

УДК 622.648.001.24:622.692.4.053:622.7.004.8

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МАГИСТРАЛЕЙ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ХРАНИЛИЩ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ

¹Семененко Е.В., ¹Медведева О.А., ¹Киричко С.Н., ²Татарко Л.Г.

¹*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины,*

²*Украинский государственный химико-технологический университет МОН Украины*

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МАГІСТРАЛЕЙ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ В УМОВАХ СХОВИЩ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ

¹Семененко Є.В., ¹Медведєва О.О., ¹Киричко С.М., ²Татарко Л.Г.

¹*Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України,*

²*Український державний хіміко-технологічний університет МОН України*

SPECIFICITY OF CALCULATION OF PIPE-LINE PARAMETERS FOR HYDROMECHANIZATION OF WASHERY REFUSE STORAGE

¹Semenenko Ye.V., ¹Medvedeva O.O., ¹Kyrychko S.M., ²Tatarko L.G.

¹*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine,* ²*Ukrainian State University of Chemical Technology MES of Ukraine*

Аннотация. В настоящее время в Кривбассе по разным оценкам в отвалах содержится до 13 млрд т вскрышных пород, а в хвостохранилищах – до 6 млрд т отходов обогащения бедных железных руд. В последние годы все активнее изучается возможность использования накопленной в отвалах и хвостохранилищах минеральной массы. Ведь по сути хранилища отходов (ХО) являются сформированными техногенными месторождениями. Рассмотрены особенности расчета геометрических и гидравлических параметров магистралей трубопроводных систем для технологий гидромеханизации при добыче техногенных россыпей, сформированных в хранилищах отходов обогащения. Показано, что для рассматриваемых технологий гидромеханизации режимы работы установок трубопроводного транспорта зависят не только от геометрических параметров хранилища, но и от гидравлических характеристик процессов течения пульп по магистралям. Гидравлические характеристики потока гидросмеси будут оказывать влияние на потери напора в магистрали только после наращивания дамбы обвалования выше некоторой величины, зависящей от гидравлического уклона, то есть от параметров трубопровода, концентрации и расхода пульпы. Проведенными исследованиями установлено, что при течении пульп высокой концентрации угол наклона трубопровода не оказывает влияния на гидравлический уклон. Поэтому в режиме течения гидросмеси как гетерогенной жидкости для таких пульп гидравлический уклон рассчитывается в соответствии с решением уравнения Букингама. Показано, что для рассматриваемых технологий гидромеханизации режимы работы установок трубопроводного транспорта будут зависеть не только от геометрических параметров хранилища отходов, но и от гидравлических характеристик процессов течения пульп по магистралям. С использованием полученных зависимостей могут быть разработаны рекомендации и методы расчета параметров гидротранспортирования высококонцентрированных гидросмесей, позволяющие проектировать перспективные технологии добычи техногенных россыпей, сформированных в хранилищах отходов обогащения.

Ключевые слова: гидротранспорт, хранилища отходов обогащения, гидросмесь, высокая концентрация.

Введение. В настоящее время в Кривбассе по разным оценкам в отвалах содержится до 13 млрд т вскрышных пород, а в хвостохранилищах – до 6 млрд т отходов обогащения бедных железных руд. В последние годы все активнее изучается возможность использования накопленной в отвалах и хвостохранилищах минеральной массы. Ведь по сути хранилища отходов (ХО) являются сформированными техногенными месторождениями, которые начали заполняться еще в XX веке.

С учетом геометрии дамб ХО и технологии их возведения, геометрические

параметры магистралей, обеспечивающих доставку добытых техногенных россыпей на обогатительное производство самотеком с текущей отметки дамбы ХО, и магистралей, обеспечивающих отведение отходов обогащения, описываются одинаковыми формулами.

