

УДК 622'17.004.4:621.796

**МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ
ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ СКЛАДИРОВАНИИ
ПЛОТНЫХ ПУЛЬП ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

Б. А. Блюсс, Е. В. Семенов, О. А. Медведева

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины
ул. Симферопольская, 2а, г. Днепр, 49005, Украина.

E-mail: Olya-1702@yandex.ua; medvedeveolga1702@gmail.com

Исследованы существующие системы складирования отходов обогащения с применением трубопроводного транспорта, установлены их особенности и недостатки. Проанализированы и установлены особенности технологий складирования пульп высокой концентрации. Рассмотрен зарубежный опыт складирования плотных пульп, на основании которого определены параметры технологий пастового сгущения с учетом особенностей отечественных ГОКов и обоснованы методы управления параметрами техногенных месторождений, сформированных в хвостохранилищах.

Ключевые слова: отходы обогащения, плотные пульпы, гидросмесь, сепарация, техногенная россыпь.

**МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ
ТЕХНОГЕННИХ РОДОВИЩ ПРИ СКЛАДУВАННІ
ЩІЛЬНИХ ПУЛЬП ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ**

Б. О. Блюсс, Є. В. Семенов, О. О. Медведєва

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпро, 49005, Україна.

E-mail: Olya-1702@yandex.ua; medvedeveolga1702@gmail.com

Досліджено існуючі системи складування відходів збагачення із застосуванням трубопроводного транспорту, встановлено їх особливості і недоліки. Проаналізовано та встановлено особливості технологій складування пульп високої концентрації. Розглянуто зарубіжний досвід складування щільних пульп, на підставі якого визначено параметри технологій пастового згущення з урахуванням особливостей вітчизняних ГЗК і обґрунтовано методи управління параметрами техногенних родовищ, сформованих у хвостосховищах.

Ключові слова: відходи збагачення, щільні пульпи, гідросуміш, сепарация, техногенна розсип.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Существующие системы складирования отходов обогащения эксплуатировались на ГОКах Украины и ГОКах бывшего СССР, начиная с 60-х годов XX столетия [1–3]. Довольно скоро проявились недостатки технологии складирования, которые обусловлены большими объемами водопотребления – высокие энергозатраты и значительные объемы хранилищ отходов. Основной причиной была низкая концентрация перекачиваемой гидросмеси, которая в большинстве случаев не превышала 5 % по массе. Поэтому дальнейшее повышение эффективности технологии складирования отходов обогащения про-

водилось за счет снижения энергоемкости и водопотребления при решении второй задачи. Так специалистами ИГМ НАН Украины была разработана и опробована технология сгущения отходов обогащения до гидросмеси средней концентрации, позволяющая сразу после обогатительного производства отделить большую часть оборотной воды и вернуть ее на фабрику [1, 4–6]. Кроме того специалистами ИГМ НАН Украины была обоснована возможность напорного гидротранспортирования гидросмесей с концентрациями до 45 % по массе, получаемых после сгущения.

Однако эти разработки отечественных ученых не были востребованы. С одной стороны стоимость электроэнергии во второй половине XX века в бывшем СССР была мизерной и существенно не влияла на стоимость переработки минерального сырья. С другой стороны объемы хранилищ отходов были заполнены незначительно, и проблемы дальнейшего складирования не было. Отметим, что вопросы складирования таких гидросмесей специалистами ИГМ НАН Украины не рассматривался, а о возможности разработки техногенных месторождений, сформированных в хранилищах отходов обогащения, никто даже не думал.

Целью статьи является установление и определение гидравлических и геометрических параметров устройств сепарации с учетом неравномерного распределения твердых частиц различной плотности и крупности для управления процессом складирования плотных пульп отходов обогащения.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. *Особенности технологий складирования пульп высокой концентрации.* Ситуация изменилась в начале XXI века, когда стоимость электроэнергии существенно повысилась, а эксплуатируемые хранилища отходов оказались на грани завершения эксплуатации. Однако о перспективах применения разработок отечественных ученых никто не вспомнил, так как за рубежом появились технологии пастового сгущения, обеспечивающие сгущение отходов обогащения до гидросмеси высокой концентрации (рис. 1) [7–9].

