

**О.А. МЕДВЕДЕВА, С.Н. КИРИЧКО,**

**Е.В. СЕМЕНЕНКО,** д-р техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины)

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ СКЛАДИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ПРИ СГУЩЕНИИ ЧАСТИ ПУЛЬПЫ ДО КОНЦЕНТРАЦИИ ПАСТЫ**

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.

Складирование отходов обогащения на предприятиях Канады (Alkan, Golder Paste Technology Ltd, Strathcona), США (FLSmids Minerals, AMEC и Outokumpu Technology Pty Ltd), Финляндии (Кемиро Ой, Оутокумпу) и России (Кубака, Кольская горно-рудная компания) после внедрения технологий сгущения пульпы до состояния пасты осуществляется в новые хранилища, отличные от старых, в которых складирование производилось "традиционным" способом (рис. 1). Этот опыт выявил несколько проблемных мест пастового сгущения: высокие потери напора, обусловленные высокой вязкостью суспензии; проблемы при повторном запуске, обусловленные существенным ростом начального напряжения сдвига; значительная зависимость стабильности суспензии в виде пасты от содержания тонких и глинистых частиц.

Однако такой опыт не применим для большинства отечественных горно-обогатительных комбинатов (ГОК), у которых существуют трудности с получением отводов земли под новые хранилища отходов. Кроме того, не исключено, что на отечественных ГОКах возможен постепенный переход на пастовое сгущение, когда одновременно будут эксплуатироваться и "традиционный" способ складирования и складирование высококонцентрированной пульпы. Опыт такого совместного складирования отходов обогащения неизвестен.

Целью статьи является исследование особенностей новых технологических схем складирования отходов обогащения при сгущении части пульпы до концентрации пасты, с учетом мирового опыта внедрения пастового сгущения.

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

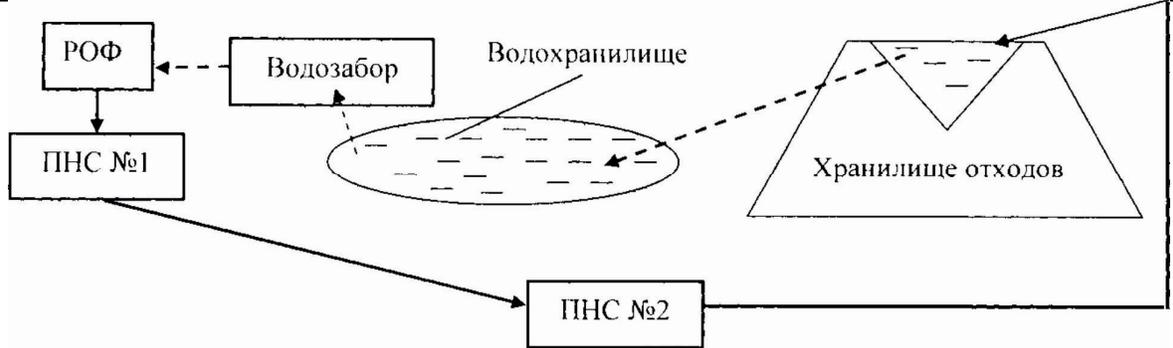


Рис. 1. Традиционная схема отведения отходов обогащения и обратного водоснабжения

Сгущение пульпы до пастообразной консистенции позволяет существенно снизить требуемый объем хранилища отходов и объем перекачиваемой пульпы, а также максимально обеспечить обратной водой обогатительное производство. Однако внедрение технологий такого сгущения требует использования значительного количества реагентов, полной замены трубопроводов гидротранспортных магистралей и переоборудования пульпонасосных станций (ПНС) под поршневые насосы. На основе результатов анализа известных случаев пастового складирования отходов обогащения можно выделить следующие факторы, определяющие надежность и эффективность технологии: место размещения сгустителя относительно обогатительного производства и хранилища, концентрация сгущенной суспензии, а также управление гранулометрического состава твердой фазы гидросмеси.

