

УДК 622.648.01 – 9:621.643.29

Е.В. Семененко, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)
Л.Г. Татарко, магистр
(УГХТУ МОН Украины)

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА
В ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБАХ ПРИ СУЩЕСТВЕННОЙ
НЕОДНОРОДНОСТИ ПЛОТНОСТИ И КРУПНОСТИ
ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ ЧАСТИЦ**

Є.В. Семененко, д-р техн. наук, ст. наук. співр.
(ИГТМ НАН України)
Л.Г. Татарко, магістр
(УДХТУ МОН України)

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГИДРОТРАНСПОРТУ У ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБАХ ПІД ЧАС СУТТЄВОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ЩІЛЬНОСТІ І КРУПНОСТІ ЧАСТОК, ЯКІ ТРАНСПОРТУЮТЬСЯ

Ye.V. Semenenko, D. Sc. (Tech.), Senior Reseacher
(IGTM NAS of Ukraine)
L.G. Tatarko, M.S (Tech.)
(USU of Chemical Technology)

**CALCULATION OF HYDROTRANSPORT IN POLYETHYLENE PIPES
AT A SUBSTANTIALLY NONUNIFORM DENSITY AND SIZE OF THE
TRANSPORTED PARTICLE**

Аннотация. На основе анализа экспериментальных данных ряда авторов и анализа соответствующих методик расчета параметров гидротранспорта предложено разбиение на фракции частиц одного класса крупности с существенно различающимися плотностями с учетом их гидравлической крупности, что обеспечивает адекватность зависимостей для определения критической скорости и гидравлического уклона и позволяет повысить точность расчетов.

Показано, что частицы тонких фракций, имеющие относительную плотность более 4, обтекаются в режиме, который не позволяет рассматривать их смесь с водой как однородную жидкость с более высокой плотностью. Результатом является разделение сырья на тонкие и мелкие фракции при определении параметров гидротранспорта производить не по их геометрическому размеру, а по их гидравлической крупности.

Ключевые слова: гидротранспорт, полиэтиленовые трубы, гидравлическая крупность, гидравлический уклон, критическая скорость

Опыт эксплуатации гидротранспортных комплексов Вольногорского горно-металлургического комбината, Иршанского, Центрального и Южного горно-обогатительных комбинатов свидетельствует, что существующие методики расчета неадекватно описывают зависимости критической скорости и гидравлического уклона при наличии в транспортируемом материале частиц крупностью менее 0,15 мм с существенной разницей в плотности.

Примерами таких материалов могут служить исходные россыпи Вольногорского горно-металлургического комбината и Иршанского горно-обогатительного комбината, в тонких классах которых одновременно с частицами глины и суглинки с относительной плотностью 2,7 содержатся частицы ценных компонентов с относительной плотностью 5,6 (табл. 1) [1 – 3]. В результате известны случаи аккумуляции ценных компонентов на дне трубопровода с периодическими срывами образовавшейся постели, что приводит к нарушению стабильности процесса гидротранспортирования и режима работы обогатительного оборудования.

Таблица 1 – Гранулометрический состав и плотности материалов в россыпи Восточного участка Малышевского месторождения [1, 2]

| Класс крупности, мкм | Содержание материалов в россыпи, % | | | | Массовая доля класса, % |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|
| | 2700 кг/м ³ | 2720 кг/м ³ | 2750 кг/м ³ | 4590 кг/м ³ | |
| менее 63 | 0,00 | 9,00 | 7,50 | 1,22 | 17,72 |
| от 63 до 100 | 0,75 | 0,60 | 1,00 | 2,81 | 5,16 |
| от 100 до 160 | 5,98 | 0,30 | 1,30 | 0,96 | 8,53 |
| от 160 до 200 | 16,43 | 0,10 | 0,20 | 0,27 | 17,00 |
| от 200 до 315 | 46,31 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 46,36 |
| от 315 до 400 | 4,48 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4,48 |
| от 400 до 3000 | 0,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,75 |
| Массовая доля материала, % | 74,69 | 10,00 | 10,00 | 5,31 | |

На основе анализа более 20 методик расчета критической скорости и гидравлического уклона при течении пульпы была установлена причина несоответствия результатов расчетов по существующим методикам практически получаемым величинам, а также обоснованы пути ее устранения [1, 2, 4 – 9]. Большая часть методик расчета параметров гидротранспорта разрабатывалась для однородных по плотности материалов, что обеспечивало адекватность расчетных формул при разделении транспортируемого материала на классы крупности, каждому из которых соответствует свой тип перемещения частиц напорным потоком. Каждому классу крупности в формулах для расчета критической скорости гидротранспортирования и гидравлического уклона соответствует свое слагаемое, пропорциональное массовой доле этого класса в транспортируемом материале. Однако при существенном различии плотностей частиц одного класса крупности адекватность такого подхода нарушается, поскольку частицам большей плотности и частицам меньшей плотности одного класса крупности могут соответствовать различные типы перемещения. Этот эффект особенно сильно проявляется для частиц крупностью менее 0,15 мм, которые полностью увлекаются жидкостью и за счет этого повышают плотность несущей среды.