Технологии пастового сгущения позволяют сгустить отходы обогащения до максимальной концентрации – 40 % по объему. В результате отходы обогащения складироваться в виде неньютоновской вязкопластической массы, потери напора для которой на два-три порядка превышают потери напора для гидросмесей низкой концентрации, и на порядок потери напора для гидросмесей средней концентрации. Это предполагает изменение в технологиях складирования и гидротранспортирования. Отметим, что технологии пастового сгущения разрабатывались для более эффективных, чем отечественные, технологий обогащения полезных ископаемых. Кроме того в большинстве случаев они реализованы на новых ГОКах, где расстояние между обогатительным производством и хранилищем минимально, а само хранилище имеет один ярус в высоту. Это предопределяет применение поршневых насосов и труб малого диаметра. В таких условиях нет необходимости:

- переделывать систему гидротранспортирования отходов обогащения;
- обеспечивать подъем гидросмеси на несколько ярусов намыва;
- заботиться о повторной переработке складированных отходов.

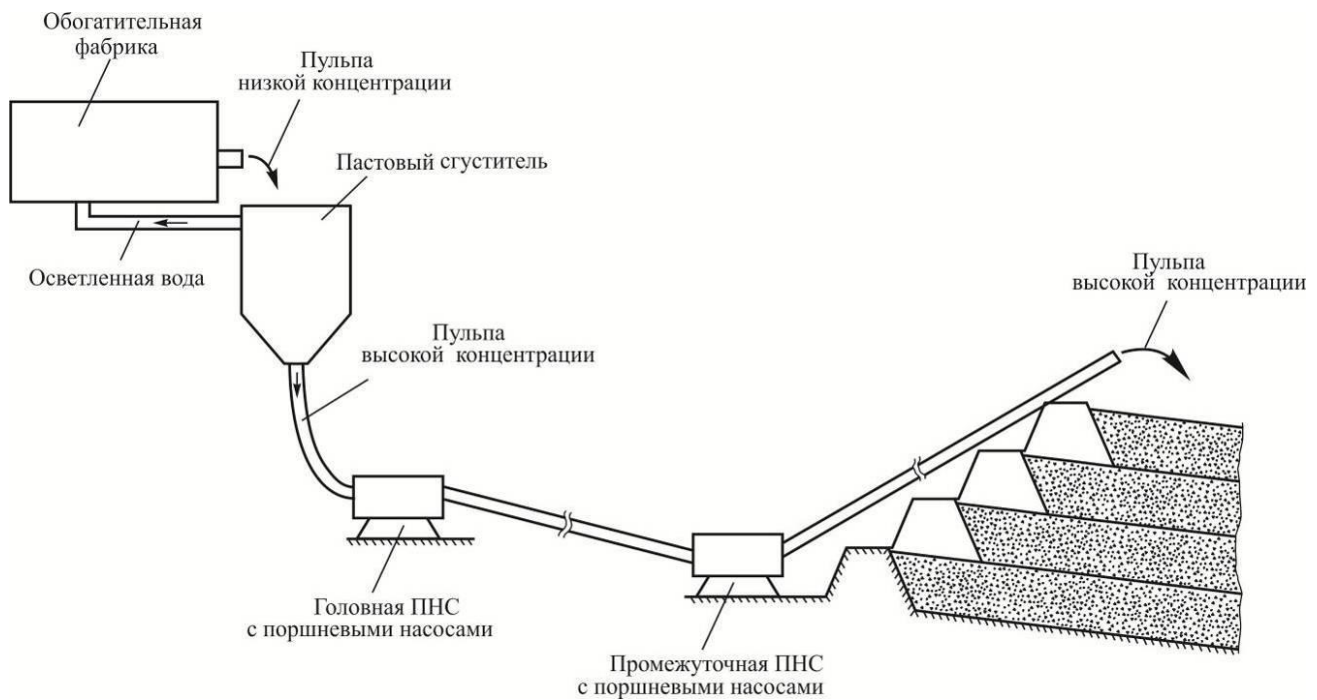


Рисунок 1 – Вид системы складирования отходов обогащения при использовании технологий пастового сгущения

