

ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА, ЗБАГАЧЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.753:622.648.24

© Бобров В.Б., Георгиева А.В., Скосырев В.Г., 2010

В.Б. Бобров, А.В. Георгиева, В.Г. Скосырев

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА ПРИ НАМЫВЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ГОКОВ

V.B. Bobrov, A.V. Georgieva, V.G. Skosyrev

CALCULATION OF HYDROTRANSPORT PARAMETERS DURING THE INWASHING OF TAILING PITS

На многих железорудных ГОКах Кривбаса используется картовый способ намыва хранилищ отходов, когда пульпа из основного трубопровода, проложенного по дамбе, подается в хранилище через равномерно распределенные выпуски. В статье предлагается новая методика расчета сверхкритических режимов работы комплексов складирования отходов обогащения, которая впервые учитывает количество, диаметр и длину выпускных трубопроводов, а также расстояние между ними. Методика предназначена для определения расходо-напорных характеристик систем складирования отходов обогащения и позволяет определить скорость течения гидросмеси, которая отводится через каждый из выпусков.

Ключевые слова: гидротранспорт, хранилище отходов, пульпа, трубопровод, выпуск, расход, напор, критическая скорость

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) Кривбаса 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 Кривбаса используется картовый способ замыва хранилищ отходов, когда пульпа из основного трубопровода, проложенного по дамбе, подается в хранилище через равномерно расположенные выпуски [11]. Поэтому основной особенностью гидротранспортных устано-

вок, обеспечивающих отвод отходов обогащения, является разветвленная сеть выпусков в конце магистрали. 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, обеспечи-

ваючих 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 горно-обогатительных 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, 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 (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 (рис. 1) [11].

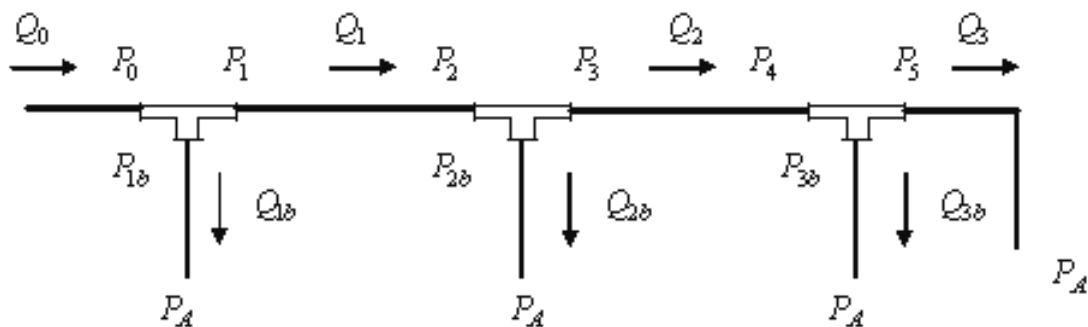


Рис. 1. Принципиальная схема распределения потоков и давлений на участке замыва карты

В рамках гидравлики процесс течения пульпы из магистрального трубопровода через отводы в карту хранилища отходов может быть охарактеризован как процесс истечения из отверстия или насадки [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]

$$Q_b = \mu F_b \sqrt{2gH}; F_b = \frac{\pi D_b^2}{4}; \quad (1)$$

$$H = \frac{P - P_A}{\rho_0 g} - \rho \Delta Z; \quad (2)$$

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \frac{a + e l}{Re_T}}; \mu_0 = \frac{B \ell^{0.123 \alpha}}{1 + E l}; \quad (3)$$

$$Re_T = \frac{D_b}{\nu} \sqrt{2gH}; l = \frac{L_b}{D_b}; \Delta Z = L_b \sin \alpha, \quad (4)$$

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 сечений 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.

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) – (4) 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 Бернулли для участков трубопровода между тройниками, можно записать выражения для расчета давлений в начальных сечениях каждого отвода [14]

$$\frac{P_{1b}}{\rho_0 g} = \frac{P_0}{\rho_0 g} - \xi_b^{(0)} \frac{\rho Q_0^2}{2gF_0^2}; \quad (5)$$

$$\frac{P_{2b}}{\rho_0 g} = \frac{P_0}{\rho_0 g} - \xi_c^{(0)} \frac{\rho Q_0^2}{2gF_0^2} - \xi_b^{(1)} \frac{\rho(Q_0 - Q_{1b})^2}{2gF_0^2} - J_{12}\Delta L; \quad (6)$$

