

Витушко О.В., д-р техн. наук
(Шахта Ольховая-Западная)

Дзюба С.В., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,

Коваль Н.В., мл. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ГИДРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Вітушко О.В., д-р техн. наук
(Шахта Вільхова-Західна)

Дзюба С.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.,

Коваль Н.В., мол. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)

РОЗРОБКА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСІВ ГИДРОТРАНСПОРТУВАННЯ В ПІДЗЕМНИХ ГИДРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Vitushko O.V., D. Sc. (Tech.)
(Mine Vilhova Zahidna)

Dziuba S.V., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,

Koval N.V., M.S (Tech)
(IGTM NAS of Ukraine)

DEVELOPMENT OF CALCULATION METHODS OF PROCESS PARAMETERS AT HYDROTRANSPORTATION IN UNDERGROUND HYDROTECHNICAL SYSTEMS

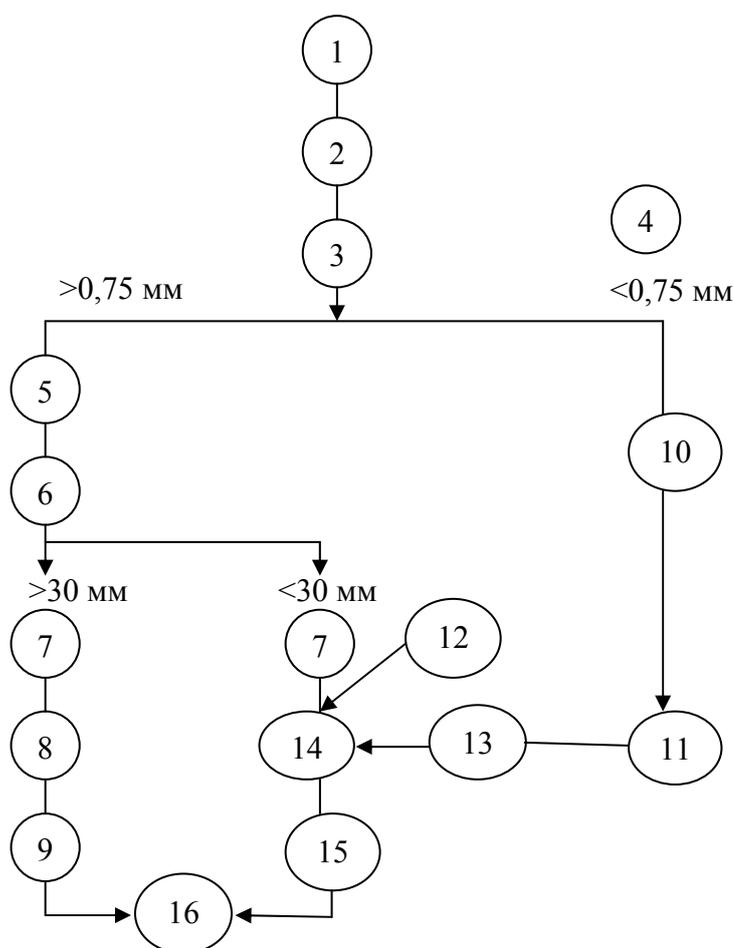
Аннотация. В рамках обеспечения регламентированного гидравлического режима на горных предприятиях для надежного функционирования технологического оборудования при подземной разработке полезных ископаемых, а также геотехнических систем в целом, установлены этапы расчета основных параметров гидротранспортных установок. Подземные гидротехнические системы представлены в виде совокупности гидротехнических сооружений, а именно: зумпфов, водосборников, выработок и т.д., технологически связанных между собой гидравлическими машинами. Проведен анализ основных условий, обеспечивающих надежное функционирование гидротранспортных установок, определены рациональные значения критической скорости гидротранспортирования и гидравлического уклона, а также обоснованы параметры режимов работы подземных гидротехнических систем.

Ключевые слова: параметры процессов гидротранспортирования, подземные гидротехнические системы

Введение. Анализ функционирования горно-обогатительных комбинатов Украины позволил определить основное назначение подземных гидротехнических систем в рамках обеспечения регламентированного гидравлического режима геотехнических систем подземного строительства и подземной разработки месторождений полезных ископаемых.