Известные зависимости [5 – 7, 10] позволяют производить расчет параметров гидротранспорта для полидисперсных материалов одной плотности, не превы-

шающей 2650 кг/м³. Здесь также предложена классификация материалов на фракции, в рамках которой для определения гидравлических сопротивлений и критических скоростей получены соответствующие формулы, обобщением которых являются универсальные зависимости, рекомендованные для полидисперсных гидросмесей, образованных из материалов различных классов крупности транспортируемого материала,

$$i = i_0 + A_1 SR_1 + c A_2 SR_2 \frac{w_0 - S^{n_w}}{V} \sqrt{\frac{D}{d_{cp}}} + f A_3 SR_3; \quad (1)$$

$$V_{kp} = c_0 \sqrt{gD} \sqrt[3]{\frac{A_2 SR_2 w_0 - S^{n_w}}{\sqrt{g d_{cp}}}} + c_1 \sqrt{f g D A_3 SR_3}; \quad (2)$$

$$A_j = \frac{Ar_j - SR_1}{1 + Ar_1 SR_1}; \quad Ar_1 = \rho_{sj} - 1; \quad i_0 = \frac{\lambda V^2}{2gD}; \quad n_w = \lg\left(\frac{v_0 10^5}{d_{cp} w_0}\right);$$

$$w_0 = Ar_2 \left(0.68 d_{cp} + \frac{t}{52} - 0.5\right), \quad (3)$$

где V_{kp} – критическая скорость гидротранспортирования, м/с; c_0, c_1 – эмпирические константы, учитывающие влияние на критическую скорость мелких и кусковых фракций; D – диаметр трубопровода, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; w – скорость стесненного падения частиц мелкой фракции, м/с; S – объемная концентрация частиц тонкой фракции, д. ед.; d_{cp} – средневзвешенный диаметр частиц мелкой фракции, м; Ar_i – параметр Архимеда для частиц i -й фракции; ρ_{sj} – относительная плотность частиц j -го материала; R_1 – массовая доля в транспортируемом материале тонких фракций (меньше 0,15 мм); R_2 – массовая доля в транспортируемом материале мелких фракций (более 0,15 и меньше 2 мм); R_3 – массовая доля в транспортируемом материале кусковых фракций (больше 2 мм); f – обобщенный коэффициент трения частиц кусковой фракции о нижнюю стенку трубы [6, 7]; i – гидравлический уклон пульпы, м вод. ст. / м; i_0 – гидравлический уклон воды, м вод. ст. / м; c – эмпирическая константа, учитывающая влияние на гидравлический уклон мелких фракций; λ – коэффициент гидравлического сопротивления трения; V – средняя расходная скорость гидросмеси, м/с; t – температура пульпы, °С; n_w – показатель степени; v_0 – кинематический коэффициент вязкости несущей жидкости, м²/с.

При обосновании выбранного разделения частиц транспортируемого материала на тонкие, мелкие и кусковые фракции А.Е. Смолдырев указывает, что [6, 7]:

- частицы тонких фракций образуют с жидкостью стабильные и нестабильные гидросмеси, при транспортировании турбулентными потоками полностью увлекаются жидкостью, взвешиваются и равномерно распределяются по поперечному сечению потока, образуя, таким образом, однородную жидкость с плотностью, большей, чем плотность воды;

- частицы мелких фракций в напорных потоках воды перемещаются с относи-

тельно большим пребыванием во взвешенном состоянии, неравномерно распределяются по поперечному сечению потока, концентрируются в нижней трети сечения трубопровода;

- частицы кусковых фракций в напорных потоках жидкости перемещаются по нижней стенке трубы скольжением, перекачиванием или скачкообразно в нижней части потока с относительно малым периодом пребывания во взвешенном состоянии.

Характер перемещения в потоке твердых частиц каждой фракции учитывается в формуле для расчета гидравлического уклона [4, 6, 7]: для тонких фракций он пропорционален квадрату скорости, для мелких – обратно пропорционален средней скорости и для кусковых – не зависит от скорости потока. При этом влияние концентрации тонких фракций на плотность транспортируемой жидкости учитывается дополнительным множителем.

Однако опыт применения формул (1) – (3) выявил ряд погрешностей, которые проявляются тем сильнее, чем больше разнородность материала по плотности и гранулометрическому составу. Зависимости (1) – (3) достаточно хорошо описывают зависимость параметров гидротранспорта в случае однородных по плотности материалов, когда различие в плотности частиц, образующих тонкие, мелкие и кусковые фракции, незначительно. В случае же разнородных материалов, к которым относятся исходные пески россыпных месторождений (табл. 1), и для которых характерно двух- или трехкратное превышение плотности ценных компонентов над плотностью вмещающих пород, адекватность зависимостей (1) – (3) нарушается. В частности, наблюдаются завышенные по сравнению с расчетными потери напора, а также имеет место заиливание нижней стенки трубопровода частицами ценного минерала при течении со сверхкритическими (по расчету) скоростями.

Анализ применения формул (1) – (3) показал, что одной из основных причин этих погрешностей является жесткое разбиение транспортируемого материала на тонкие, мелкие и кусковые фракции. Из сравнения граничных диаметров для частиц этих фракций с таблицами для определения гидравлической крупности твердых частиц, предложенными В.Н. Гончаровым [4, 9], нетрудно убедиться, что это разделение материала соответствует трем различным зависимостям для расчета скорости свободного падения частиц в неподвижной и безграничной жидкости.

Тонкие фракции соответствуют частицам с диаметром меньше 0,15 мм, для которых гидравлическая крупность рассчитывается по формуле Стокса с учетом границ ее применимости [4, 11, 12]

$$w_0 = \frac{gd^2}{\nu_0} \frac{Ar}{18}. \quad (4)$$

Мелкие фракции соответствуют частицам с диаметром более 0,15 и менее 2 мм, для которых гидравлическая крупность рассчитывается по формуле (3). Кусковые

фракции соответствуют частицам с диаметром больше 2 мм, для которых гидравлическая крупность рассчитывается по формуле Реттингера [4, 11, 12]

$$w_0 = 1,634\sqrt{gdAr} . \quad (5)$$

Данная классификация была введена В.Н. Гончаровым для зерен минералов при падении в неподвижной жидкости, а затем перенесена А.Е. Смолдыревым на транспортирование твердых частиц напорными турбулентными потоками без учета того, что стоксовский режим обтекания частиц, для которого справедлива формула (4), ограничивается следующим условием [4, 11, 12]:

$$Re \leq 1; \quad (6)$$

$$Re = \frac{w_0 d}{\nu_0} . \quad (7)$$

С учетом формул (4) и (7) нетрудно оценить диапазон изменения значений числа Рейнольдса Re для характерных диапазонов изменения диаметра и плотности частиц тонких фракций (рис. 1, 2). Из рис. 1 и 2 видно, что при увеличении плотности частиц тонкой фракции критерий Рейнольдса может превысить единицу, и условие полного увлечения частиц твердого жидкостью, при соблюдении которого гидросмесь может рассматриваться как однородная жидкость, будет нарушено.