Выбор того или иного места размещения сгустителя определяется техническими возможностями и требует проектного и экономического обоснования, поскольку предполагает существенные капитальные вложения. Поскольку сгуститель делит трубопровод системы отведения отходов на две части, в одно из них, которая соединяет обогатительное производство со сгустителем, течет пульпа низкой концентрации, а во втором – суспензия с концентрацией пасты. Гидравлические сопротивления этих двух участков различны, а их длина определяет затраты на транспортирование (рис. 2-4). Очевидно, исходя из соотношения капитальных и эксплуатационных затрат существует такое место расположения сгустителя между обогатительным производством и хранилищем отходов, которое обеспечивает минимум приведенных затрат, или же обеспечивает запуск установки без привлечения дополнительных насосов.

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

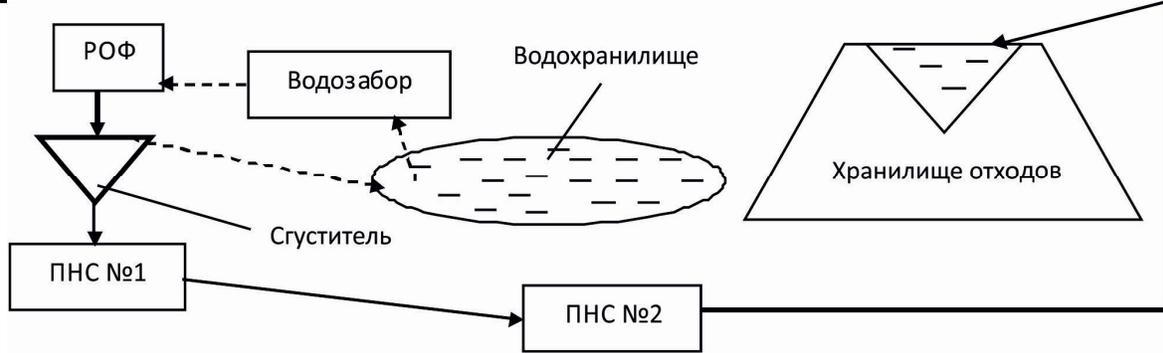


Рис. 2. Схема отведения отходов обогащения и оборотного водоснабжения со сгущением пульпы на ПНС гидротранспортного комплекса рядом с РОФ

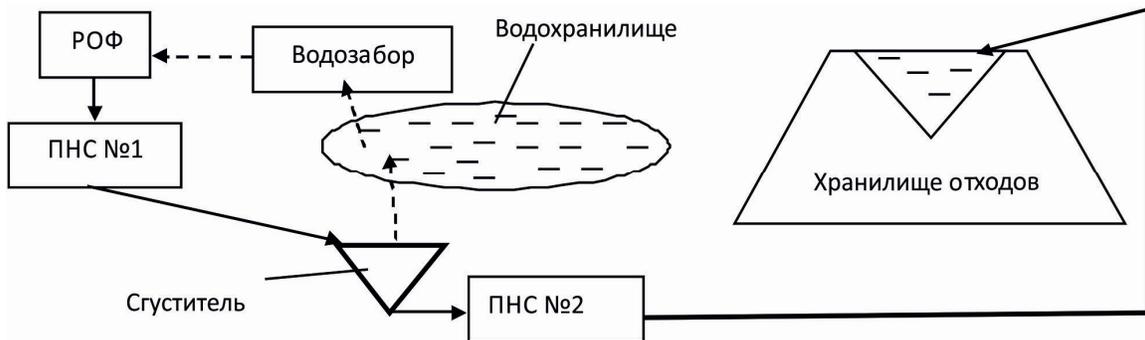


Рис. 3. Схема отведения отходов обогащения и оборотного водоснабжения со сгущением пульпы на выходе из магистрали гидротранспортного комплекса рядом с хранилищем или на промежуточной ПНС

Управление гранулометрическим составом твердой фазы гидросмеси предполагает выделение из отходов глинистых и пылеватых частиц, с последующим их складированием отдельно от более крупных фракций, что обеспечивает устойчивость дамб обвалования и предотвращает пыление пляжа. В этом случае для складирования глинистых и пылеватых частиц используется подводный намыв, а для более крупных фракций – надводный (рис. 5-7).