Условия применения технологии пастового сгущения существенно отличаются от условий на отечественных ГОКах, где:

- расстояние между обогащательным производством и хранилищем может достигать 10 км;
- разница между геодезической отметкой обогащательного производства и геодезической отметкой верхней дамбы обвалования может превышать 30 м;
- эксплуатируется система гидротранспорта с насосами центробежного типа и трубами большого диаметра;
- актуальна возможность повторной переработки складированных отходов обогащения.

Учитывая особенности отечественных ГОКов, можно заключить, что разрабатываемые для них технологии пастового сгущения должны обеспечивать (рис. 2) [2, 3]:

- сгущение отходов обогащения после сепарации частиц техногенной россыпи;
- сгущение гидросмеси непосредственно в месте складирования.

Выполнение этих требований позволяет:

- использовать существующие насосные станции, насосы и трубопроводы для отведения отходов обогащения из обогащательного производства с более низкими, чем при течении гидросмеси высокой концентрации потерями напора;
- использовать естественное расслоение твердых частиц при напорном течении по трубопроводу для сепарации техногенной россыпи (рис. 3, 4);
- складировать в виде пасты на пляжи частицы глинистых, меловых и пылеватых фракций;

– формировать техногенное месторождение путем отдельного складирования сепарированных из нижней части трубопровода частиц с минимальным содержанием частиц глинистых, меловых и пылеватых фракций;

– продлить срок эксплуатации существующих хранилищ отходов за счет складирования пасты в емкость бывшего прудка-отстойника.