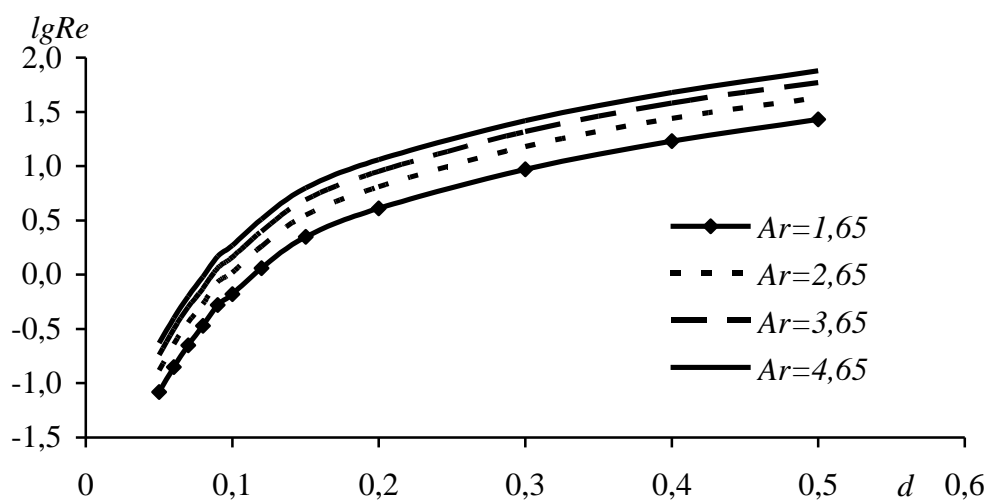


Рисунок 1 – Зависимость логарифма критерия Рейнольдса от диаметра частиц при различных значениях параметра Архимеда

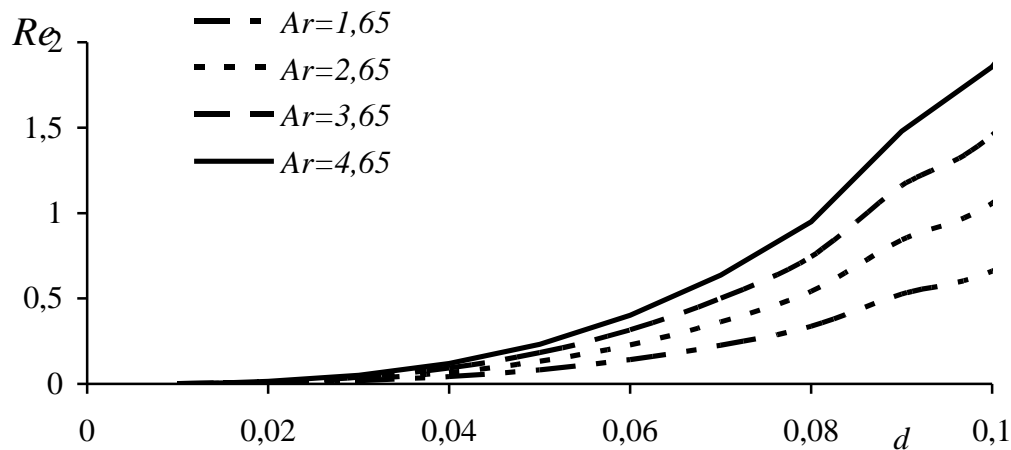


Рисунок 2 – Зависимость значений критерия Рейнольдса от диаметра частиц тонкой фракции при различных значениях параметра Архимеда

Определить граничное значение параметра Архимеда, при котором нарушается условие (6), можно, подставив формулу (4) в неравенство (6) и после несложных преобразований получив ограничения на параметр Архимеда частиц тонких фракций, для которых режим обтекания еще будет стоксовским (рис. 3),

$$Ar < Ar'; \quad (8)$$

$$Ar' = \frac{18v_0^2}{gd^3}. \quad (9)$$

Из рис. 3 видно, что частицы тонких фракций, имеющие относительную плотность более 4, обтекаются в режиме, который не позволяет рассматривать их смесь с водой как однородную жидкость с более высокой плотностью. То есть, потери напора, обусловленные наличием таких частиц в жидкости, должны быть пропорциональны не их относительной плотности и квадрату скорости, а соотношению их гидравлической крупности и средней скорости гидросмеси, как это имеет место для частиц мелких фракций. Будем относить эти частицы к гидравлически мелким фракциям.

Этот вывод подтверждается результатами других авторов [6 – 9, 13], исследовавших процессы гидротранспортирования концентратов железных и медных руд. Для этих материалов потери напора состоят из потерь напора на перемещение несущей жидкости, которые определяются как для случая течения чистой воды, и дополнительных потерь напора, которые вычисляются по формулам аналогичным формулам для частиц мелких фракций:

$$i = i_0 + A_1 SR_1 + cS A_2 R_2 \frac{w}{V} \sqrt{\frac{D}{d_{cp}}} \Theta + fA_3 SR_3; \quad (10)$$