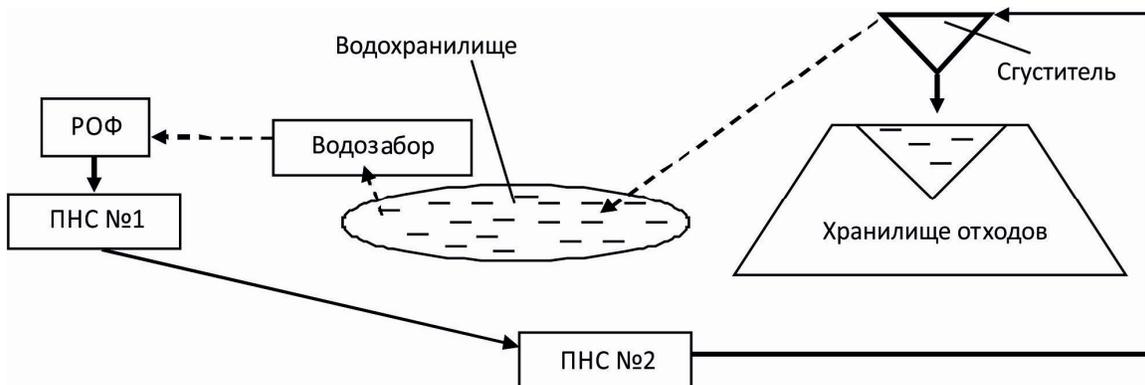


Рис. 4. Схема отведения отходов обогащения и оборотного водоснабжения со сгущением пульпы непосредственно возле карты намыва

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

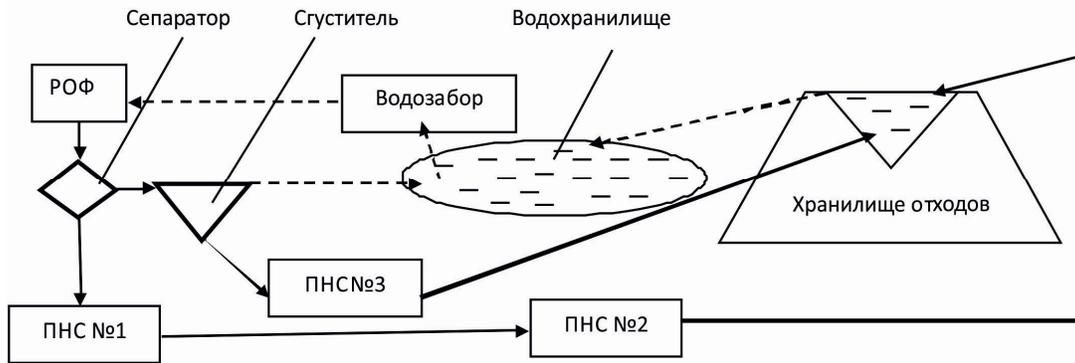


Рис. 5. Схема отведения отходов обогащения и оборотного водоснабжения с разделением пульпы на ПНС гидротранспортного комплекса рядом с РОФ