Подземные гидротехнические системы представляют собой совокупность подземных гидротехнических сооружений в виде зумпфов, водосборников, выработок и тому подобное, технологически связанных между собой гидравлическими машинами.

Теоретическая часть. В работе представлено разработанное методическое обеспечение расчетов параметров процессов гидротранспортирования в подземных гидротехнических системах, принципиальная схема которых приведена на рис. 1 [1].



1 – забой с гидродинамической добычей; 2 – лотки; 3 – обезвоживание на скребковых конвейерах со щелевидными отверстиями в днище; 4 – пульпа тонких классов; 5 – транспортирование в вагонетках с боковой загрузкой; 6 – колосниковый грохот; 7 – бункер; 8 – транспортирование в вагонетках; 9 – шахтные воды; 10 – полимерные трубы; 11 – зумпф для шлама; 12 – шахтные воды; 13 – слив; 14 – установка для гидротранспортирования с трубчатым загрузочным устройством; 15 – трубопровод; 16 – обогатительная фабрика

Рисунок 1 – Принципиальная схема подземной гидротехнической системы

На основе известных условий, обеспечивающих надежное функционирование гидротехнических сооружений, в наиболее общем виде представим этапы расчета основных параметров гидротранспортных установок: критической скорости гидротранспортирования и гидравлического уклона.

Исходными данными для расчета являются:

- гранулометрический состав транспортируемого материала;
- средневзвешенная плотность транспортируемого материала;
- температура жидкой фазы пульпы;
- плотность жидкой фазы пульпы;
- объемная истинная концентрация пульпы;
- параметры закона сопротивления трубопровода;
- параметр, учитывающий влияние свойств жидкой фазы пульпы на критический режим гидротранспортирования;
- внутренний диаметр трубопровода.

На основе этих данных рассчитываются:

- массовые доли стандартных фракций транспортируемого материала;
- параметр Архимеда;
- кинематический коэффициент вязкости пульпы;
- гравитационно-вязкостный критерий;
- средневзвешенный диаметр мелких частиц;
- критерий Фруда;
- константа М.А. Великанова.

Расчеты производятся в соответствии со следующими этапами [1-4].

На первом этапе по гранулометрическому составу и данным табл. 1 рассчитывают массовые доли стандартных фракций транспортируемого материала.

На втором этапе рассчитываются значения параметра Архимеда, кинематического коэффициента вязкости пульпы и гравитационно-вязкостного критерия

$$Ar = \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0}; \quad (1)$$

где ρ_s – плотность смеси, кг/м³; ρ_0 – плотность жидкости, кг/м³;

$$v = v_w(1 + S); \quad (2)$$

где S – значение объемной концентрации твердых частиц в воде;

$$Gm = \frac{gD^{1+N}}{Mv^N}; \quad (3)$$

$$v_w = \frac{v_0}{1 + t + t^2}. \quad (4)$$

Таблица 1 – Классификация транспортируемых материалов

Фракция	Диапазон изменения крупности частиц	
	Руда	Уголь
Тонкие	меньше 0,15 мм	меньше 0,2 мм
Мелкие	более 0,15 и меньше 2 мм	более 0,2 и меньше 3 мм
Кусковые	больше 2 мм	больше 3 мм

На третьем этапе определяются значения средневзвешенного диаметра мелких частиц и критерия Фруда

$$d_{\tilde{n}\delta} = \sum d_i q_i, \quad (5)$$

$$Fr_w = \frac{w}{\sqrt{2gd_{cp}}}; \quad (6)$$

$$w = w_0(1-S)^{n_w}; \quad (7)$$

$$w_0 = Ar \left(0.68d_{cp} + \frac{t}{52} - 0.5 \right); \quad (8)$$

$$n_w = 5 - \lg \left(\frac{d_{cp} w_0}{\nu_w} \right). \quad (9)$$

На четвертом этапе определяется значение константы Великанова

$$\chi = \frac{\varepsilon K \sqrt{S}}{1 - \varepsilon K \sqrt{S}}; \quad (10)$$

$$K = Fr_w^{0,47} \left(\frac{gD}{0.9726} \right)^{0,7}. \quad (11)$$

Следующим существенным этапом расчетов является оценка критической скорости, для чего используются [5-7]

- параметры взаимодействия частиц кусковых фракций со стенкой трубы;
- гранулометрический состав транспортируемого материала;
- средневзвешенная плотность транспортируемого материала;
- температура жидкой фазы пульпы;
- плотность жидкой фазы пульпы;
- объемная истинная концентрация пульпы;
- параметры закона сопротивления трубопровода;
- параметр, учитывающий влияние свойств жидкой фазы пульпы на критический режим гидротранспортирования;
- внутренний диаметр трубопровода.