$$\frac{P_{3b}}{\rho_0 g} = \frac{P_0}{\rho_0 g} - \xi_c^{(0)} \frac{\rho Q_0^2}{2gF_0^2} - \xi_c^{(1)} \frac{\rho(Q_0 - Q_{1b})^2}{2gF_0^2} - \xi_b^{(2)} \frac{\rho(Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b})^2}{2gF_0^2} - (J_{12} + J_{23})\Delta L; \quad (7)$$

$$\xi_b^{(0)} = A_b - B_b \frac{Q_{1b}}{Q_0} + E_b \left(\frac{Q_{1b}}{Q_0} \right)^2; \quad (8)$$

$$\xi_b^{(1)} = A_b - B_b \frac{Q_{2b}}{Q_0 - Q_{1b}} + E_b \left(\frac{Q_{2b}}{Q_0 - Q_{1b}} \right)^2; \quad (9)$$

$$\xi_b^{(2)} = A_b - B_b \frac{Q_{3b}}{Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b}} + E_b \left(\frac{Q_{3b}}{Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b}} \right)^2; \quad (10)$$

$$\xi_c^{(1)} = A_c - B_c \frac{Q_{2b}}{Q_0 - Q_{1b}} + E_c \left(\frac{Q_{2b}}{Q_0 - Q_{1b}} \right)^2; \quad (11)$$

$$\xi_c^{(0)} = A_c - B_c \frac{Q_{1b}}{Q_0} + E_c \left(\frac{Q_{1b}}{Q_0} \right)^2; \quad (12)$$

$$J_{12} = \frac{0.154\rho(Q_0 - Q_{1b})^2}{\lg^2\left(\frac{4(Q_0 - Q_{1b})}{10\pi D\nu}\right)gF_0^2} + \frac{C}{Q_0 - Q_{1b}}; \quad (13)$$

$$J_{23} = \frac{0.154\rho(Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b})^2}{\lg^2\left(\frac{4(Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b})}{10\pi D\nu}\right)gF_0^2} + \frac{C}{Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b}}; \quad (14)$$

$$F_0 = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (15)$$

где P_{1b} – абсолютное давление в начальном сечении первого отвода, Па; P_0 – абсолютное давление перед участком намыва, Па; Q_0 – расход пульпы, поступающей 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) – (4) с учетом выражений (5) – (15) характеристические напоры для каждого отвода можно записать в виде

$$H_i = H_0 - \wp(\psi_i - B_b Q_{i-1} Q_{ib} + E_b Q_{ib}^2); \quad (16)$$

$$H_0 = \frac{P_0 - P_A}{\rho_0 g} - \rho\Delta Z; \quad \wp = \frac{\rho}{2gF_0^2}; \quad (17)$$

$$Q_1 = Q_0 - Q_{1b}; \quad (18)$$

$$\psi_2 = \frac{J_{12}}{\wp}\Delta L + A_c(Q_0^2 + Q_1^2) + E_c Q_{1b}^2 + B_c Q_0 Q_{1b}; \quad (19)$$

$$\psi_1 = A_b Q_0^2; \quad Q_2 = Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b}; \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \psi_3 = & (J_{12} + J_{23}) \frac{\Delta L}{\varphi} + A_c (Q_0^2 + Q_1^2) + \\ & + A_b Q_2^2 - B_c (Q_{2b} Q_1 + Q_0 Q_{1b}) + \\ & + E_c (Q_{1b}^2 + Q_{2b}^2) \end{aligned} \quad (21)$$

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 вторым и третьим отводами, м³/с; i – номер отвода, отсчитанный от начала участка намыва ($i=1, 2, 3$).

Подставив выражение (16) в формулу (1) и проделав несложные преобразования, получим уравнение для расчета расхода пульпы через i -й отвод

$$Q_{ib}^2 - \frac{2g\varphi B_b Q_{i-1}}{w_b} Q_{ib} - \frac{2g}{w_b} (H_0 - \varphi \psi_i) = 0; \quad (22)$$

$$w_b = 2g\varphi E_b + \left(\frac{1}{\mu F_b} \right)^2, \quad (23)$$

решение которого имеет вид

$$Q_{ib} = \frac{g\varphi B_b}{w_b} \left(1 + \sqrt{1 + 2w_b \frac{H_0 - \varphi \psi_i}{g\varphi^2 B_b^2 Q_{i-1}^2}} \right) Q_{i-1}. \quad (24)$$

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

$$H_0 = H - \rho(H_b - H_z) - J_0 L_0; \quad (24)$$

$$J_0 = \frac{0.154\rho Q_0^2}{\lg^2 \left(\frac{4Q_0}{10\pi D\nu} \right) g F_0^2} + \frac{C}{Q_0}, \quad (25)$$