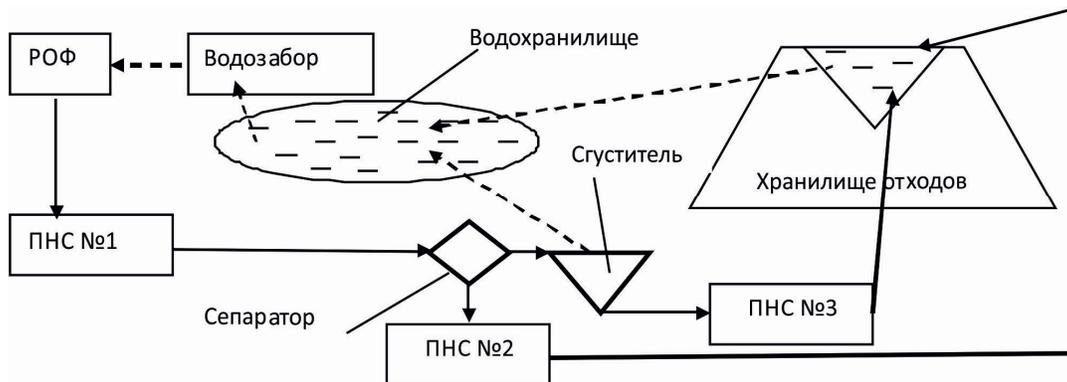


Рис. 6. Схема отведения отходов обогащения и оборотного водоснабжения с разделением пульпы на выходе из магистрали гидротранспортного комплекса возле хранилища или на промежуточной ПНС

Это также позволяет применять различные технологии сгущения пульп в зависимости от крупности частиц твердой фазы, что снижает затраты. Однако, такой подход требует дополнительного обоснования, так как гидротранспортирование твердых частиц крупностью более 0,5 мм без присутствия в пульпе глинистых и пылеватых частиц характеризуется большими критическими скоростями и потерями напора, некоторая их часть обеспечивает требуемые свойства пляжа намыва.

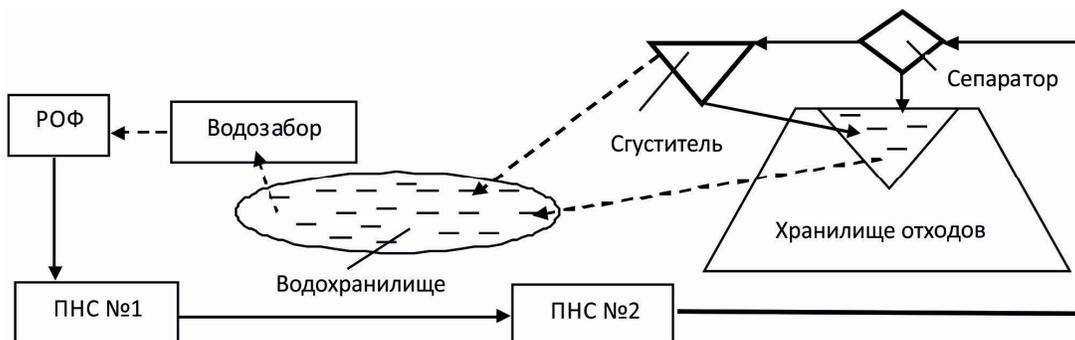


Рис. 7. Схема отведения отходов обогащения и оборотного водоснабжения с разделением пульпы непосредственно возле карты намыва

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

Высокие значения концентрации пастовой пульпы, при отсутствии проверенных методов расчета параметров гидротранспорта пастообразных пульп и необходимостью обустройства реагентного хозяйства, являются сдерживающим фактором для внедрения соответствующих технологий при модернизации существующих систем отведения отходов обогащения. В то же время методы расчета параметров гидротранспорта пульп с концентрациями менее 30% по массе и технологии сгущения пульп до таких концентраций известны и апробированы. Таким образом, с учетом того, что концентрации хвостовых пульп на существующих предприятиях около 5% по массе, применение этого подхода позволит получить значительную экономию электроэнергии и водных ресурсов, без замены используемых насосов. Сгущение пульпы до концентрации не более 30% по массе позволяет снизить требуемый объем хранилища отходов, а также энергоемкость и водопотребление процесса отведения отходов без переоснащения ПНС поршневыми насосами, позволяет использовать меньшие количества реагентов.

Комбинированное одновременное складирование отходов обогащения в виде пульпы низкой концентрации и пастовых пульп позволяет надеяться на следующие эффекты: внедрения технологии попутной добычи ценного компонента с придамбовых участков пляжа [8]; реализация послынного замыва ядра хранилища [9]; защита пляжей подводного намыва от пыления после завершения эксплуатации хранилища.