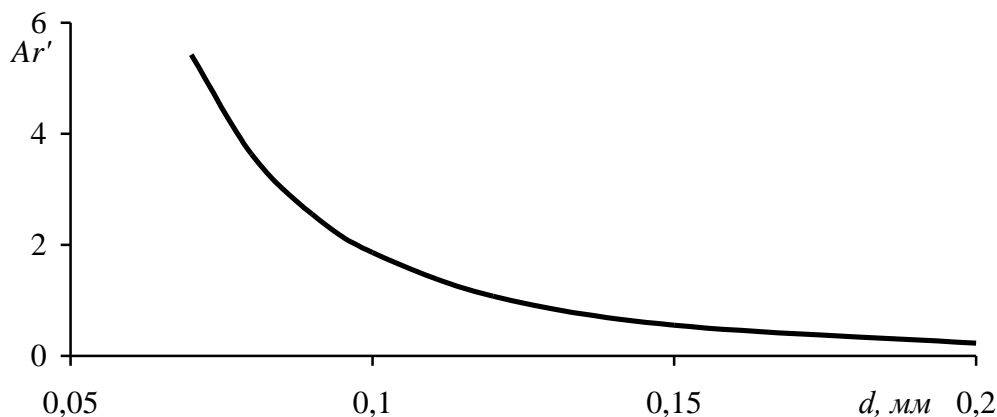


Рисунок 3 – Зависимость граничного значения параметра Архимеда от диаметра частиц тонкой фракции

$$V_{kp} = c_0 \sqrt{gD} \sqrt[3]{\Theta \frac{A_2 S R_2 w}{\sqrt{g d_{cp}}} + c_1 \sqrt{f g D A_3 S R_3}}; \quad R_1 + R_2 + R_3 + R' = 1; \quad (11)$$

$$\Theta = 1 + r a \psi; \quad r = \Delta \frac{R_1}{R_2}; \quad a = \left(\frac{Ar'}{Ar_2} \right)^2; \quad \psi = \frac{\psi'}{\psi_2}; \quad \Delta = \frac{R'}{R_1},$$

где Θ – коэффициент, учитывающий влияние частиц гидравлически мелких фракций; ψ' – коэффициент транспортабельности частиц гидравлически мелких фракций; ψ_2 – коэффициент транспортабельности частиц мелких фракций; R' – массовая доля частиц гидравлически мелких фракций.

Входящие в коэффициент Θ величины изменяются в различных пределах (рис. 4, 5, 6), однако величина их произведения не превышает 32, что обеспечивает повышение критической скорости, обусловленной наличием частиц мелких фракций, в 3 раза, а соответствующего гидравлического уклона в 30 раз.

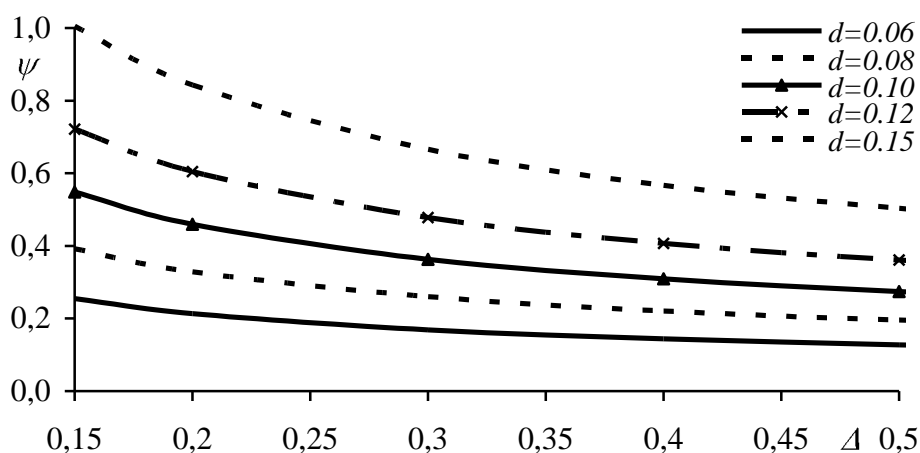


Рисунок 4 – Зависимость величины ψ от значения Δ при различных диаметрах частиц гидравлически мелких фракций

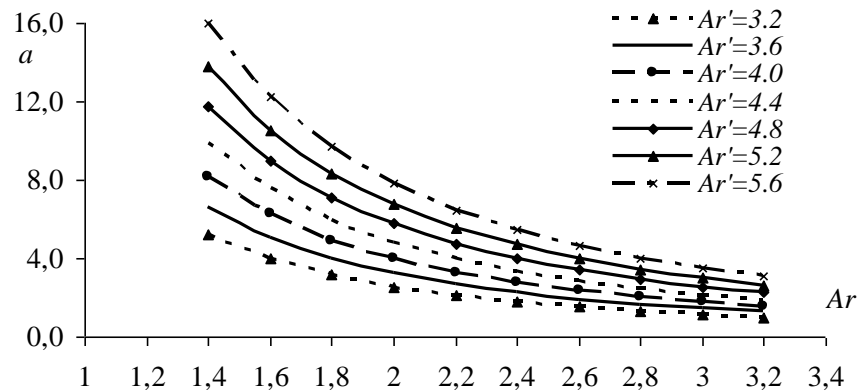


Рисунок 5 – Зависимость величины a от параметра Архимеда частиц мелких фракций при различных значениях параметра Архимеда частиц гидравлически мелких фракций

