

2. Предложенная усовершенствованная методика позволяет производить расчеты режимов и параметров гидротранспорта по горизонтальным и наклонным трубопроводам, изготовленным из различных материалов, в присутствии гидродинамически активных веществ и без них в широком диапазоне концентраций.

3. Предложенная методика без потери точности расчетов может быть использована для аналитических исследований параметров и режимов работы современных систем гидротранспорта на горных предприятиях.

4. Поскольку степенная зависимость коэффициента гидравлического сопротивления трения от числа Рейнольдса справедлива и для трубопроводных систем, транспортирующих воду или однородные жидкости другого типа, предлагаемая методика имеет перспективу использования не только для гидротранспортных систем горных предприятий.

Список литературы

1 Булат, А.Ф. Модели элементов гидротехнических систем горных предприятий / А.Ф. Булат, О.В. Витушко, Е.В. Семененко. – Днепропетровск: Герда, 2010. – 216 с.

2 Семененко, Е.В. Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титан-цирконовых россыпей / Е.В. Семененко. – К.: Наукова думка, 2011. – 231 с.

3 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.

4 Шурыгин, В.Д. Анализ способов повышения эффективности работы гидротранспортного комплекса / В.Д. Шурыгин, Е.В. Семененко, Н.А. Никифорова // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2005. – № 6. – С. 70 – 74.

5 Семененко, Е.В. Расчет параметров гидротранспорта при использовании полиэтиленовых трубопроводов / Е.В. Семененко, Л.Г. Татарко // *Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. // ИГТМ НАН Украины*. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 107. – С. 233 – 244.

6 Швабауэр, В. Расчет гидравлических потерь давления в трубопроводе из пластмасс / В. Швабауэр, И. Гвоздев, М. Горилловский // *Полимерные трубы. Украина*. – 2006. – №1(1). – С. 46 – 52.

7 Добромыслов, А.Я. Таблицы для гидравлических расчетов трубопроводов из полимерных материалов / А.Я. Добромыслов. – М.: Изд-во ВНИИМП, 2004. – 209 с.

8 Семененко Е.В. Реологические параметры высококонцентрированных отходов обогащения ЦГОКа // Е.В. Семененко, С.Н. Киричко, А.Б. Ртищев // *Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2014»*. – Т. 1. – С. 177 – 183.

ЗАВИСИМОСТЬ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУКТУРИРОВАННЫХ СУСПЕНЗИЙ ОТ СВОЙСТВ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

*Е.В. Семененко, Т.Д. Демченко, С.А. Рыжова, Институт геотехнической механики
им. Н.С. Полякова НАН Украины*

Проанализированы известные формулы, описывающие влияние основных свойств жидкой фазы на эффективную вязкость и начальное касательное напряжение угольных структурированных суспензий. Впервые предложена формула для пересчета эффективной вязкости структурированных суспензий при изменении водородного показателя жидкой фазы. Показано, что влияние на начальное касательное напряжение структурированных суспензий концентрации и зольности твердой фазы является не существенным по сравнению с влиянием водородного показателя жидкой фазы.

Внедрение технологий переработки минерального сырья, основанных на применении структурированных суспензии (СС), считаются одним из перспективных направлений развития геотехнологических систем. Использование СС позволяет существенно снизить удельное водопотребление и энергоемкость технологий переработки первичного и техногенного

минерального сырья, повысить их надежность и экологическую безопасность. При определении параметров таких технологий определяющая роль отводится реологическим характеристикам СС – начальному касательному напряжению (НКН) и эффективной вязкости (ВЭ), величины которых зависят от свойств твердой и жидкой фаз. Учитывая, что в условиях в геотехнологических систем изменять свойства твердой фазы практически не возможно, то управление НКН и ВЭ должно происходить за счет изменения свойств жидкой фазы. Для этого необходимо установить зависимости описывающие изменения НКН и ВЭ от свойств жидкой фазы СС.

Жидкую фазу СС, применяемых в геотехнологических системах, обычно характеризуют плотностью, кинематическим коэффициентом вязкости, температурой, водородным показателем pH , а также содержанием солей и химически активных веществ. В некоторых случаях дополнительными характеристиками жидкой фазы являются: абсолютная диэлектрическая проницаемость, потенциал двойного электрического слоя диффузных частиц, константа Гамакера.