Выражение для расходно-напорных характеристик (РНХ) магистрали таких гидротранспортных установок, обслуживающих технологии гидромеханизации на текущей отметке дамбы ХО, будет иметь вид:

$$H = k_z(L_0 + n[\beta + m]h)i - \rho(Z_0 + nh), \quad L = L_0 + n(\beta + m)h, \quad Z = Z_0 + nh, \quad (1)$$

$$\beta = \frac{b}{h}, \quad m = \frac{1}{\sin \alpha},$$

где H – потери напора в магистрали при течении гидросмеси; k_z – коэффициент местных гидравлических потерь; i – гидравлический уклон при течении пульпы; L_0 – длина горизонтальных участков труб, проложенных параллельно периметру ХО по дамбам, а также длина трубопровода от упорной дамбы до обогатительного производства; n – номер дамбы текущего яруса; β – относительная ширина верха дамбы обвалования; m – заложение наружного откоса дамб обвалования; h – высота дамб обвалования; Z_0 – перепад геодезических высот начала и конца трубопровода от упорной дамбы до обогатительного производства; b – ширина верха дамбы обвалования.

При определении рабочей точки магистрали, обеспечивающей отведение отходов обогащения, выражение (1) приравнивается обобщенной РНХ насосов [1, 2], а в случае магистрали, обеспечивающей доставку добытых техногенных россыпей на обогатительное производство самотеком с текущей отметки дамбы ХО, выражение (1) преобразуется к следующему виду:

$$\frac{i}{\rho} = i_g, \quad i_g = \frac{i_m}{k_z} \left(1 + \frac{i_Z - i_m}{i_m + i_L n} \right), \quad i_Z = \frac{Z_0}{L_0}; \quad i_L = \frac{h}{L_0}, \quad i_m = \frac{1}{\beta + m}, \quad (2)$$

где i_g – эффективный геодезический уклон магистрали; i_L – относительная высота дамбы обвалования; i_m – форм параметр профиля дамбы; i_Z – фиктивный геодезический уклон неизменяемой части магистрали;

Из формул (2) видно, что в зависимости от соотношения величин i_m и i_Z увеличение порядкового номера яруса намыва будет приводить к увеличению или к уменьшению значения i_g . В случае если i_m превышает i_Z , то с увеличением n значение i_g уменьшается, а если i_m меньше i_Z – то увеличивается. Если же эти две величины равны друг другу или имеют близкие значения, то можно считать, что рассматриваемая величина i_g не зависит от номера текущего яруса намыва и для всего периода эксплуатации ХО равна

$$i_g = \frac{i_m}{k_z}.$$

В этом случае относительные длина или геодезический перепад высот магистрали изменяются при переходе на новый ярус намыва по одному закону, а для размерных величин справедлива зависимость:

$$\frac{L}{L_0} = \frac{Z}{Z_0},$$

которую, с учетом выражения

$$\frac{Z_0}{L_0} = \frac{1}{\beta + m},$$

легко переписать в следующем виде:

$$Z = \frac{L}{\beta + m}.$$

Из формул (1) и (2) также следует, что влияние номера дамбы на длину и геодезический перепад высот магистрали будет превышать 10 %, начиная с соответствующих ярусов намыва:

$$n_L = 0,1 \frac{i_m}{i_L}, \quad n_Z = 0,1 \frac{i_Z}{i_L}. \quad (3)$$

Если номер текущего яруса намыва не превышает величины, определяемые по формулам (3), то формулы (1), с инженерной точностью можно заменить следующими выражениями:

$$L = 1,1L_0, \quad Z = 1,1Z_0. \quad (4)$$

Из формул (1) – (4) следует, что на начальной стадии заполнения ХО от номера текущего яруса намыва не зависит величина длины или геодезического перепада высот магистрали, а на завершающем этапе – величина эффективного геодезического уклона магистрали.

Для анализа значащих величин выражение (1) рационально переписать в следующем виде:

$$H = H_0 + \delta H n; \quad H_0 = k_z L_0 i - \rho Z_0; \quad \delta H = h(k_z [\beta + m] i - \rho), \quad (5)$$

где H_0 – стационарная или неизменяемая часть потерь напора; δH – приращение потерь напора при наращивании одной дамбы обвалования.