Расчет критической скорости гидротранспортирования выполняется следующим образом. На первом этапе выполняется расчет вспомогательных величин. На втором этапе в соответствии с данными табл. 2 определяется значение обобщенного коэффициента трения частиц кусковой фракции о нижнюю стенку трубы. На третьем этапе в зависимости от гранулометрического состава транспортируемого материала и данных табл. 3 рассчитываются величины, необходимые для определения критической скорости гидротранспортирования.

На четвертом этапе вычисляется величина критической скорости гидротранспортирования в зависимости от величины параметра q в соответствии с формулами табл. 4 и в зависимости от гранулометрического состава транспортируемого материала в соответствии с формулами табл. 5.

Таблица 2 – Рекомендованные значения f для различных материалов

Материал	Классификация	Свежедробленые		Окатанные	
		от	до	от	до
Уголь	крепкие	0.25	0.30	0.20	0.25
	слабые	0.18	0.20	0.15	0.18
	антрациты	0.10	0.15	0.08	0.10
Порода	крепкие	0.50	0.55	0.45	0.50
	средние	0.40	0.45	0.35	0.40
	слабые	0.35	0.40	0.30	0.35
	гравий	–	–	0.35	0.40

Таблица 3 – Параметры, необходимые для определения V_{kp}

Величина	Формулы для расчетов	
	при $R_1 \neq 0$	при $R_1 = 0$
α	$\alpha = \frac{Ar(1 - SR_1)}{1 + ArSR_1}$	$\alpha = Ar$
β	$\beta = \frac{\chi}{\alpha SR_1} - 1$	$\beta = \frac{\chi}{ArS}$
p	$p = \frac{0,148 f^3}{\beta Fr_w^2} \frac{R_3^3}{R_1 R_2^2}$	$p = \frac{0,148 f^3}{\beta Fr_w^2} \frac{R_3^3}{R_2^2}$

Таблица 4 – Формулы для расчета критической скорости гидротранспортирования

Значение параметра p	Формула для расчета V_{kp}
$p \leq 1$	$V_{kp} = 2^{-N} \sqrt{G_2 \left(0,71 \frac{Fr_w}{\beta} \right)^{2/3} \left(\sqrt[3]{1 + \sqrt{1-p}} + \sqrt[3]{1 - \sqrt{1-p}} \right)^{2-N}}$
$p > 1$	$V_{kp} = 2^{-N} \sqrt{G_3 \frac{\Phi f}{0,217\beta} \cos^{2-N} \left(\frac{1}{3} \arccos \left(\frac{1}{\sqrt{p}} \right) \right)}$

Таблица 5 – Формулы для расчета параметров G_2 и G_3

Величина	Формулы для расчетов	
	при $R_1 \neq 0$	при $R_1 = 0$
G_2	$G_2 = Gm \frac{R_2}{R_1}$	$G_2 = GmR_2$
G_3	$G_3 = Gm \frac{R_3}{R_1}$	$G_3 = GmR_3$

Заключительным этапом расчетов является оценка гидравлического уклона на основе следующих данных [8-10]:

- величины параметра гидротранспортирования;
- параметров взаимодействия частиц кусковых фракций со стенкой трубы;
- гранулометрического состава транспортируемого материала;
- средневзвешенной плотности транспортируемого материала;
- температуры жидкой фазы пульпы;
- плотности жидкой фазы пульпы;
- объемной концентрации пульпы;
- параметров закона сопротивления трубопровода;
- параметра, учитывающего влияние свойств жидкой фазы пульпы на критический режим гидротранспортирования;
- внутреннего диаметра трубопровода.