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

$$\begin{aligned} H = & J_0 L_0 + (J_{12} + J_{23}) \Delta L + J_3 L_3 + \\ & + \rho(H_b - H_z - \Delta Z) + \varphi \sum_{j=0}^2 \xi_c^{(j)} Q_j^2; \end{aligned} \quad (26)$$

$$J_3 = \frac{0.154\rho Q_3^2}{\lg^2 \left(\frac{4Q_3}{10\pi D\nu} \right) g F_0^2} + \frac{C}{Q_3}; \quad (27)$$

$$Q_3 = Q_0 - Q_{1b} - Q_{2b} - Q_{3b}; \quad (28)$$

$$\xi_c^{(2)} = A_c - B_c \frac{Q_{3b}}{Q_2} + E_c \left(\frac{Q_{3b}}{Q_2} \right)^2, \quad (29)$$

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.

В ходе расчетов определены следующие параметры: подача пульпы, напор одного насоса, мощность одного насоса, давление перед вторым насосом и давление перед участком намыва. 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/м³ (табл. 1–4).

Пустые клетки в табл. 3 – 4 соответствуют возникновению критического режима течения в трубопроводе между отводами или невозможности обеспечить регламентированную подачу пульпы на данную геодезическую отметку.

Анализ результатов расчетов свидетельствует о том, 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“.

Таблиця 1

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 HHD 24×26-76 | 109,560 | -0,6 | -0,7 |
| GIW LHD 24×26-76 | 73,442 | -1,0 | -0,5 |
| GIW WBC 18×20-54 | 89,382 | -2,3 | -3,0 |
| GIW LSA 18×20-45 | 57,996 | 0,4 | -5,0 |

Таблиця 2

Параметры магистралей гидротранспортных установок при подаче пульпы на разные отметки

| Величина | Геодезическая отметка подачи пульпы (H_g), м | | | | | | | | |
|----------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 100 | 106 | 112 | 118 | 124 | 130 | 136 | 142 | 148 |
| 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 |

Таблиця 3

Расход пульпы (тыс. м³/ч) через отводы на участке замыва карты, осредненный по высоте подачи пульпы, при отводе отходов обогащения насосами GIW HHD 24×26-76 и GIW LHD 24×26-76

| Участок замыва | Диаметр магистрального трубопровода, мм | | | | | |
|-----------------|---|-------|----------|-------|----------|-------|
| | 1100 | | | | | |
| | Q_{1b} | | Q_{2b} | | Q_{3b} | |
| $\frac{D_b}{D}$ | L_0 | L_N | L_0 | L_N | L_0 | L_N |
| | Насос GIW HHD 24×26-76 | | | | | |
| 0.15 | 0.55 | 0.51 | 0.52 | 0.49 | 0.48 | 0.46 |
| 0.20 | 1.05 | 0.98 | 0.99 | 0.94 | 0.94 | 0.90 |
| 0.25 | 1.70 | 1.60 | 1.61 | 1.53 | 1.52 | 1.48 |
| 0.30 | 2.46 | 2.32 | 2.33 | 2.24 | 2.23 | 2.18 |
| 0.35 | 3.32 | 3.07 | 3.16 | 2.97 | 3.06 | 2.92 |
| 0.40 | 4.17 | 4.01 | 3.98 | 3.92 | 3.90 | 3.90 |
| 0.45 | 5.18 | 5.09 | 5.00 | 5.02 | 4.98 | 5.05 |
| 0.50 | 6.35 | 6.27 | 6.23 | 6.26 | 6.27 | 6.30 |
| | 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 | 3.92 | 3.94 |
| 0.45 | 5.12 | 5.15 | 5.10 | 5.17 | 5.05 | 5.08 |
| 0.50 | 6.25 | 6.55 | 6.27 | 5.62 | 6.29 | |