С учетом преобразований можно показать, что выражение для потерь напора магистрали можно записать в следующем виде:

$$H = H_0 \left(1 + \frac{\delta H}{H_0} n \right),$$

при этом переменная часть потерь напора будет существенной по сравнению со стационарной, если выполняется следующее неравенство:

$$n \geq 0,1 \frac{H_0}{\delta H}. \quad (6)$$

Неравенство (6) с учетом формул (1) для неизменяемой части и приращения потерь напора легко преобразуется в следующее условие для порядкового номера дамбы, начиная с которого переменную часть потерь напора необходимо учитывать как отдельное слагаемое:

$$n \geq n_0; \quad n_0 = 0,1 \frac{i_L}{i_m} \left(1 + \frac{i_Z - i_m}{k_z \frac{i}{\rho} - i_Z} \right), \quad (7)$$

где n_0 – порядковый номер дамбы, начиная с которого переменную часть потерь напора необходимо учитывать как отдельное слагаемое.

В случае если порядковый номер дамбы меньше n_0 потери напора рассматриваемой магистрали можно рассчитывать по упрощенному уравнению:

$$H = 1,1H_0.$$

Из формулы (7) видно, что величина n_0 зависит от гидравлического уклона, то есть от параметров трубопровода, концентрации и расхода пульпы. Поэтому для выбора параметров технологий гидромеханизации при попутной добыче техногенных россыпей важно проанализировать случай, когда $n_0 < 2$.

Подставляя выражение (7) в последнее неравенство, после несложных преобразований и приведения подобных членов, будем иметь:

$$k_z \frac{i}{\rho} > \left(1 + 0,05 \frac{1 - \frac{i_m}{i_Z}}{\frac{i_m}{i_L} - 0,05} \right) i_Z. \quad (8)$$

Очевидно, что знак второго слагаемого в скобках в формуле (8) зависит от соотношения величин i_m и i_Z . Если i_m превышает i_Z , то сохраняется плюс, а если i_m меньше i_Z – то минус.

Из формул (1) – (8) видно, что для рассматриваемых технологий гидромеханизации режимы работы установок будут зависеть не только от геометрических параметров ХО, но и от гидравлических характеристик

процессов течения пульп по магистралям. Учитывая, что традиционно на ГОКах используется напорный гидротранспорт, самотечному виду трубопроводного транспорта внимания практически не уделялось. Особенно для условий доставки техногенных россыпей из ХО на обогатительное производство, когда параметры дамбы обвалования обеспечивают течение пульпы в том или ином режиме.

В формулы (1) и (2) входит величина гидравлического уклона при течении гидросмеси по трубопроводу, которая вычисляется по разным формулам в зависимости от концентрации пульпы и соотношения фактической и критической скоростей (табл. 1) [1-3, 5-6].

Таблица 1 – Классификация режимов течения пульп различной концентрации

| Классификация пульп по концентрации | Классификация режимов течения пульп | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| | Гетерогенная жидкость | Однородная жидкость |
| Низкая | $V < 1,25V_{кр}$ | $V \geq 1,25V_{кр}$ |
| Средняя | | |
| Высокая | Стержневой режим | Турбулентный режим |

В таблице использованы следующие обозначения: V – средняя расходная скорость течения пульпы; $V_{кр}$ – критическая скорость гидротранспортирования [3-5,7].

К пульпам низкой концентрации относят гидросмеси, массовая концентрация которых соответствует такому условию [1 – 10]:

$$C < C_m; C_m = 0,2 \frac{Ar + 1}{Ar}, \quad Ar = \frac{\rho_S - \rho_W}{\rho_W},$$

где C – массовая концентрация пульпы; C_m – граничное значение массовой концентрации для пульп низкой концентрации [1 – 4]; Ar – параметр Архимеда транспортируемого материала; ρ_S – средневзвешенная плотность частиц транспортируемого материала; ρ_W – плотность воды.

Значение C_m получено экспериментальным путем и соответствует максимуму в зависимости критической скорости от концентрации гидросмеси.

Массовая концентрация пульп средней концентрации изменяется в следующем диапазоне [11]:

$$C_m \leq C < C_P; C_P = \frac{1}{1 + \frac{2,33}{Ar + 1}},$$

где C_P – граничное значение массовой концентрации для пульп средней концентрации [11].