Это позволяет предложить следующую методику расчетов. По величинам параметра гидротранспортирования и критической скорости определяются фактическая скорость течения пульпы и коэффициент гидравлического сопротивления

$$V = kV_{kp}; \quad (12)$$

где V_{kp} – критическая скорость гидротранспортирования, м/с.

$$\lambda' = \frac{Mv^N}{D^N V^N}, \quad (13)$$

что позволяет в зависимости от гранулометрического состава транспортируемого материала и с использованием табл. 6 рассчитать величину дополнительного гидравлического уклона, обусловленного наличием в пульпе твердой фазы, и полный гидравлический уклон

$$i = \frac{\lambda' V^2}{2gD} + \Delta iS; \quad (14)$$

$$E = \frac{\lambda'V^2}{2gDS} + \Delta i. \quad (15)$$

Таблица 6 – Зависимости для оценки дополнительного гидравлического уклона

Условия расчета	Формулы для расчета величины Δi
$R_1 \neq 0$	$\Delta i = \alpha \left(R_1 \frac{\lambda'V^2}{2gD} + \frac{0.71}{\sqrt{\lambda'}} R_2 \frac{w}{V} \sqrt{\frac{D}{d_{cp}}} + \varphi f R_3 \right)$
$R_1 = 0$	$\Delta i = Ar \left(\frac{0.71}{\sqrt{\lambda'}} R_2 \frac{w}{V} \sqrt{\frac{D}{d_{cp}}} + \varphi f R_3 \right)$

Для обеспечения надежной и эффективной работы гидротранспортных установок необходимо регулирование напорного течения гидросмеси с учетом удовлетворения следующих неравенств:

$$V_{kp} \leq \frac{[V]}{k_V}; \quad S \leq [S]; \quad J \leq \sigma [J], \quad (16)$$

где $[V]$ – регламентированное значение средней скорости отводимой гидросмеси; k_V – параметр гидротранспортирования; $[S]$ – допустимое значение концентрации твердых частиц; J – гидравлический уклон; σ – коэффициент запаса ($\sigma \leq 1$); $[J]$ – допустимое значение гидравлического уклона.

Указанные неравенства удовлетворяются при выполнении следующих условий.

Для подземных вод первой группы граничные значения концентрации гидросмеси и диаметра трубопровода, которые соответствуют знаку равенства в (16), определяются согласно зависимостям (табл. 7)

$$S = A; \quad D = \left(\frac{[V]}{\sqrt[3]{[S]k_V B \sqrt{g}}} \right)^2. \quad (17)$$

Для подземных вод второй группы граничные значения объемных долей фракций определяются согласно зависимостям

$$R_1 = \sqrt{0.25 \left(A \frac{1 + Ar_1 SB}{Ar_1 S} + 1 \right)^2 - A \frac{1 - B}{Ar_1 S}} - 0.5 \left(A \frac{1 + Ar_1 SB}{Ar_1 S} + 1 \right); \quad (18)$$

$$R_* = 1 + 0.5 \left(A \frac{1 + Ar_1 SB}{Ar_1 S} + 1 \right) - \sqrt{0.25 \left(A \frac{1 + Ar_1 SB}{Ar_1 S} + 1 \right)^2 - A \frac{1 - B}{Ar_1 S}}; \quad D = \left(\frac{C[V]}{k_V \sqrt{g} C_4 \sqrt{f Ar_3}} \right)^2. \quad (19)$$

Для подземных вод третьей группы граничные значения объемной доли мелкой фракции определяется из решения уравнения

$$R_2 + \left(\frac{\Psi}{\zeta}\right)^2 R_2^{2/3} - 2\frac{\Psi^2}{\zeta} R_2^{1/3} + A = 0; \quad D \geq \left(\frac{[V]}{k_V \sqrt{gB}}\right)^2. \quad (20)$$

Согласно указанным неравенствам изменением параметров твердой фазы регулируются значения критической скорости и величина гидравлического сопротивления трубопровода. Отметим, что допустимое значение гидравлического уклона определяется суммарным напором установленных насосов, отнесенным к длине трубопровода.