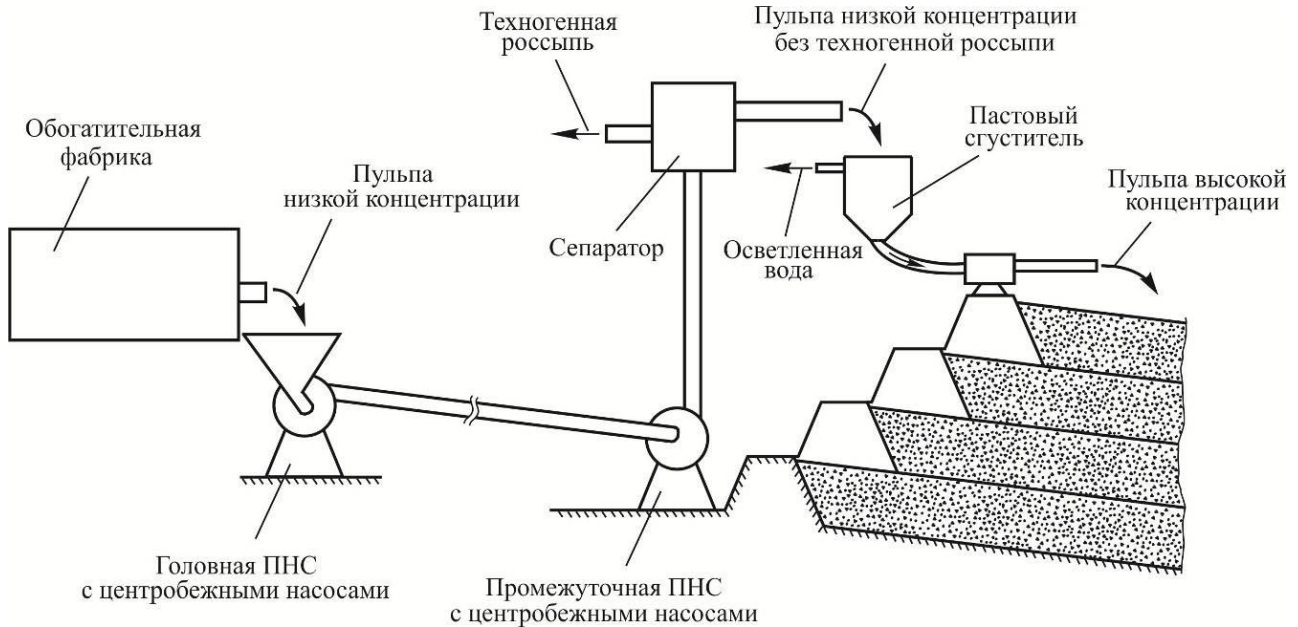


Рисунок 2 – Вид системы складирования отходов обогащения при использовании технологий пастового сгущения с учетом особенностей отечественных ГОКов

Учитывая положительный опыт специалистов ИГМ НАН Украины по сгущению отходов обогащения отечественных ГОКов, схема складирования отходов обогащения (рис. 3) может быть усовершенствована путем использования двух стадий сгущения. Первой стадии, выполняемой по рекомендациям ИГМ НАН Украины, возле обогатительного производства, и второй стадии, выполняемой по технологиям пастового сгущения, на борту хранилища отходов (рис. 4).

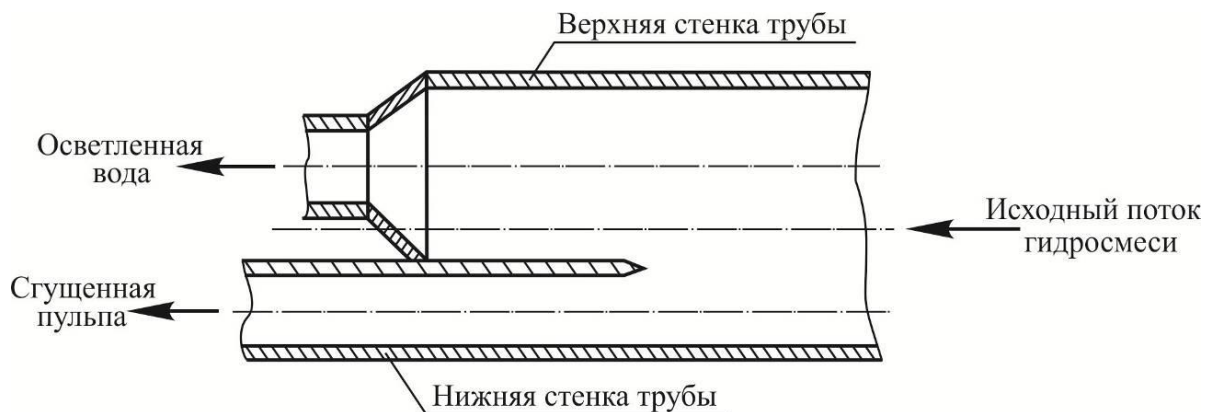


Рисунок 3 – Принцип сепарации потока гидросмеси в трубопроводе

Такой подход позволит управлять концентрацией гидросмеси на каждом участке технологического процесса, добиваясь за счет этого снижения энергоемкости гидротранспортирования, максимальной эффективности оборотного водоснабжения и рационального складирования отходов обогащения. В данном случае дополнительный эффект заключается в том, что минимум энергоемкости гидротранспортирования лежит в области средних концентраций гидросмеси, а не в области малых концентраций. Поэтому сгущая гидросмесь после обогатительного производства, достигается не только высвобождение оборотной воды, но и обеспечивается оптимальная концентрация гидросмеси.