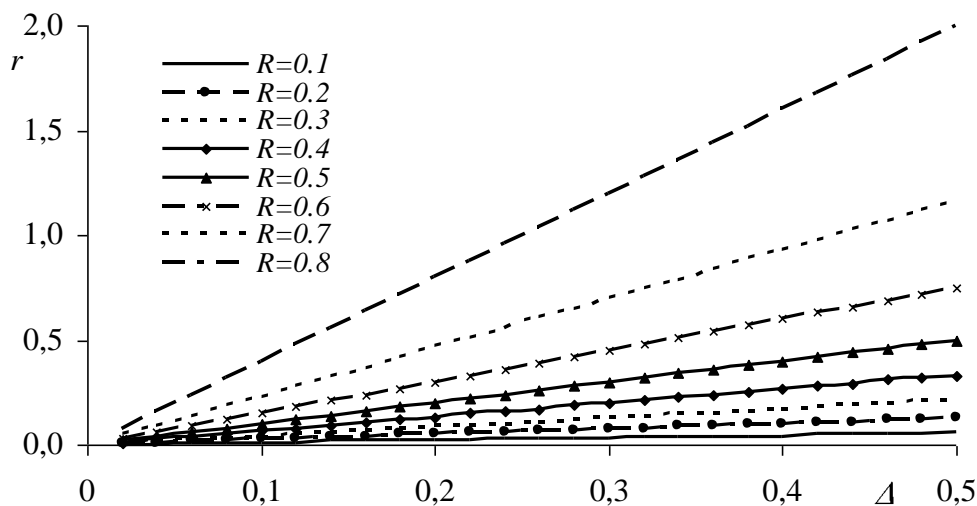


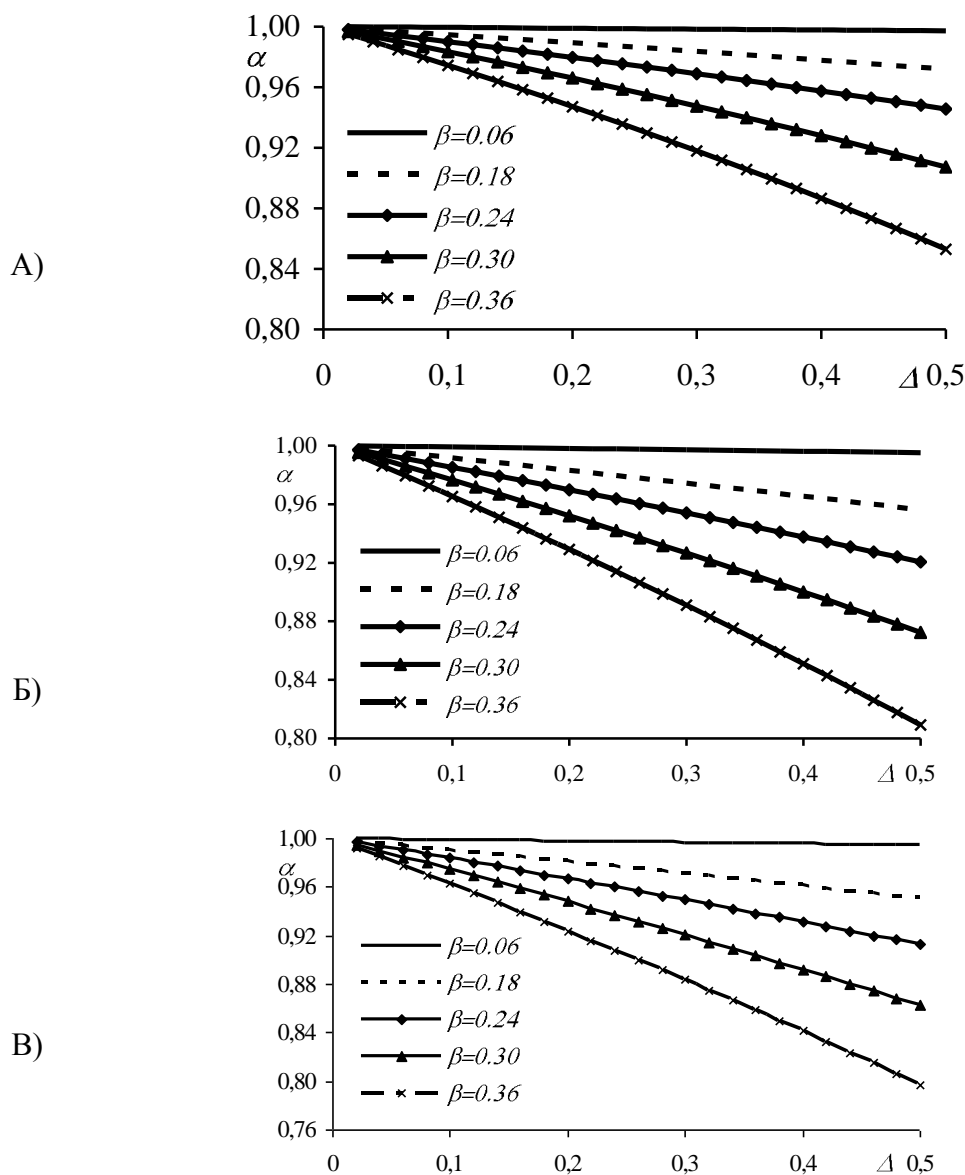
Рисунок 6 – Зависимость величины r от значений Δ при различной массовой доле частиц тонких фракций

Кроме того, коэффициенты A_1 , A_2 и A_3 в формулах (10) и (11) отличаются от коэффициентов в формулах (1) и (2) (рис. 7, 8). Отношение новых значений этих коэффициентов к старым значениям нетрудно представить в следующем виде:

$$\alpha = \frac{1 - \frac{\beta}{1 - \beta} \Delta}{1 - \frac{\beta}{1 + A_1 \beta} \Delta}; \quad \alpha' = \alpha \gamma; \quad \beta = S R_1; \quad \gamma = 1 + \Delta \frac{R_1}{R_2},$$

где α – отношение значений коэффициента A_1 или A_3 в формуле (10) к значению в формуле (1); α' – отношение значений коэффициента $A_2 R_2$ в формуле (11) к значению в формуле (2).

Из рис. 7 видно, что величина α меняется незначительно, постоянно убывает с ростом Δ и β и во всем диапазоне изменения параметров не превышает единицу.



А) – $Ar_1 = 0,4$; Б) – $Ar_1 = 1,7$; В) – $Ar_1 = 2,4$.

Рисунок 7 – Зависимость величины α от значений Δ при различных значениях β

То есть, отнесение частиц гидравлически мелких фракций к тонким завывшало взвешивающую способность потока. Влияние гидравлически мелких частиц гораздо более существенно сказывается на гидравлическом уклоне, обусловленном частицами мелких фракций (рис. 8), значение которого может увеличиваться в 2 раза.