Значение C_P предложено на основе анализа публикаций, посвященных гидротранспортированию сгущенных пульп [11].

Массовая концентрация пульпы высокой концентрации изменяется в таком диапазоне [9 – 12]:

$$C_P \leq C < C_L, \quad C_L = \frac{1 + Ar}{\frac{3,33}{2 - P_{0,1}} + Ar},$$

где C_L – предельно возможная массовая концентрация гидросмеси, соответствующая плотной упаковке твердых частиц [9 – 12]; $P_{0,1}$ – доля в транспортируемом материале частиц диаметром менее 0,1 мм [2 - 4].

Для расчета величины C_L известны различные рекомендации, которые учитывают большое количество факторов [4, 5, 8, 9].

Для пульпы низкой концентрации критическая скорость гидротранспортирования определяется по формуле [11, 12]:

$$V_{kp} = 15 \sqrt[3]{D} \sqrt[4]{w} (\rho - 0,4), \quad w = w_0 \frac{Ar}{1,65} \Delta^{0,4}, \quad \Delta = \frac{3d_{10}}{d_{90}}, \quad \rho = \frac{1}{1 - \frac{Ar}{1 + Ar} C},$$

где D – диаметр трубопровода; w – усредненная гидравлическая крупность транспортируемого материала; ρ – относительная плотность пульпы; w_0 – гидравлическая крупность эталонного материала [2 – 4]; Δ – коэффициент однородности; d_{10} – диаметр частиц, соответствующий 10 % содержанию фракций; d_{90} – диаметр частиц, соответствующий 90 % содержанию фракций.

Для выбора величины w_0 рассчитывается средневзвешенный диаметр частиц транспортируемого материала [2 – 4]:

$$d_{cp} = \sum d_i P_i,$$

где d_{cp} – средневзвешенный диаметр частиц транспортируемого материала, мм; d_i – средняя крупность i -ой стандартной фракции, мм; P_i – содержание i -ой фракции по весу в составе пробы, в долях единицы.

Для пульпы средней концентрации величина критической скорости несколько снижается по сравнению со значением, которое оно достигает при концентрации C_m , и для расчетов рекомендовано использовать следующую формулу [2 – 4]:

$$V_{kp} = 12,8 \sqrt[3]{D} \sqrt[4]{w} \sqrt[3]{\frac{Ar + 1}{ArC}}.$$

Для пульпы высокой концентрации понятие критической скорости гидротранспортирования отсутствует, поскольку при таких высоких концентрациях твердые частицы не выпадают на дно трубопровода. С понижением, до определенного значения, скорости транспортирования изменяется режим течения. При этом, однородный режим течения переходит в

стержневой, при котором формируется недеформируемое ядро потока [9 – 11]. При дальнейшем снижении перепада давления ядро потока увеличивается в диаметре, пока не достигнет внутренней поверхности трубы, после чего течение высококонцентрированной пульпы по трубопроводу прекращается.

При течении пульп низкой и средней концентрации в горизонтальном трубопроводе в режиме гетерогенной жидкости гидравлический уклон рассчитывают по следующим формулам [3, 4]:

$$i = i_0 + \sigma i_0^{kp} \frac{V_{kp}}{V}; \quad \sigma = \rho^{1.5} \left(1 + 150 \frac{d_{cp}}{D} \right) - 1; \quad i_0 = \frac{\lambda V^2}{2gD}; \quad i_0^{kp} = \frac{\lambda_{kp} V_{kp}^2}{2gD};$$

$$\lambda = \frac{1}{3,24 \left(\lg \frac{DV}{v_w} - 1 \right)^2}; \quad \lambda_{kp} = \frac{1}{3,24 \left(\lg \frac{DV_{kp}}{v_w} - 1 \right)^2}, \quad (9)$$