Таблица 7 – Параметры полидисперсного материала, удовлетворяющие сверхкритическим режимам течения

Подземные воды первой группы	
Присутствуют только мелкие частицы	Присутствуют только кусковые частицы
$S \leq \varphi^3; \varphi = \frac{Fr_p}{Fr_*}; Fr_* = C_3 \sqrt[3]{Ar_2 Fr_w};$	$S \leq \psi^2; \psi = \frac{Fr_p}{Fr_{**}}; Fr_{**} = C_4 \sqrt{f Ar_3};$
$D \geq \left(\frac{[V]}{\sqrt[3]{[S] k_V Fr_* \sqrt{g}}}\right)^2; Fr_p = \frac{[V]}{k_V \sqrt{gD}}.$	$D \geq \left(\frac{[V]}{k_V Fr_{**} \sqrt{g[S]}}\right)^2; Fr_p = \frac{[V]}{k_V \sqrt{gD}}.$
Подземные воды второй группы	
Отсутствуют мелкие частицы	Отсутствуют кусковые частицы
$A = Ar_3 \frac{1 + \alpha \psi^2}{\alpha} + 1; B = Ar_3 \frac{1 - \psi^2}{\alpha};$	$A = Ar_2 \frac{1 + \alpha \zeta^3}{\alpha} + 1; B = Ar_2 \frac{1 - \zeta^3}{\alpha};$
$\psi^2 Ar_3 < 1; \alpha < 1; \alpha < \frac{1 - Ar_3 \psi^2}{1 + Ar_3 \psi^2};$	$\alpha < \frac{1 - \zeta^3}{1 + \zeta^3}; \zeta^3 < 1; \zeta = \frac{\varphi}{\sqrt[3]{S(1-S)^N}};$
$D \geq \frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} \left(\frac{[V]}{k_V \sqrt{g Fr_{**}}}\right)^2;$	$D \geq \left(\sqrt[3]{\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} \frac{Ar_2}{S(1-S)^N} \frac{[V]}{k_V \sqrt{g Fr_{**}}}}\right)^2;$
$R_* = R_3; \alpha = Ar_1 S.$	$R_* = R_2; \alpha = Ar_1 S; N = 5 - \lg\left(\frac{w_0 d_2}{v}\right).$
Подземные воды третьей группы	
Трехкомпонентный материал	Двухкомпонентный материал, в котором нет тонких частиц
$A = \psi^2 - 1 + R_1;$	$A = \psi^2 - 1;$
$R_2 \leq \zeta^3; R_2 \leq 1 - R_1; \psi \geq \sqrt{1 - R_1};$	$R_2 \leq \zeta^3; R_2 \leq 1; \psi < 1;$
$D \geq \left(\frac{[V]}{k_V \sqrt{g \sqrt{1 - R_1} Fr_{**}}}\right)^2.$	$D \geq \left(\frac{[V]}{k_V \sqrt{g \Delta Fr_*}}\right)^2.$

Поэтому для надежной и эффективной эксплуатации гидротранспортных систем необходимо оценить, при каких объемных долях компонентов твердой фазы возможно транспортирование с использованием установленных насосов.

Если твердая фаза представлена только тонкими классами, то граничное значение концентрации твердых частиц вычисляется, согласно табл. 8, следующим образом:

$$S = 1 - 0,5\sigma[i]N_1 + \sqrt{(1 - 0,5\sigma[i]N_1)^2 + \frac{1 - \sigma[i]N_1}{Ar_1}}; \quad N_1 = \frac{\lambda V^2}{2gD}; \quad (21)$$

Таблица 8 – Характеристические параметры гранулометрического состава твердой фазы подземных вод

Подземные воды первой группы	
Присутствуют только мелкие частицы	Присутствуют только кусковые частицы
$A = N; B = N_2;$	$A = 0; B = f;$
Подземные воды второй группы	
Отсутствуют мелкие частицы	Отсутствуют кусковые частицы
$M = N_2; R_* = R_3;$	$M = f; R_* = R_2;$
Подземные воды третьей группы	
Отсутствуют тонкие частицы	Трехкомпонентные
$A = 1; B = 1; C = 1; Z = 1$	$A = 1 + \alpha R_1; B = 1 + 2\alpha R_1 - \alpha S R_1^2;$ $C = A r_3 - \alpha R_1; Z = A r_2 - \alpha R_1$

$$0 < \sigma[i]N_1 < 2 \frac{1 + A r_1}{A r_1} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + A r_1}} \right); \quad 2 \frac{1 + A r_1}{A r_1} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{1 + A r_1}} \right) < \sigma[i]N_1 < 1, \quad (22)$$

где N_1 – гидравлический уклон жидкости; λ – коэффициент гидравлического сопротивления трения жидкости.