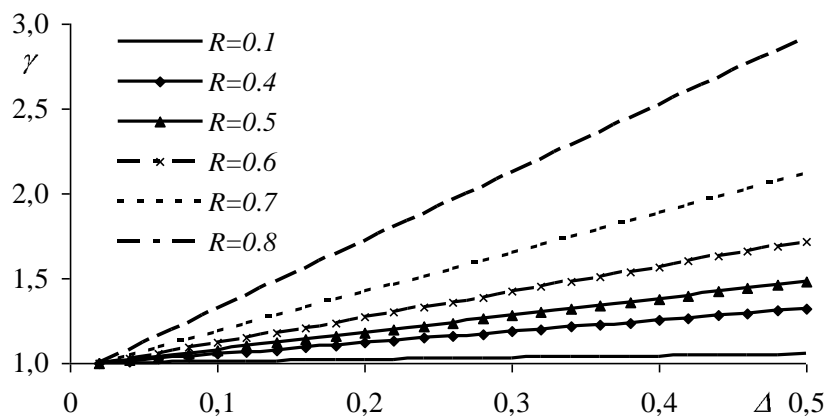


Рисунок 8 – Залежність величини γ від значень Δ при різній масовій долі частинок тонких фракцій

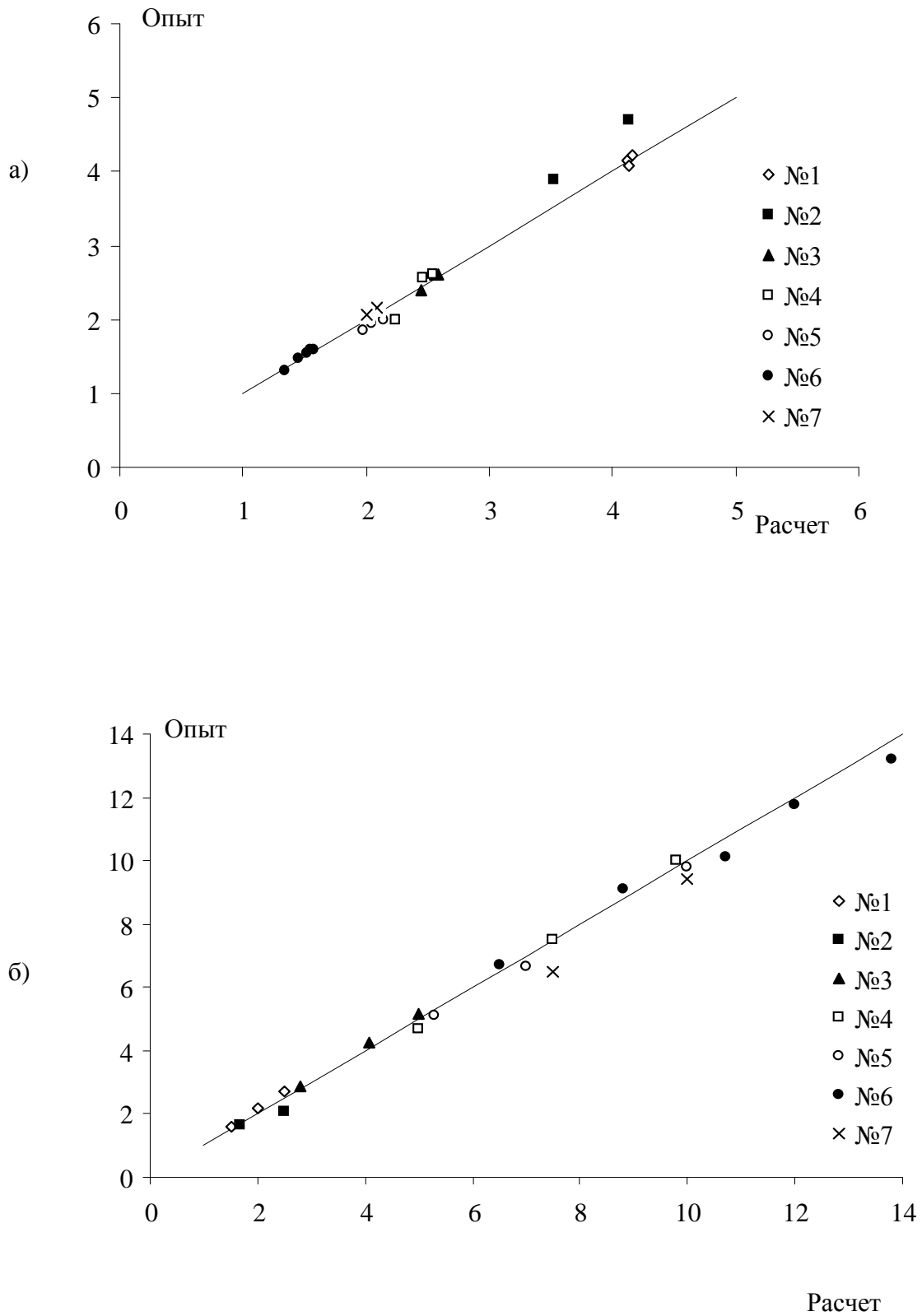
Таким образом, на основе анализа экспериментальных данных ряда авторов и анализа соответствующих методик расчета с учетом зависимости (9) предлагается разделить на тонкие и мелкие фракции при определении параметров гидротранспорта производить не по геометрическому размеру, а по их гидравлической крупности. При этом частицы крупностью менее 0,15 мм, для которых выполняется условие (8), необходимо относить к тонким фракциям, а те для которых это условие нарушается, – к мелким фракциям. За счет этого корректируются массовые доли в транспортируемом материале тонких и мелких фракций, пересчитывается относительная плотность несущей жидкости, а также частиц тонкой и мелкой фракций, уточняется гидравлическая крупность частиц мелких фракций.

Для проверки достоверности расчетов по предлагаемой методике были использованы экспериментальные данные, представленные в табл. 2 [8, 9, 15, 16].