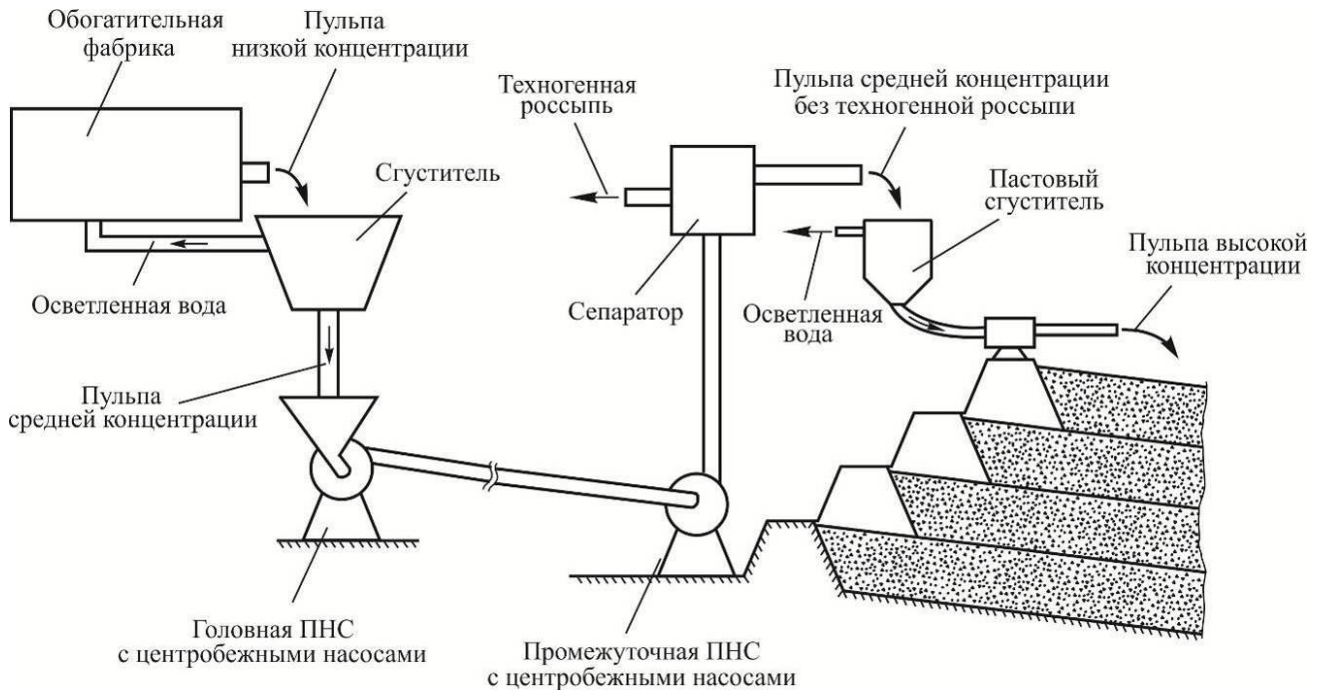


Рисунок 4 – Вид системы складирования отходов обогащения при использовании технологий обычного и пастового сгущения с учетом особенностей отечественных ГОКов

Для успешного внедрения перспективной технологии складирования отходов обогащения необходимо оценить объемы гидросмеси, направляемой на сгущение и на отдельное складирование, а также разработать метод выбора и обоснования параметров устройства для сепарации техногенной россыпи из гидросмеси при ее напорном течении по трубопроводу.

Расчет гидравлических параметров. При расчете гидравлических параметров сепарирующего устройства необходимо учитывать результаты исследований [3–6], указывающие на неравномерное распределение твердых частиц различной плотности и крупности по высоте поперечного сечения горизонтального трубопровода при их напорном гидротранспортировании. На это также указывает существование сектора интенсивного износа нижней стенки трубы, возникающего при транспортировании полидисперсных материалов и россыпей с частицами различной плотности. При транспортировании таких частиц поток визуально можно разделить на две части – общий поток, состоящий из воды и частиц тон-

ких класов крупности диаметром менее 0,1 мм, и придонный подвижный слой, содержащий несущую жидкость и частицы крупностью более 0,1 мм [7–9].

