13. Заря А.Н. КПД насоса, работающего на гидросмеси // Респ. межвед. научн. - техн. сб. «Горная элек-

УДК 550.89:553.98

Асс. В.П. Бойправ
(Днепропетровский государственный
аграрный университет)

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНУЛЯРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Наведено систематизацію видів шпаруватого простору гірських порід. Розглянуто розрахункові методи визначення проникності і пористості для гранулярних моделей шпаруватого простору. Визначено пористість гірських порід через кут укладання та радіус часток для зцементованих гірських порід.

ANALYTICAL METHOD OF POROSITY'S DETERMINATION OF MINE BREEDS WITH THE USE OF GRANULE MODELS

Systematization of types of porosity space of mountain breeds is resulted. The calculation methods of determination of permeability and porosity for the granule models of porosity space are considered. Porosity of mountain breeds on the corner of piling and radius of particles for cemented mountain breeds is certain.

В механике горных пород и грунтов рассматривают пористость без достаточной взаимосвязи с размерами отдельностей. Для песчаных пород и грунтов такая взаимосвязь устанавливается в виде гранулярных моделей. Они позволяют определить пористость по геологическим данным аналитическими методами. Точность определения пористости, коэффициента фильтрации и проницаемости, полученная таким образом, достаточна при проектировании и моделировании деформационных процессов. Однако существующие гранулярные модели порового пространства недостаточно исследованы. Работа выполнена под руководством М.С.Четверика.

Механический состав грунтов является важной генетической характеристикой почвы. От механического состава горных пород зависят почти все физические свойства: пористость, влагоёмкость, водопроницаемость.

Исследованиями установлено, что частицы горных пород разного размера имеют различный химико-минералогический состав и различные физические свойства (К.Д. Глинка, А.А. Аттерберг, А.А. Роде, Г. Дикий, С.С. Морозов, П.Ф. Мельников, Е.И. Кочерина и др.) [1]. Это обстоятельство и положено в основу классификации частиц.

Для классификации почв по механическому составу было предложено Н.М. Сибирцевым деление частиц на «физический» песок (частицы $>0,01$ мм) и «физическую» глину (частицы $<0,01$ мм). По результатам исследований К.Д. Глинки, полное отделение глины от песка не достигается механическим анализом и, если почвенный «ил» или даже весь мелкозем (частицы меньше