Таблица 2 – Характеристики твердых материалов и труб, для которых получены экспериментальные данные

| Материал № | $\bar{\rho}_s$ | d_{cp} , м | D , м | w_s , м/с | Источник |
|------------|----------------|--------------|---------|-------------|----------|
| 1 | 2,65 | 0,000330 | 0,8000 | 0,0400 | [8] |
| 2 | 2,65 | 0,000292 | 0,6140 | 0,0300 | [8] |
| 3 | 2,65 | 0,000263 | 0,2020 | 0,2700 | [9] |
| 4 | 3,36 | 0,000338 | 0,1030 | 0,0515 | [9] |
| 5 | 2,65 | 0,000423 | 0,1030 | 0,0450 | [8] |
| 6 | 2,65 | 0,000290 | 0,0504 | 0,0310 | [16] |
| 7 | 2,65 | 0,000930 | 0,1106 | 0,1100 | [15] |

Результаты сопоставления расчетных значений критической скорости и гидравлического уклона с экспериментальными данными представлены на рис. 9.



а) критическая скорость; б) гидравлический уклон.

Рисунок 9 – Сопоставление значений величин, рассчитанных по разработанной методике, с экспериментальными данными в соответствии с табл.2

Из рисунка видно, что среднее относительное отклонение расчетных значений от экспериментальных для гидравлического уклона составляет 8,3 %, а для критической скорости – 3,9 %. Таким образом, предлагаемая методика адекватно описывает зависимости критической скорости и гидравлического уклона от концентрации пульпы для материалов с различным гранулометрическим составом и является вполне достоверной.

При этом в случае значительных различиях в плотности твердых частиц с геометрическими размерами менее 0,15 мм, традиционно относимых к тонким фракциям, предложенное дополнительное их разбиение на тонкие и гидравлически мелкие фракции в соответствии с гидравлической крупностью позволяет существенно повысить точность расчетов гидравлического уклона и критической скорости при гидротранспортировании разнородных по плотности полидисперсных твердых материалов. Предложенное дополнительное разбиение частиц на тонкие и гидравлически мелкие фракции впервые позволяет объяснить выпадение на дно трубопровода частиц ценных компонентов с геометрическими размерами менее 0,15 мм при гидротранспортировании россыпи с рассчитанной по существующим методикам сверхкритической скоростью и предотвратить это явление путем более точного расчета параметров гидротранспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семененко, Е.В. Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титаноцирконовых россыпей. – К.: Наукова думка, 2011. – 231 с.
2. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий / Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Д.: Новая идеология, 2006. – 416 с.
3. Силин, Н.А. Гидротранспорт угля по трубам. / Н.А. Силин, Ю.К. Витошкин. – К.: Наукова думка, 1964. – 88 с.
4. Дмитриев Г.П., Напорные гидротранспортные системы. / Г.П. Дмитриев, Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили – М.: Недра, 1991. – 304 с.
5. Нурок, Г.А. Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ. / Г.А. Нурок – М.: Недра, 1985. – 583 с.
6. Смолдырев, А.Е. Расчет рудничного трубопроводного транспорта. / А.Е. Смолдырев – М.: Изд. литературы по горному делу, 1961.
7. Смолдырев, А.Е. Трубопроводный транспорт. / А.Е. Смолдырев – М.: Недра, 1980. – 390 с.
8. Карасик, В.М. Интенсификация гидротранспорта продуктов и отходов обогащения горнообогатительных комбинатов. / В.М. Карасик, И.А. Асауленко, Ю.К. Витошкин. – К.: Наук. думка, 1976. – 156 с.
9. Криль, С.И. Напорные взвесенесущие потоки. / С.И. Криль – К.: Наукова думка, 1990. – 170 с.
10. Курганов, А.М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения. / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров – Л.: Стройиздат, 1986. – 440 с.
11. Кизевальтер, Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения. / Б.В. Кизевальтер – М.: Недра, 1979. – 295 с.
12. Шохин, В.Н. Гравитационные методы обогащения. / В.Н. Шохин, А.Г. Лопатин – М.: Недра, 1980. – 400 с.
13. Коберник, С.Г. Напорный гидротранспорт хвостов горнообогатительных комбинатов. / С.Г. Коберник, В.И. Войтенко – К.: Наук. думка, 1967. – 140 с.
14. Buckingham A.C., Siekhaus W.J. Interactions in multidimensional two fluid computations in turbulent flow // AIAA Pap. – 1981. – № 346. – P. 15.

15. Кривенко, Ю.Н. Исследование высококонцентрированных потоков, содержащих крупнозернистый материал: дисс. ... канд. техн. наук: – К., 1968. – 107 с.
16. Силин, Н.А. Режимы работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов. / Н.А. Силин, С.Г. Коберник – К.: Изд-во АН УССР, 1962. – 215 с.