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

Часть трубопроводов рассматриваемых гидротранспортных установок проложено по наружным откосам дамб обвалования, и поэтому наклонены к горизонту на угол, равный углу между откосом и основанием дамб. При этих углах наклона трубопроводы нельзя рассматривать как вертикальные [5]. С учетом этого при течении пульп низкой и средней концентрации в наклонных трубопроводах, при углах наклона близких к углам наружных откосов дамб обвалования, в режиме гетерогенной жидкости гидравлический уклон рассчитывают по следующим формулам:

$$\frac{i_\alpha - i_0}{i - i_0} = \cos^2 \alpha, \quad (10)$$

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

Подставив в выражение (10) формулы (9), и проведя соответствующие преобразования, получим:

$$i_\alpha = i_0 \left[1 + \mu \sigma \left(\frac{V_{kp}}{V} \right)^3 \cos^2 \alpha \right]; \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

$$\mu = \log_{\frac{Re_{kp}}{10}}^2 \left(\frac{Re}{10} \right); \quad Re = \frac{DV}{v_w}; \quad Re_{kp} = \frac{DV_{kp}}{v_w}, \quad (12)$$

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

Учитывая сверхкритический режим течения гидросмеси фактическую скорость в трубопроводе можно выразить через величину критической скорости [1, 5]:

$$V = KV_{kp}, \quad (13)$$

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

Как показали результаты ряда исследователей [1, 5 – 6, 8 – 10] критические режимы гидротранспортирования соответствуют турбулентному течению, поэтому для критического числа Рейнольдса справедлива следующая оценка:

$$Re_{kp} = 10^k, \quad (14)$$

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

С учетом (13) и (14) формулу (12) можно записать в виде выражения

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

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

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

Последнее выражение позволяет получить оценку среднего значения для величины μ

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

с учетом которого выражение (11) примет следующий вид:

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

В случае использования для расчета величины λ вместо логарифмического закона, формулы (5), степенного закона

$$\lambda = \frac{Nv_w^p}{D^p V^p}, \quad (15)$$

вместо формулы (15) нужно использовать следующее выражение:

$$i_{\alpha} = i_0 \left[1 + \sigma \left(\frac{V_{kp}}{V} \right)^{3-p} \cos^2 \alpha \right], \quad (16)$$

где N – коэффициент пропорциональности; p – показатель степени.

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

$$i = \rho i_0. \quad (17)$$

Сравнивая правые части выражений (16) и (17), а также оценив интервал изменения относительной плотности пульпы (рис. 1), можно сделать вывод, что условие (17) может быть реализовано при значениях параметра режима гидротранспортирования удовлетворяющих неравенству $K \geq K_{\rho}$, где

$$K_{\rho} = 3 \sqrt[3]{\frac{1,2\sigma}{\rho-1} \cos^2 \alpha}. \quad (18)$$

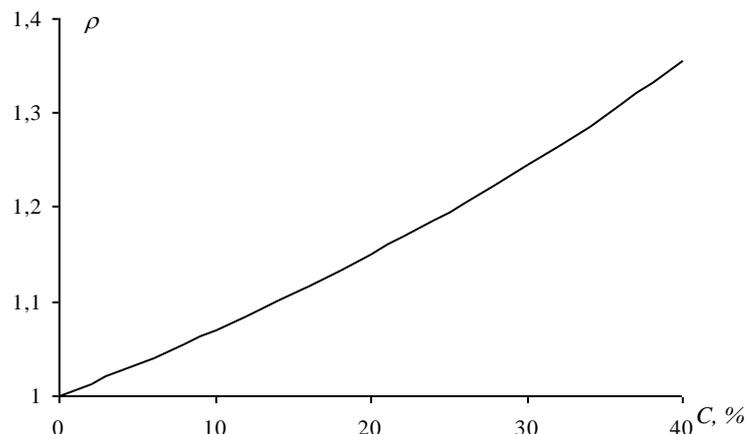


Рисунок 1 – Зависимость относительной плотности пульпы от массовой концентрации твердого материала

В случае использования для расчета величины λ вместо логарифмического закона, формулы (5), степенного закона, формула (15), вместо выражения (18) получим:

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

При течении пульп высокой концентрации угол наклона трубопровода не оказывает влияние на гидравлический уклон. В режиме гетерогенной жидкости для таких пульп гидравлический уклон рассчитывают в соответствии с решением уравнения Букингама [9 – 12]:

$$i = \frac{\tau_0}{\mu_Q} + \frac{Q}{\mu_Q}; \quad \mu_0 = \frac{\rho_w g D}{c_0}; \quad \mu_Q = \frac{\rho_w g \pi D^4}{c \eta}, \quad (19)$$

где τ_0 – начальное касательное напряжение (НКН); μ_0 – модуль НКН; μ_Q – модуль расхода; c_0 , c – уточняющие константы; η – структурная вязкость пульпы высокой концентрации.

Выводы.

Показано, что для рассматриваемых технологий гидромеханизации режимы работы установок трубопроводного транспорта будут зависеть не только от геометрических параметров хранилища отходов, но и от гидравлических характеристик процессов течения пульп по магистралям. Так гидравлические характеристики потока гидросмеси будут оказывать влияние на потери напора в магистрали только после наращивания дамбы обвалования выше некоторой величины, зависящей от гидравлического уклона, то есть от параметров трубопровода, концентрации и расхода пульпы. На основании проведенных исследований установлено, что при течении пульп высокой концентрации угол наклона трубопровода не оказывает влияние на гидравлический уклон. Поэтому в режиме течения гидросмеси как гетерогенной жидкости для таких пульп гидравлический уклон рассчитывают в соответствии с решением уравнения Букингама. С использованием полученных зависимостей могут быть разработаны рекомендации и методы расчета параметров гидротранспортирования высококонцентрированных гидросмесей, позволяющие проектировать перспективные технологии добычи техногенных россыпей, сформированных в хранилищах отходов обогащения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семененко Е.В. Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титан-цирконовых россыпей. Киев: Наукова думка, 2011. 232 с.
2. Криль С.И. Напорные взвесенесущие потоки. К: Наукова думка, 1990. 170 с.
3. Методика расчета гидротранспортных установок для транспорта и намыва хвостов железорудных ГОКов. К.: НИИСП Госстроя УССР, 1970. 64 с.
4. П 59-72: Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов. Л.: Энергия, 1972. 24 с.
5. Баранов Ю.Д., Блюсс Б.А., Семененко Е.В. [и др.] Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий, Днепропетровск: «Новая идеология», 2006. 416 с.
6. Гуменник И.Л., Сокил А.М., Семененко Е.В. [и др.], Проблемы разработки россыпных месторождений, Днепропетровск: Січ, 2001. 224 с.
7. Брагін Б.Ф., Маркунтович Ф.Д., Чернецька Н.Б. Проектування споруджень і систем трубопроводного й інших видів транспорту, Луганськ: Вид-во СЛУ ім. В. Даля, 2004. 208 с.
8. Потураев В.Н., Фитерер Владимир. Исследование гидротранспорта россыпей на наклонных участках: Ин-т геотехн. механики НАН Украины. Днепропетровск, 1996. 11 с. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 28.02.96 – № 659 – Ук 96.
9. Круть О.А. Водовугільне паливо, К.: Наукова думка, 2002, 172 с.
10. Киричко С.Н., Семененко Е.В. Обоснование методики расчета гидравлического уклона при течении пульпы с концентрацией пасты, Геотехническая механика: Днепропетровск: ИГТ М НАН Украины, 2013, вып. 110, С. 121-134
11. Александров В.И. Методы снижения энергозатрат при гидравлическом транспортировании смесей высокой концентрации, Санкт-Петербург: СПГГИ (ТУ), 2000, 117 с.
12. Киричко С.Н., Ртищев А.Б., Семененко Е.В. Реологические параметры высококонцентрированных отходов обогащения ЦГОКа. / Форум гірників – 2014: Мат. міжн. конф., жовтень 2014р, Дніпропетровськ, 2014, С. 177 – 183.