Для других подземных вод первой группы удовлетворяются следующие соотношения:

$$S(1 - S)^A \leq B \left(\sigma[i] - \frac{1}{N_1} \right); \quad \sigma[i]N_1 > 1; \quad \frac{1}{B} + \frac{1}{N_1} > \sigma[i]. \quad (23)$$

Соответственно для подземных вод второй группы граничные значения объемных долей фракций рассчитываются следующим образом:

$$R_1 = \frac{2 - \sigma[i]N_1}{2\left(S - \frac{N_1}{A}\right)} - \frac{1 + \frac{Ar}{Ar_1S} \frac{N_1}{2A}}{S - \frac{N_1}{A}} + \sqrt{\left(\frac{2 - \sigma[i]N_1}{2\left(S - \frac{N_1}{A}\right)} - \frac{1 + \frac{Ar}{Ar_1S} \frac{N_1}{2A}}{S - \frac{N_1}{A}}\right)^2 + \frac{A(1 - \sigma[i]N_1) + ArN_1}{Ar_1S(AS - N_1)}}; \quad (24)$$

$$R_* = 1 - R_1; \quad \frac{1 + (2 - S)Ar_1S}{1 + Ar_1S} < \sigma[i]N_1 < S\sigma[i]A.$$

Гранулометрический состав подземных вод третьей группы удовлетворяет неравенствам задачи регулирования при соблюдении условий

$$R_2 \leq \frac{(1 + Ar_1SR_1)\sigma[i] - \frac{1 + 2Ar_1SR_1 - Ar_1S^2R_1^2}{N_1} - \frac{Ar_3 - Ar_1SR_1}{f}}{\frac{Ar_2 - Ar_1SR_1}{N_2} - \frac{Ar_3 - Ar_1SR_1}{f}}; \quad (25)$$

$$(1 + Ar_1SR_1)\sigma[i] \leq \frac{1 + 2Ar_1SR_1 - Ar_1S^2R_1^2}{N_1} + \frac{Ar_2 - Ar_1SR_1}{N_2}; \quad (26)$$

$$(1 + Ar_1SR_1)\sigma[i] \geq \frac{1 + 2Ar_1SR_1 - Ar_1S^2R_1^2}{N_1} + \frac{Ar_3 - Ar_1SR_1}{f}; \quad (27)$$

$$\frac{Ar_2 - Ar_1SR_1}{N_2} \geq \frac{Ar_3 - Ar_1SR_1}{f}; \quad N_2 = C_1 \frac{w_0}{V} \sqrt{\frac{D}{d_{cp}}}, \quad (28)$$

где N_2 – модуль гидравлического уклона мелких фракций; w_0 – скорость свободного падения частиц мелкой фракции.

Выводы. На основе проведенных исследований для подземных вод, твердая фаза которых является трехкомпонентным материалом, с учетом системы уравнений, сформированной из ограничения на критическую скорость и уравнение Бернулли для гидросмеси, разработан алгоритм определения параметров гранулометрического состава твердой фазы, который обеспечивает функционирование гидротехнических систем с заданной производительностью в сверхкритических режимах с учетом параметров расходно-напорных характеристик установленных насосов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф. Модели элементов гидротехнических систем горных предприятий / А.Ф. Булат, О.В. Витушко, Е.В. Семеновко. – Днепропетровск: Герда, 2010. – 216 с.
2. Streltsova T.D. Well Pressure Behavior of Naturally Fractured Reservoir / T.D. Streltsova // SPEJ. –

1983. – Vol.21, №3. – P. 769 – 780

3. Дзюба С.В. Анализ технологий подземной разработки месторождений полезных ископаемых при ведении горных работ в сложных горно-геологических условиях / С.В. Дзюба, Н.А. Шмелев, Н.В. Коваль // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 101. – С. 284 – 291.

4. Витушко О.В. Значение гидротехнических сооружений для эффективной работы угольных предприятий / О.В. Витушко, С.В. Дзюба // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 104. – С. 263 – 267.

5. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. – М.: Недра, 1980. – 390 с.

6. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семененко. – Севастополь: Вебер, 2002. – 247 с.

7. B. Blyuss, Eu. Semenenko, N. Nykyforova. The calculation procedure of hydrotransport parameters of bulk solids using hydrodynamically active additives solutions // Papers presented at the 14th International Conference on Transport and Sedimentation of Solid Particles, June 23 – 27, 2008, Saint Petersburg, Russia. – Pp. 41–48.

8. Рудаков Д.В., Садовенко І.О. Прогнозування гідродинамічного режиму при відпрацьовуванні й затопленні шахтного поля // Вісник ЖДТУ, Житомир. – 2006. – №1 (36). – С. 151–157.

9. Витушко О.В. Усовершенствование метода расчета параметров гидротранспорта полидисперсных материалов / О.В. Витушко, Н.А. Никифорова, Е.В. Семененко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2009. – № 6. – С. 66–69.

10. Витушко О.В. Анализ методик расчета гидравлического уклона и критической скорости гидротранспортирования / О.В. Витушко, Н.А. Никифорова, Е.В. Семененко // *Науч.-техн., произв. и эконом. журнал “Уголь Украины”*. – 2010. – № 4. – С. 43–46.

REFERENCES

1. Bulat A.F., O.V. Vitushko, O.V. and Semenenko, Ye.V. (2010). *Modeli elementov gidrotekhnicheskikh system gornykh predpriyatiy* [Models of elements of the hydrotechnical systems of mining enterprises], Gerda, Dnepropetrovsk, UA.

2. Streltsova, T.D. (1983), «Well Pressure Behavior of Naturally Fractured Reservoir», *SPEJ*, Vol.21,no. 3. – pp. 769 – 780.

3. Dziuba, S.V., N.A. Shmelev, N.A. and Koval, N.V. (2012), «Analysis of technologies of underground development of deposits of minerals at the conduct of mountain works in the difficult mining and geological conditions», *Geo-Technical Mechanics*, no. 101, pp. 284-291.

4. Vitushko, O.V. and Dziuba, S.V. (2012), «Value of hydrotechnical buildings for effective work of coal enterprises», *Geo-Technical Mechanics*, no. 104, pp. 263-267.

5. Smoldyrev A.E. (1980), *Truboprovodny transport* [Pipeline transport], Nedra, Moscow, SU.

6. Zvyagilskiy, Ye. L., Blyuss, B.A., Nazimko, Ye.I. and Semenenko, Ye.V. (2002), *Sovershenstvovanie regimov raboty gidrotransportnih ustanovok tehnologiy ugleobogashcheniya* [Improvement of operating modes of hydrotransport installations of technologies of coal preparation], Veber, Sevastopol, UA.

7 B. Blyuss, B., Semenenko, Ye. and Nykyforova, N. (2008), «The calculation procedure of hydrotransport parameters of bulk solids using hydrodynamically active

8. Rudakov, D.V. and Sadovenko, I.A. (2006), «Prognostication of additives solutions», *Papers presented at the 14th International Conference on Transport and Sedimentation of Solid Particles, June 23 – 27, Saint Petersburg, Russia*, pp. 41–48. the hydrodynamic mode is at working off and flood of the mine field», *Visnyk GDTU, Gitomir*, Vol. 1(36). – pp. 151-157/

9. Vitushko, O.V., Nikiforova, N.A. and Semenenko, Ye.V. (2009), «Improvement of a method of calculation of parameters of hydrotransport of polydisperse materials», *The Metallurgical and mining industry*, no. 6, pp. 66-69.

10. Vitushko O.V, N.A. Nikiforova, N.A. and Semenenko, Ye.V. (2010), «Analysis of method calculation of a hydraulic bias and critical speed of hydrotransportation», *Coal of Ukraine*, no. 4, pp. 43-46

Об авторах

Витушко Олег Викторович, доктор технических наук, главный инженер шахты «Ольховая Западная», igtmnanu@yandex.ua

Дзюба Сергей Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела

геодинамических систем и вибрационных технологий, Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, igtmnanu@yandex.ua

Коваль Наталья Васильевна, младший научный сотрудник отдела геодинамических систем и вибрационных технологий, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины, igtmnanu@yandex.ua