Известно, что для уменьшения усадки грунта ядра после окончания намыва хранилища и предотвращения заболачивания поверхности, рекомендуется ядро хранилища замывать послынно, чередуя слой мелкозернистого пылевато-глинистого материала со слоем более крупнозернистого, песчаного грунта [9]. Такая укладка, также способствует уплотнению глинистого экрана на дне ядра хранилища и обеспечивает эффективную гидроизоляцию. При комбинированном складировании пульпа обычной концентрации складировается "традиционным" способом. Крупные фракции этих отходов осаждаются на пляже, а пылевато-глинистые попадают в ядро хранилища. Сгущенные отходы содержат в твердой фазе как пылевато-глинистые так и песчаные частицы и складироваются непосредственно в толщу ядра, формируя участки крупнозернистого слоя.

После завершения эксплуатации хранилища отходов в центральной части двух верхних ярусов остается прудок, вода в котором предотвращает пыление твердых частиц складированных методами подводного намыва. Несмотря на то, что отходы обогащения больше в хранилище не поступают, воду в этот прудок приходится регулярно добавлять, что создает дополнительные трудности и требует эксплуатационных затрат. Послойная подача на дно такого прудка сгущенной пульпы позволяет постепенно заменить воду пастовой пульпой, которая высыхая не пылит, и одновременно предотвращает пыление аккумулярованных пылевато-глинистых частиц [8].

Идея технологии попутной добычи ценного компонента с придамбовых участков пляжа основана на экспериментально установленном факте, что при распределенном намыве за счет фракционирования твердого материала, части-

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

цы, содержащие железистые минералы, оседают непосредственно за выпуском из трубопровода на участке, не превосходящем 20% длины сформировавшегося пляжа (рис. 8А) [9-11].