REFERENCES

1. Semenenko E.V. (2011), *Nauchnye osnovy tehnologiy gidromehanizatsii otkrytoy razrabotki titan-tsirkonovykh rossypey* [Scientific basis for the technology of hydromechanization of open development of titanium-zircon alluvial deposits], Naukova

Dumka, Kyiv, Ukraine.

2. Kril S.I. (1990), *Napornye vzbenesuschie potoki* [Pressure suspended flows], Naukova Dumka, Kyiv, Ukraine.

3. NIISP Gosstroy (1970), *Metodika rascheta gidrotransportnykh ustanovok dlya transporta i namывa khvostov zhelezorudnykh GOKov* [The method of calculating hydrotransport installations for transport and alluvium tailings of iron ore mining and processing plants], Moscow, SU.

4. P 59-72 *Instruktsiya po gidravlicheskomu raschetu sistem napornogo gidrotransporta gruntov* [P 59-72: Instructions for the hydraulic calculation of the systems of pressure hydrotransport of soils] (1972), Energiya, Leningrad, SU.

5. Baranov Yu.D., Blyuss B.A., Semenenko E.V. and Shurygin V.D. (2006), *Obosnovanie parametrov i rezhimov raboy sistem gidrotransporta gornyh predpriyatiy* [Justification of the parameters and modes of operation of the systems of hydrotransport mining], New Ideology, Dnepropetrovsk, UA.

6. Gumenik I.L., Sokil A.M., Semenenko E.V. and Shurygin V.D. (2001), *Problemy razrabotki rossypnykh mestorozhdeniy* [Problems of development of placer deposits], Sich, Dnipropetrovsk, UA.

7. Bragin B.F., Markuntovich F.D. and Chernetska N.B. (2004), *Proektuvannya sporudzen i sistem truboprovodnogo i inshykh vydiv transportu* [Design of constructions and systems of pipeline and other types of transport], Izdatelstvo SNU im. V. Dalya, Lugansk, UA..

8. Poturaev V.N. and Fiterer V. (1996), "Investigation of placer hydrotransport on inclined sites", Dep. v GNTB Ukraine, no. 659, 11 p.

9. Krut O.A. (2002), *Vodovugilne palyvo* [Carbon fuel], Naukova Dumka, Kyiv, UA.

10. Kyrychko S.N. and Semenenko E.V. (2013), "Justification of the method of calculating the hydraulic slope during the flow of the pulp with the concentration of paste", *Geo-Technical Mechanics*, no. 110, pp. 121-134.

11. Aleksanrov V.I. (2000), *Metody snizheniya energozatrat pri gidravlicheskom transportirovanii smesey vysokoy kontsentratsii* [Methods to reduce energy consumption in the hydraulic transportation of mixtures of high concentration], SPGGI (TU), St. Petersburg, RU.

12. Kyrychko S.N., Rtischev A.B. and Semenenko E.V. (2014), "Rheological parameters of highly concentrated waste treatment plant TsGOK", *Forum Girmyiv – 2014* [Miners Forum-2014], Dnipropetrovsk, Ukraine, October 2014, pp. 177 – 183.

Об авторах

Семенов Евгений Владимирович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом проблем шахтных энергетических комплексов, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, evs_igtm@i.ua

Медведева Ольга Алексеевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела геодинамических систем и вибрационных технологий, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, medvedevaolga1702@gmail.com

Киричко Сергей Николаевич, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела геодинамических систем и вибрационных технологий, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, skyrchko@gmail.com

Татарко Лариса Гавриловна, кандидат технических наук, старший преподаватель факультета физики, Украинский государственный химико-технологический университет (УГХТУ) Министерства образования и науки Украины, Днепр, Украина, larisa.tatarko@gmail.com

About the authors

Semenenko Eugeniy Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Senior Researcher, Head of Department of Mine Energy Complexes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnepr, Ukraine, evs_igtm@i.ua

Medvedeva Olga Alekseevna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geodynamic Systems and Vibration Technologies, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics NAS of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnepr, Ukraine, medvedevaolga1702@gmail.com

Kyrychko Serhii Mykolaivich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Researcher in Department of Geodynamic Systems and Vibration Technologies, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics NAS of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnepr, Ukraine, skyrchko@gmail.com