REFERENCES

1. Semenenko, E.V. (2011), *Scientific basis jetting technologies open development titanium-zirconium placers*, Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
2. Baranov, Y.D., Blyuss, B.A., Semenenko, E.V. and Shurigin, V.D. (2006), *Justification of parameters and operating modes of systems hydrotransport mines*, Novaya ideologia, Dnepropetrovsk, Ukraine.
3. Silin, N.A. and Vitoshkin, Y.K. (1964), *Hydraulic transport of coal through the pipes*, Naukova dumka, Kiev, USSR.
4. Dmitriev, G.P., Maharadze, L.I. and Gochitashvili, T.S. (1991), *The pressure of hydro-system*, Nedra, Moscow, Russia.
5. Nurok, G.A. (1985), *Processes and technologies jetting surface mining*, Nedra, Moscow, USSR.
6. Smoldyrev, A.E. (1961), *Calculation of mine pipeline*, Ed. Literature on Mining, Moscow, USSR.
7. Smoldyrev, A.E. (1980), *Pipeline transport*, Nedra, Moscow, USSR.
8. Karasik, V.M., Asaulenko, I.A. and Vitoshkin, J.K. (1976), *Intensification of hydraulic transport of products and tailings mining and processing plants*, Naukova dumka, Kiev, USSR.
9. Krill, S.I. (1990), *Pressure dredge bearing flows*, Naukova dumka, Kiev, USSR.
10. Kurganov, A.M. and Fedorov, N.F., (1986), *Hydraulic calculations of water and wastewater systems*, Stoyizdat, St.Petersburg, USSR.
11. Kizevalter, B.V. (1979), *Theoretical foundations of gravitational enrichment processes*, Nedra, Moscow, USSR.
12. Shokhin, V.N. and Lopatin, A.G., (1980), *The gravity beneficiation methods*, Nedra, Moscow, USSR.
13. Kobernik, S.G. and Voytenko, V.I. (1967), *Pressurized hydraulic transport of tailings mining and processing*, Naukova dumka, Kiev, USSR.
14. Buckingham A.C. and Siekhaus W.J. *Interactions in multidimensional two fluid computations in turbulent flow // AIAA Pap.* – 1981. – № 346. – P. 15.
15. Kryvenko, Y.N. (1968), *The study of highly concentrated streams containing coarse material: diss. ... candidate. tech. science*, Kiev, USSR.
16. Silin, N.A and Kobernik S.G. (1962), *Modes of operation of large dredge and pipeline*, Edition of AS of USSR, Kiev, USSR.

Об авторах

Семененко Евгений Владимирович, доктор технических наук, старший научный сотрудник Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, igtmnanu@yandex.ru

Татарко Лариса Гавриловна, старший преподаватель кафедры физики, Украинский государственный химико-технологический университет, Днепропетровск, Украина, ughtu@dict.dp.ua

About the authors

Semenenko Eugeny Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Senior Researcher at the Institute of Geotechnical Mechanics, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtmnanu@yandex.ru

Tatarco Larisa Gavrilovna, Senior Instructor of Physics, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine, ughtu@dict.dp.ua

Анотація. На основі аналізу експериментальних даних ряду авторів і аналізу відповідних методик розрахунку параметрів гідротранспорту запропоновано розбиття на фракції частинок одного класу крупної з густиною, що істотно розрізняється, з урахуванням їх гідравлічної крупності, що забезпечує адекватність залежностей для визначення критичної швидкості і гідравлічного ухилу і дозволяє підвищити точність розрахунків.

Показано, що частинки тонких фракцій, які мають відносну густину більше 4, обтікаються в режимі, який не дозволяє розглядати їх суміш з водою як однорідну рідину з вищою гус-

тиною. Результатом є розділення сировини на тонкі і дрібні фракції при визначенні параметрів гідротранспорту проводити не за їх геометричним розміром, а по їх гідравлічній крупності.

Ключові слова: гідротранспорт, поліетиленові труби, гідравлічна крупність, гідравлічний ухил, критична швидкість

Abstract. On the basis of experimental data of row of authors analysis and analysis of the proper methods of calculation of parameters of the hydraulic conveying breaking up on faction of particles of one class of largeness with substantially differentiating closenesses taking into account their hydraulic largeness is offered, that provides adequacy of dependences for determination of stalling speed and hydraulic slope and allows to promote exactness of calculations.

It is shown, that particles of thin factions having a relative closeness more than 4, streamlined in the mode which does not allow to examine their mixture with water as homogeneous liquid with more high closeness. The division of raw material is a result on thin and shallow factions at determination of parameters of the hydraulic conveying to produce not on their geometrical size, and on their hydraulic largeness.

Keywords: hydraulic conveying, polyethylene pipes, hydraulic largeness, hydraulic slope, stalling speed

Статья поступила в редакцию 15.02. 2013

Статья рекомендована к печати д-ром техн. наук В.П. Надутым

УДК 622.271.06: 622.17.004.2

О.А. Медведева, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,
С.Н. Киричко, аспирант
(ИГТМ НАН Украины)

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СОВМЕСТНОГО СКЛАДИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ СГУЩЕНИЯ

О.О. Медведєва О.О., канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
С.М. Киричко, аспірант
(ИГТМ НАН України)

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ СПІЛЬНОГО СКЛАДУВАННЯ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ З РІЗНИМ СТУПЕНЕМ ЗГУЩЕННЯ

O.A. Medvedeva, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
S.N. Kirichko, Doctoral Student
(IGTM NAS of Ukraine)

GROUND OF TECHNOLOGIES OF JOINT WAREHOUSING OF WASTES OF ENRICHMENT WITH A DIFFERENT DEGREE OF CONDENSING

Аннотация. Одним из самых проблемных вопросов в области обогащения является отсутствие ресурсов для складирования отходов обогащения. Поэтому проблема восстановления аккумулярующей способности и продление срока эксплуатации хранилищ без отведения дополнительных земель становится все актуальнее.

В статье приведены результаты исследования проблем, возникающих при внедрении технологий сгущения складированной пульпы до концентрации пасты в условиях отечественных горно-обогатительных комбинатов. Исследованы технологические схемы складирования отходов обогащения при сгущении части пульпы до концентрации пасты, в результате чего предложена попутная добыча ценного компонента с придамбовых участков пляжа совместно с технологией комбинированного складирования отходов, которая позволяет добывать часть ценного компонента, оставшуюся в отходах обогащения, на стадии заполнения хранилища.

Ключевые слова: хранилища отходов обогащения, пульпа с различной степенью сгущения.

Введение. Внедрение технологий сгущения пульпы в практику систем отведения и складирования отходов обогащения является мировой тенденцией и основано на следующих предпосылках [1 – 7]: складирование сгущенной пульпы требует значительно меньших объемов хранилища; практически отсутствует фильтрация воды из хранилища в почву; практически исключается пыление глинистых и пылеватых фракций отходов из хранилища; не требуется осветление воды и отвод оборотной воды из хранилища отходов; сокращаются объемы электроэнергии, потребляемой насосными агрегатами гидротранспортных систем и систем оборотного водоснабжения.