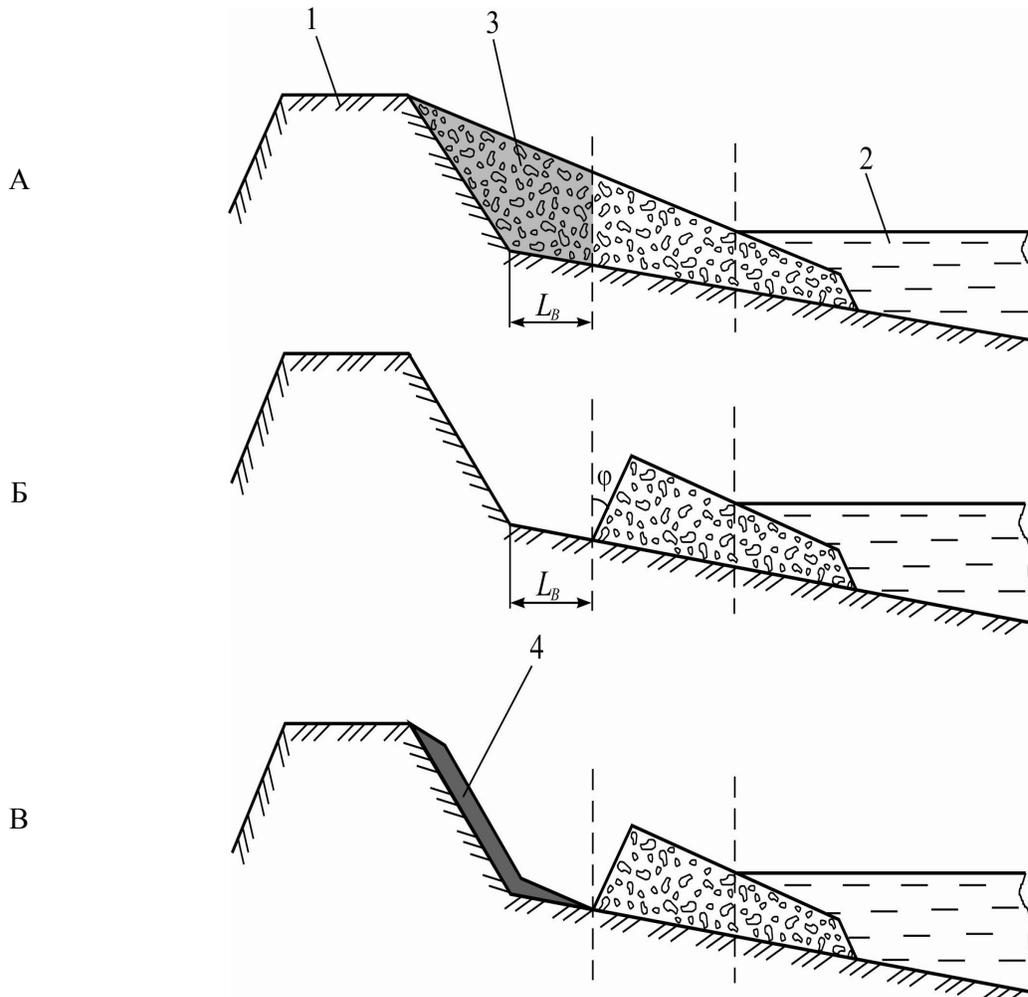


Рис. 8. Схема селективной добычи техногенных залежей в процессе складирования отходов обогащения:

- 1 – дамба обвалования; 2 – прудок; 3 – часть пляжа, в которой аккумулируются отходы обогащения с высоким содержанием ценного компонента;  
4 – защищающая отсыпка

Таким образом, в существующих хранилищах отходов техногенные залежи полезных ископаемых сосредоточены в объеме, ограниченном внутренним откосом дамбы обвалования, верхней поверхностью пляжа предыдущего яруса и сечением, отсекающим 20% длины пляжа по высоте яруса. С учетом этого предлагается после просушки карты производить выемку с пляжа твердого материала, ограниченного в продольном сечении внутренним откосом дамбы обвалования и откосом, обеспечивающим устойчивость остальной части пляжа (рис. 8Б). После выемки части пляжа, содержащей железистые минералы, внутренний откос дамбы обвалования и верхнюю поверхность предыдущего яруса

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

намыва покрывають захисною отсыпкою из кварцитов, пород вскрыши или водоизолирующих материалов, что обеспечивает сток осадков в прудок без попадания в эти области (рис. 8В). В дальнейшем выработанное пространство используется для складирования отходов обогащения сгущенных до концентрации пасты (рис. 9А), обеспечивающих в дальнейшем устойчивость дамбы обвалования следующего яруса намыва (рис. 9Б). Так как сгущенные отходы затвердевают без образования пылеватых и глинистых частиц, то пыления пляжа исключается.