Объем формируемой техногенной россыпи, при использовании сепарирующего устройства рассматриваемого типа (рис. 4), определяется потолком взвешивания твердых частиц поверх максимального значения, которого располагается отсекаТЕЛЬ. Величины расходов и концентрации потоков гидросмеси направляемых на сгущение и на складирование определяются площадями поперечного сечения выше и ниже отсекаТеля:

$$Q_F = qQ; \quad Q_U = (1-q)Q; \quad \tilde{S} = \frac{1-p}{1-q} S; \quad S' = \frac{pS}{q}; \quad q = \frac{N^{1,5} \text{Re}^{1,368}}{1,77\rho^{1,5M}}, \quad (1)$$

$$\text{Re} = \frac{u_{cp}d}{\nu_w}, \quad N = 402288 - 1863626S, \quad M = 0,5915 + 1,481S - 80,32S^2, \quad (2)$$

где Q_F – расход гидросмеси с частицами техногенной россыпи;

Q_U – расход гидросмеси с частицами глинистых, меловых и пылеватых фракций;

Q – расход гидросмеси, поступающий на сепарацию;

p – массовая доля частиц техногенной россыпи в отходах обогащения;

S – концентрация отходов обогащения в магистральном трубопроводе;

S' – концентрация частиц техногенной россыпи в трубопроводе для складирования;

\tilde{S} – концентрация частиц глинистых, меловых и пылеватых фракций в трубопроводе для складирования;

ρ – плотность пульпы;

u_{cp} – средняя скорость гидросмеси в распределительном трубопроводе;

ν_w – кинематический коэффициент вязкости воды;

d – диаметр магистрального трубопровода.

Величины расходов и концентрации потоков гидросмеси направляемых на сгущение и на складирование являются начальными данными для определения геометрических параметров устройства для сепарации потоков.

Расчет геометрических параметров. Поскольку при расчете геометрических параметров устройства сепарации диаметр магистрального трубопровода относится к начальным данным, то в результате расчета требуется определить величины диаметров верхнего и нижнего выпусков, предназначенных для отвода гидросмеси из сепаратора с отсекаТелем.

На основании совместного рассмотрения уравнения неразрывности, уравнений Бернулли для обоих выпусков, для расчета диаметров верхнего и нижнего выпусков, предназначенных для отвода гидросмеси из сепаратора с отсекаТелем, можно использовать следующие формулы:

$$d' = 5^{-m} \sqrt{(1 + (1-p)\tilde{A}S) \frac{i_0}{i_a}} (1-q)^{\frac{2-m}{5-m}} d, \quad d'' = \left(\frac{1}{2} + z\right)^{\frac{2}{5-m}} \left(\frac{1,06qi_b \sqrt{i_0}}{C_2 p A' S \psi}\right)^{\frac{2}{5-m}} q^{\frac{2-m}{5-m}} d, \quad (3)$$

$$i_0 = 2^{3-2m} \frac{M v_w^m}{g d^{5-m}} Q^{2-m}, \quad i_a = \frac{H - \Delta Z - \Delta Z_U}{k_Z L_U} - \frac{L}{L_U} i, \quad i_b = \frac{H - \Delta Z + \Delta Z_F}{k_Z L_F} - \frac{L}{L_F} i,$$

$$i = i_0 (1 + (1-p)A_1 S) + C_2 p A_2 S \frac{\psi}{\sqrt{i_0}}, \quad A' = \frac{1 - 1,04(1-p) \frac{Ar_1 S}{Ar_2}}{1 + 1,04(1-p)Ar_1 S} Ar_2, \quad \psi = \frac{w}{\sqrt{2gd_{cp}}},$$

$$A_1 = \frac{1 - (1-p)S}{1 + (1-p)Ar_1 S} Ar_1, \quad A_2 = \frac{1 - (1-p) \frac{Ar_1 S}{Ar_2}}{1 + (1-p)Ar_1 S} Ar_2, \quad \tilde{A} = \frac{1 - 1,04(1-p)S}{1 + 1,04(1-p)Ar_1 S} \frac{Ar_1}{0,96},$$

$$z = \begin{cases} \sqrt[3]{\frac{1}{2} - \frac{1}{g^3} + \frac{\sqrt{1-g^3}}{g^3}} + \sqrt[3]{\frac{1}{2} - \frac{1}{g^3} - \frac{\sqrt{1-g^3}}{g^3}}, & g \leq 1 \\ \left| \cos\left(\frac{1}{3} \arccos\left(1 - \frac{2}{g^3}\right) + \frac{\pi}{3}\right) \right|, & g > 1 \end{cases}, \quad (4)$$

$$g = \frac{0,529 i_b q^{1,5}}{\sqrt[3]{(C_2 p A' S \psi)^2 (1 + (1-p)\tilde{A}S)}}, \quad Ar_1 = \frac{\rho_1 - \rho_w}{\rho_w}, \quad Ar_2 = \frac{\rho_2 - \rho_w}{\rho_w}, \quad (5)$$