Tatarko Larisa Gavrilovna, Candidate of Technical Sciences, Senior Teacher of the Physics Department, Ukrainian State University of Chemical Technology MES of Ukraine, Dnepr, Ukraine, larisa.tatarko@gmail.com

Анотація. Нині у Кривбасі за різними оцінками у відвалах міститься до 13 млрд т вскришних порід, а у хвостосховищах – до 6 млрд т відходів збагачення бідного залізняку. Останніми роками все активніше вивчається можливість використання накопиченої у відвалах і хвостосховищах мінеральної маси. Адже по суті сховища відходів є сформованими техногенними родовищами. У статті розглядаються особливості розрахунку геометричних та гідравлічних параметрів магістралей трубопровідних систем для технології гідромеханізації при видобутку техногенних розсипів, що утворюються у сховищах відходів збагачення. Показано, що для розглянутих технологій гідромеханізації режими роботи установок трубопровідного транспорту залежать не тільки від геометричних параметрів сховищ, але і від гідравлічних характеристик процесів потоку пульпи магістралями.

Гідравлічні характеристики потоку гідросуміші будуть мати вплив на втрату напору в магістралі після нарощування дамб обвалування вище деякої величини, що залежить від гідравлічного ухилу, тобто від параметрів трубопроводу, концентрації та витрати пульпи. Проведеними дослідженнями встановлено, що при течіях пульпи високої концентрації кут нахилу трубопроводу не впливає на гідравлічний ухил. Тому в режимі течії гідросуміші, як гетерогенної рідини, для таких пульп гідравлічний ухил розраховується відповідно до рішення рівняння Букінгама. Показано, що для даних технологій гидромеханізації режими роботи установок трубопроводного транспорту залежатимуть не тільки від геометричних параметрів сховища відходів, але і від гідравлічних характеристик процесів перебігу пульп магістралями.

З використанням отриманих залежностей може бути розроблено рекомендації та методи розрахунку параметрів гідротранспорту висококонцентрованих гідросумішей, що дозволять проектувати перспективні технології видобутку техногенних розсипів, які утворюються в сховищах відходів збагачення.

Ключові слова: гідротранспорт, сховища відходів збагачення, гідросуміш, висока концентрація.

Annotation. Presently in Kryvbass by different estimation there are to 13 billion τ of overburden breeds in dumps, and in tailing ponds – to 6 billion τ wastes of enrichment of poor iron-stones. Last years all more active possibility of the use of accumulateds in dumps and tailing ponds mineral mass is studied. In fact the depositories of wastes are the formed technogen deposits. In the article, peculiarities of calculation of the main pipeline geometrical and hydraulic parameters for hydromechanization technologies for development of man-made placers formed in the washery refuse storages are considered. It is shown that for the hydromechanization processes under consideration, operating modes of the pipeline transport plants depend not only on geometric parameters of the refuse storage, but also on hydraulic characteristics of the processes of pulp flowing in the main pipelines. Hydraulic characteristics of the fluid flow affect the loss of head in the main pipeline only when dike dam exceeds a certain height, which depends on hydraulic slope, that is, on the pipeline parameters, pulp concentration and its flow rate. On the basis of the conducted research it was established that in case of highly-concentrated pulp flowing, angle of the pipeline inclination does not affect the hydraulic slope. Therefore, in the regime of flowing of hydromixture as a heterogeneous fluid for such pulps, hydraulic slope is calculated in accordance with the solution of the Buckingham equation. It is shown that for the examined technologies of the hydromechanization operation modes of options of pipeline transport will depend not only on the geometrical parameters of depository of wastes but also from hydraulic descriptions of processes flow of pul'p on highways.

By using the obtained dependences, recommendations and methods for calculating parameters of hydrotransport for highly concentrated hydromixtures can be elaborated, which allow designing of promising technologies for developing the man-made placers formed in the washery refuse storages.

Keywords: hydrotransport, waste depositories of enrichment, hydros mixture, high concentration.

Стаття надійшла до редакції 22.05. 2018

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Б.О. Блюссом