Таблиця 4

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

| Участок замыва | Диаметр магистрального трубопровода, мм | | | | | |
|-----------------|---|-------|----------|-------|----------|-------|
| | 1100 | | | | | |
| | Отвод №1 | | Отвод №2 | | Отвод №3 | |
| $\frac{D_b}{D}$ | L_0 | L_N | L_0 | L_N | L_0 | L_N |
| | Насос GIW WBC 18×20-54 | | | | | |
| 0.15 | 5.97 | 5.88 | 5.84 | 5.77 | 5.72 | 5.67 |
| 0.20 | 6.46 | 6.31 | 6.33 | 6.21 | 6.22 | 6.14 |
| 0.25 | 6.67 | 6.60 | 6.55 | 6.51 | 6.47 | 6.41 |
| 0.30 | 6.90 | 7.31 | 6.81 | 7.25 | 6.74 | 6.72 |
| 0.35 | 7.10 | 7.06 | 7.05 | 7.03 | 7.02 | |
| 0.40 | 7.38 | 7.36 | 7.38 | 7.37 | | |
| 0.45 | 7.28 | 7.26 | 7.32 | 7.30 | | |
| 0.50 | 7.30 | 7.56 | 7.36 | 6.57 | | |
| | Насос GIW LSA 18×20-45 | | | | | |
| 0.15 | 5.70 | 5.71 | 5.62 | 5.64 | 5.56 | |
| 0.20 | 6.25 | 6.13 | 6.18 | 6.06 | 6.15 | |
| 0.25 | 6.58 | 6.54 | 6.52 | 6.49 | | |
| 0.30 | 6.90 | 7.00 | 6.86 | 6.98 | | |
| 0.35 | 7.47 | 7.07 | 7.47 | 7.07 | | |
| 0.40 | 7.18 | 7.20 | 7.19 | 7.22 | | |
| 0.45 | 7.28 | 7.30 | 7.32 | 7.33 | | |
| 0.50 | 7.36 | 7.37 | 7.37 | 7.37 | | |

Список литературы

1. Гуменик И.Л. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
2. Звягильский Е.Л. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семенов. – Севастополь: „Вебер“, 2002. – 247 с.
3. Дмитриев Г.П. Напорные гидротранспортные системы. / Г.П. Дмитриев, Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили – М.: Недра, 1991. – 304 с.
4. Джваршеишвили А.Г. Системы трубопроводного транспорта горно-обогатительных предприятий. / А.Г. Джваршеишвили – М.: Недра, 1981. – 384 с.
5. Нурок Г.А. Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ. / Г.А. Нурок – М.: Недра, 1985. – 583 с.
6. Коберник С.Г. Напорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов. / Коберник С.Г., Войтенко В.И. – Киев: Наукова думка, 1967. – 138 с.
7. Карасик В.М. Интенсификация гидротранспорта продуктов и отходов обогащения горно-обогатительных комбинатов. / В.М. Карасик, И.А. Асауленко, Ю.К. Витошкин – Киев: Наукова думка, 1976. – 156 с.
8. Асауленко И.А. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов / И.А. Асауленко, Ю.К. Витошкин, В.М. Карасик, [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1981. – 364 с.
9. Семенов Е.В. Обеспечение бескавитационного режима работы гидротранспортного комплекса с несколькими насосами / Е.В. Семенов, Б.А. Блюсс // Межвед. сб. науч. тр. „Геотехническая механика“. – Днепропетровск, 2002. – Вып. № 40. – С. 217 – 222.
10. Семенов Е.В. Перспективы повышения надежности и эффективности работы гидротранспортного комплекса ВГГМК / Е.В. Семенов // 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. К расчету параметров центробежных грунтовых насосов для гидросмеси / Д.С. Самойлович, О.В. Кузнецов // Горный журнал. – 1986. – №8. – С. 43 – 46.
13. Заря А.Н. КПД насоса, работающего на гидросмеси / А.Н. Заря // Респ. межвед. научн. - техн. сб. „Горная электромеханика и автоматика“. – 1982. – №41. – С. 125 – 129.
14. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. / А.Д. Альтшуль – М.: Недра, 1982. – 224 с.

На багатьох залізорудних ГЗК Кривбасу використовується картовий спосіб наміву сховищ відходів, коли пульпа з основного трубопроводу, який прокладений по дамбі, подається до сховища крізь рівномірно розташовані випуски. У статті пропонується нова методика розрахунку надкритичних режимів роботи комплексів складування відходів збагачення, яка вперше враховує кількість, діаметр та довжину випускних трубопроводів, а також відстань між ними. Методика призначена для визначення витратно-напірних характеристик систем складування відходів збагачення й дозволяє визначати швидкість течії гідросуміші, що відводиться крізь кожний випуск.

Ключові слова: *гідротранспорт, сховище відходів, пульпа, трубопровід, випуск, витрата, напір, критична швидкість*

The mode of distributed inwashing of tailing pits is in common use at iron-ore mining and processing enterprises of Krivoi Rog basin. Using of this mode means that a pulp from main pipeline built along the dam is fed to the tailing pit through uniformly disposed outlets. The article offers a new procedure of calculation of overcritical running regimes of complexes of cleaning rejects storing, which for the first time takes into account the number, diameter and length of outlets as well as distance between them. The calculation procedure is meant for determination of metering-head characteristics of systems of cleaning rejects storing and allows determining velocity of slurry flow running through each of outlets.

Keywords: *hydrotransport, tailing pit, pulp, pipeline, outlet, discharge, pressure, critical velocity*

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Є.В. Семеновом.
Дата надходження рукопису 09.09.10*