где d' – диаметр верхнего выпуска;

d'' – диаметр нижнего выпуска;

k_Z – коэффициент местных гидравлических сопротивлений;

L_U – длина верхнего отвода;

ΔZ_U – геодезический подъем верхнего отвода;

L_F – длина нижнего отвода;

ΔZ_F – геодезический подъем нижнего отвода;

H – напор, развиваемый насосами в магистральном трубопроводе;

i – гидравлический уклон в магистральном трубопроводе;

L – длина магистрального трубопровода;

ΔZ – геодезический подъем магистрального трубопровода;

i_0 – гидравлический уклон воды в магистральном трубопроводе;

C_2 – эмпирическая константа;

ψ – коэффициент транспортабельности частиц техногенной россыпи [8];

w – гидравлическая крупность частиц техногенной россыпи;

d_{cp} – средневзвешенный диаметр частиц техногенной россыпи;

ρ_1 – средняя плотность частиц глинистых, пылеватых и меловых фракций;

ρ_w – плотность воды;

ρ_2 – средняя плотность частиц техногенной россыпи.

Величины диаметров, определяемые по формулам (3) – (5), указывают на значения позволяющие обеспечить требуемые расходы, (1) – (2), но не обеспечивают течение гидросмеси заданной концентрации в сверхкритических режимах [8–10].

ВЫВОДЫ. Определены параметры технологий складирования плотных пульп отходов обогащения, с учетом особенностей отечественных ГОКов. На основании полученных результатов установлено, что объем формируемой техногенной россыпи, при использовании сепарирующего устройства рассматриваемого типа, определяется потолком взвешивания твердых частиц поверх максимального значения которого, располагается отсекаТЕЛЬ. Для успешного внедрения перспективной технологии складирования отходов обогащения необходимо оценить объемы гидросмеси, направляемой на сгущение и на отдельное складирование, а также разработать метод выбора и обоснования параметров устройства для сепарации техногенной россыпи из гидросмеси при ее напорном течении по трубопроводу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киричко С.Н. Обоснование параметров процессов гидромеханизации горных работ при использовании гидросмесей высокой концентрации. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2016. – 175 с.
2. Александров В.И. Методы снижения энергозатрат при гидравлическом транспортировании смесей высокой концентрации. – С-Пб: СПГГИ (ТУ), 2000. – 117 с.
3. Світлий Ю.Г., Білецький В.С. Гідравлічний транспорт. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2009. – 436 с.
4. Світлий Ю.Г., Круть О.А. Гідравлічний транспорт твердих матеріалів. – Донецьк.: Східний видавничий дім, 2010. – 268 с.
5. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов / И.А. Асауленко, Ю.К. Витошкин, В.М. Карасик, С.И. Криль, В.Ф. Очеретько. – К.: Наук. думка, 1981. – 364 с.
6. Криль С.И. Напорные взвесенесущие потоки. – К: Наукова думка, 1990. – 170 с.
7. Семенов Е.В. Развитие научных основ гидромеханизации для открытой разработки россыпных месторождений. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2009. – 504 с.
8. Семенов Е.В. Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титан-цирконовых россыпей. – Киев: Наук. думка, 2011. – 232 с.

9. Проектировочный расчет трубопроводных систем технологий гидромеханизации при замене стальных труб полиэтиленовыми / Е.В. Семененко, Н.А. Никифорова, Л.Г. Татарко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины.– Днепропетровск, – 2015. – Вып. 120.– С. 152–161.