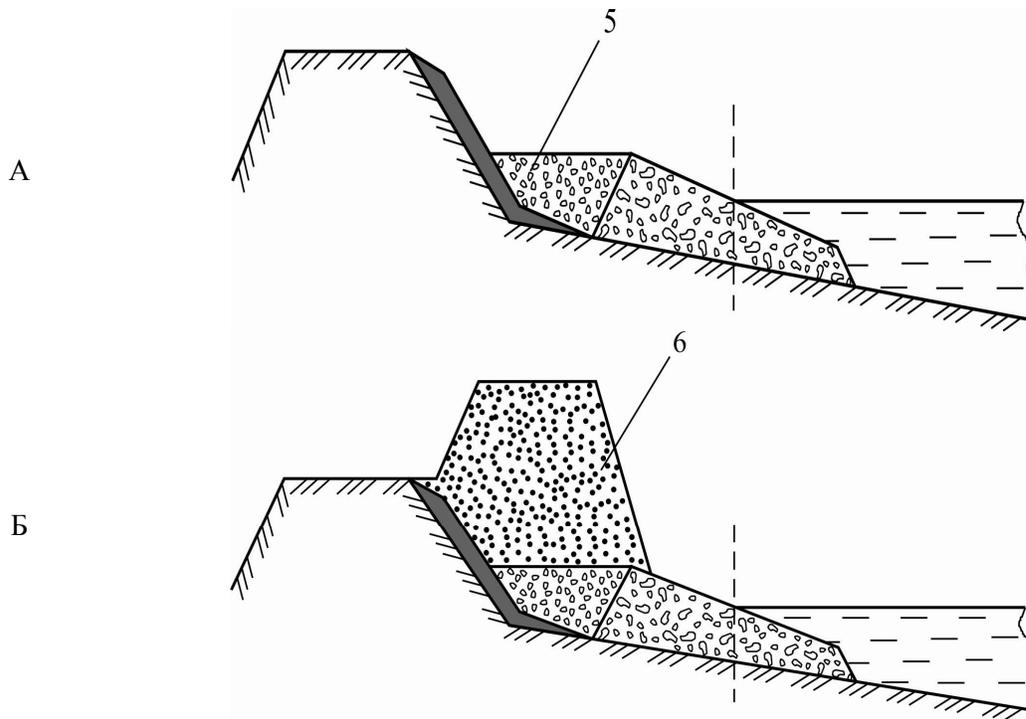


Рис. 9. Схема заполнения выработанного пространства при селективной добыче техногенных залежей в процессе складирования отходов обогащения:  
5 – пульпа с концентрацией пасты; 6 – очередная дамба обвалования

Внедрение попутной добычи ценного компонента с придамбовых участков пляжа совместно с технологией комбинированного складирования отходов позволяет добывать часть ценного компонента, оставшуюся в отходах обогащения, на стадии заполнения хранилища. Это позволяет отказаться от эксплуатации хранилища как техногенного месторождения после завершения складирования, избежать значительных объемов переэкскавации дамб обвалования верхних уровней, повысить экологическую безопасность и ресурсосбережение существующих технологий.

### **Список литературы**

1. Блюсс, Б.А. Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд [Текст] / Б.А. Блюсс, Н.А. Головач. – Днепропетровск: Полиграфист, 1999. – 126 с.
2. Батаногов, А.П. Водовоздушное хозяйство обогатительных фабрик [Текст] /

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

А.П. Батаного. – М.: Недра, 1984. – 295 с.

3. Криль С.И. Влияние мелких фракций полидисперсного твердого материала на параметры его транспортирования турбулентным потоком [Текст] / С.И. Криль, В.М. Карасик, Ю.К. Витошкин, В.Ф. Очеретько // Труды конференции. Ин-т гидродинамики ЧССР. – Прага, 1983. – С. 88-90.

4. Дмитриев, Г.П. Напорные гидротранспортные системы [Текст] / Г.П. Дмитриев, Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили. – М.: Недра, 1991. – 304 с.

5. Докукин, В.П. Повышение эффективности эксплуатации систем трубопроводного гидротранспорта [Текст] / В.П. Докукин. – Санкт-Петербург: СПГГИ(ТУ), 2005. – 105 с.

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

7. Махарадзе Л.И. Трубопроводный гидротранспорт твердых сыпучих материалов [Текст] / Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили, С.И. Криль, Л.А. Смйловская. – Тб.: Мецниереба, 2006. – 350 с.

8. Медведева, О.А. Хвостохранилища Кривбасса, проблемы и особенности их эксплуатации [Текст] / О.А. Медведева // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. 2012. – Вып. 103. – С. 279-285.

9. Нурок Г.А. Гидроотвалы на карьерах [Текст] / Г.А. Нурок, А.Г. Лутовинов, А.Д. Шерстюков. – М.: Недра, 1977. – 311 с.

10. Ермошкин, В.В. Опыт и проблемы гидроотвалообразования на разрезах Кузбасса [Текст] / В.В. Ермошкин // Материалы Четвертого съезда гидромеханизаторов России "Гидромеханизация – 2006". – М., 2006.

11. Временные указания по технологии возведения намывных хвостохранилищ горнообогатительных комбинатов (РСН 275-75). – К.: Госстрой УССР, 1975. – 180 с.

© Медведева О.А., Киричко С.Н., Семененко Е.В., 2013

*Надійшла до редколегії 02.10.2013 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*