About the authors

Vituhko Oleg Viktorovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Main engineer of mine Vilhova Zahidna, igtmnanu@yandex.ua

Dziuba Sergej Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher in Department of Geodynamic System and Vibration Tehnologies, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtmnanu@yandex.ua

Koval Natalia Vasilevna, Junior Researcher in Department of Geodynamic System and Vibration Tehnologies, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtmnanu@yandex.ua

Анотація. В рамках забезпечення регламентованого гідравлічного режиму на гірничих підприємствах для надійного функціонування технологічного устаткування при підземній розробці корисних копалини, а також геотехнічних систем в цілому, встановлені етапи розрахунку основних параметрів гідротранспортних установок. Підземні гідротехнічні системи представлені у вигляді сукупності гідротехнічних споруд, а саме: зумпфів, водозбірників, вироботок і так далі, технологічно зв'язаних між собою гідравлічними машинами. Проведено аналіз основних умов, що забезпечують надійне функціонування гідротранспортних установок, визначені раціональні значення критичної швидкості гідротранспортування і гідравлічного ухилу, а також обґрунтовані параметри режимів роботи підземних гідротехнічних систем.

Ключові слова: параметри процесів гідротранспортування, підземні гідротехнічні системи.

Abstract. In the framework of the regulated hydraulic conditions in mines for the reliable functioning of technological equipment in underground mining of minerals and geotechnical systems in general, the calculation stages of basic parameters of hydrotransportated settings are set. Underground hydratechnical systems are presented as a complex of hydratechnical structures, such as sumps, standage, excavation, etc., technologically interconnected hydraulic machines. The article analyzes the main stages and conditions to ensure reliable operation of hydrotransportated settings, defined rational values of the critical velocity hydrotransportation and hydraulic gradient, and, also, parameters of operations modes of underground hydraulic systems are grounded.

Keywords: parameters of processes of hydrotransportation, underground hydrotechnical systems

Статья поступила в редакцию 16.08.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Б.А. Блюссом

Медведева О.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭТАПОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

Медведєва О.О., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ИГТМ НАН України)

КЛАСИФІКАЦІЯ ЕТАПІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ХВОСТОСХОВИЩ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

Medvedeva O.A., Ph.D. (Tech), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

CLASSIFICATION OF OPERATIONAL PHASES OF WASTE STORAGEES OF ORE-DRESSING AND PROCESSING ENTERPRISES

Аннотация. Хранилища отходов переработки минерального сырья расположены в промышленно развитых районах, находятся на земной поверхности, и горная масса в них преимущественно дезинтегрирована, что резко снижает затраты на их разработку. Поэтому разработка таких хранилищ позволит одновременно решить целый ряд экономических, социальных и экологических проблем. Хранилища отходов переработки рассмотрены как техногенные месторождения. Изучено их строение. В статье обоснованы этапы эксплуатации хранилищ отходов горно-обогатительных комбинатов. В результате исследований установлено, что отработка хранилищ отходов ГОКов позволит увеличить запасы минерально-сырьевого комплекса, сократить количество складированных отходов обогащения, продлить срок эксплуатации хранилища.

Ключевые слова: хранилища отходов обогащения, техногенные месторождения.

Введение. Кривбасс является крупнейшей железорудной базой страны. Девятью карьерами пяти мощных горно-обогатительных комбинатов Кривбасса ежегодно складировается в отвалы более 90 млн м³ вскрышных пород и свыше 70 млн т отходов обогащения сбрасывается в хвостохранилища. На всех ГОКах Кривбасса ежегодно добывается около 25 млн т тяжело обогащаемых железистых кварцитов с содержанием железа до 32-36 %. Их складировано уже более 500 млн т. Пока только на ЦГОКе путем обжиг-магнитного обогащения перерабатывается около 9,5 млн т в год окисленной руды.

Актуальность повторной переработки отходов горнорудного производства очевидна, поскольку их разработка позволяет одновременно решать целый ряд экономических, социальных и экологических проблем. Экологические проблемы имеют особую важность, так как складирование отходов горнодобывающих и обогатительных предприятий исключает из хозяйственного оборота большие площади земель, качество которых снижается вследствие пылевых заносов с отвалов и хранилищ.