10. The features of calculations of hydrotransport plans of geotechnological systems / E. Semenenko, N. Nykyforova, L. Tatarko // Theoretical and practical solutions of mineral resources mining – Pivnyak, Bondarenco & Kovalevska (eds), 2015 Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978-1-138-02883-8. – P. 397–401.

**METHODS OF MANAGEMENT BY THE PARAMETERS
OF TECHNOGENIC DEPOSITS AT WAREHOUSING
OF DENSE PULPS OF ENRICHMENT WASTES**

B. Bljuss, Ye. Semenenko, O. Medvedeva

Institute of geotechnical mechanics the name of N.S. Polyakova of NAN of Ukraine (IGTM of NAN of Ukraine)

vul. Simferopolskaya, 2a, Dnipro, 49005, Ukraine.

E-mail: Olya-1702@yandex.ua; medvedeveolga1702@gmail.com

Purpose. The determination and determination of hydraulic and geometric parameters of separation devices taking into account the uneven distribution of solid particles of different density and size for managing the storage of dense pulps of enrichment waste. **Methodology.** Applied mathematical modeling to evaluate the possible reduction in the required amount of ponds, obtained as a result of the proposed storage technology condensed waste with subsequent liquidation ponds. **Results.** In order to successfully introduce a prospective technology for storage of waste enrichment, it is necessary to estimate the volumes of the slurry to be sent for thickening and to separate storage, and also to develop a method for selecting and justifying the parameters of the device for separating man-made placers from the slurry at its pressure through a pipeline. **Originality.** At the conducted researches it was established that the volume of generated technogenic placer, when using a separating device of the considered type, is determined by the ceiling of the weighing of solid particles over the maximum value of the cutoffer. **Practical value.** The parameter of storage technologies for dense pulps of enrichment was determined taking into account the peculiarities of domestic mining and processing enterprises. References 10, figures 4.

Key words: wastes of enrichment, dense pulps, slurry, separation, technogenic placer.

REFERENCES

1. Kuruchko, S.N. (2016) «Justification of the parameters of processes of hydromechanization of mining operations using high-concentration water mixtures», Thesis for Cand. Sc. (Engineering.), 05.15.09, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.

2. Aleksandrov, V.I. (2000), «Methods for reducing energy costs for the hydraulic transportation of high concentration mixtures», SPGGI (TU), Sankt-Petersburg, RF.
3. Svitluy, Yu.G, Biletskiy, V.S. (2009), «Hydraulic transport», Skhidniy vydavnychiy dim, Donetsk, Ukraine.
4. Svitluy, Yu.G., Krut', O.A. (2010), «Hydraulic transport of solid materials», Skhidniy vydavnychiy dim, Donetsk, Ukraine.
5. Asaulenko, I.A., Vitoshkin, Yu.K., Karasik, V.M., Kril', S.I. and Ocheret'ko, V.F. (1981), «Theory and applied aspects of hydrotransportation of solid materials», Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
6. Kril', S.I. (1990), «Pressure weighted flows», Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
7. Semenenko, Ye.V. (2009), «Development of scientific foundations of hydromechanization for open development of alluvial deposits», Thesis for Doct. Sc. (Engineering.), 05.15.09, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.
8. Semenenko, Ye.V. (2011), «Scientific foundations of hydromechanization technologies for the open development of titanium-zircon placers», Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
9. Semenenko, Ye.V., Nikiforova, N.A., Tatarko, L.G. (2015), «Design calculation of pipeline systems of hydromechanization technologies when replacing steel pipes with polyethylene», Mezhved. sb. nauchn. tr. "Geotechnical mechanics", no. 120, pp. 152–161.
- 10 Semenenko, Ye.V., Nikiforova, N.A., Tatarko, L.G. (2015), «The features of calculations of hydrotransport plans of geotechnological systems», Theoretical and practical solutions of mineral resources mining, Pivnyak, Bondarenko & Kovalevska (eds), 2015 Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978-1-138-02883-8., pp. 397–401.

Стаття надійшла 04.12.2017.