Плотность и кинематический коэффициент вязкости во многом определяют агрегативную и седиментационную стабильность СС, а также наиболее сильно влияют на процессы межфазного взаимодействия и на предельно возможную концентрацию суспензии. Эти параметры наиболее значимы для суспензий низкой и средней концентрации, а по мере возрастания доли твердого компонента значение их сходятся к менее существенным. В области высоких концентраций более существенными становятся вязко-пластические эффекты, основанные на противодействии ионно-электростатической и молекулярно-дисперсионной составляющих энергии взаимодействия твердых частиц в жидкости, которые зависят от свойств растворенных в жидкой фазе компонентов и pH раствора. В условиях геотехнологических систем техническая вода является или слабым раствором электролита, или слабым раствором кислоты, или основанием, или же в ней отсутствуют остатки коагулянтов, флокулянтов, ПАВ и гидродинамически активных веществ. Кроме того, как показывает практика применения СС, современные технологии их приготовления не обходятся без пластифицирующих добавок.

Поскольку пластификаторы представляют собой химически активные вещества и вводятся в суспензию в виде водного раствора, химический состав воды существенно сказывается на их эффективности. Массовая доля таких добавок в пересчете на сухую массу угля не превышает 0,5 %. Поэтому введение реагентов не изменяет плотности жидкой фазы, но существенно сказывается на реологической характеристике (РХ), поскольку вязкость суспензии зависит от pH среды, вида и концентрации различных водорастворимых химических присадок. В ряде случаев состав природной воды таков, что некоторые пластификаторы в данной среде совершенно неэффективны.

Исследования Ребиндера показывают, что стабилизация суспензий обуславливается поверхностными силами, возникающими в тонких оболочках, окружающих частицы дисперсной фазы. Роль стабилизирующих добавок, придающих устойчивость суспензии, заключается в том, что, адсорбируясь на частицах дисперсной фазы, они образуют вокруг частиц оболочки, уменьшающие действие сил сцепления и препятствующие непосредственному соприкосновению и коагуляции частиц. В качестве стабилизаторов используют синтетические продукты сложного состава, которые относятся к ПАВ. К настоящему времени исследованы тысячи веществ для стабилизации СС, тем не менее, в случае использования угля конкретного месторождения и даже разреза, возникает необходимость индивидуального подбора химической добавки с целью снижения реологических характеристик и достижения необходимой стабильности в статических и динамических условиях.

Влияние различных пластификаторов на РХ СС исследовались в работах, а так же анализировалось влияние физико-химических характеристик угля на пластифицирующую способность добавок. Результаты этих исследований, а также результаты других исследователей, указывают на то, что перспективным сырьем для подбора и синтеза добавок являются отходы целлюлозно-бумажной промышленности, отходы фенольного производства, отходы переработки каменноугольного сырья.

В этом качестве оптимально использовать технические лигносульфонаты (ТЛС) с сухим остатком от 45 до 55 %, в котором содержит от 88 до 93 % органической части и от 7 до 12 % зольного остатка. В состав золы входит от 73 до 80 % MgO, от 2 до 2,5 % CaO и от 1,5 до 2 % Al₂O₃. В состав органической части входят полимеры, олигомеры и низкомолекулярные вещества. Лигносульфонаты – это водорастворимые полимерные производные лигнина с широким диапазоном полидисперсности. Их молекулярная масса меняется от 1·10³ до 6·10³ а.е.м. Полимерные лигносульфонаты в ТЛС составляют 50 % от сухого остатка органической части, причем 20 % имеют молекулярную массу от 20·10³ до 60·10³ а.е.м., которая обладает наибольшим воздействием на РХ СС. Для улучшения пластифицирующего действия ТЛС требуется их направленная модификация. Методами термоокислительной полимеризации с использованием органических и неорганических модификаторов, можно получить ряд модифицированных лигносульфонатов (ЛСМ) с необходимыми свойствами.

Из окисленного бурого угля может быть получен пластификатор С-3, NaOH и углещелочной реагент (УЩР). Применение С-3, также как и добавок на основе ЛСМ, на стадии гомогенизации снижает величину ВЭ с 1,878 до 0,448 Па·с, а введение добавки на стадии мокрого помола – увеличивает ее до 0,702 Па·с. Одновременно с этим, применение щелочи, как NaOH и так и УЩР, в качестве добавки приводит к устойчивому снижению ВЭ как на стадии гомогенизации с 1,878 до 0,801 Па·с, так и на стадии помола до 0,767 Па·с. Установлено, что действие добавок зависит от зольности угля, количества гуминовых кислот, характеристик несущей среды. Вводимые добавки, которыми в основном и проводится водоподготовка, меняют, прежде всего, *pH* среды. В диапазоне изменения *pH* используемых химических добавок от 5 до 10 ВЭ бурогоугольных СС снижается с 1,6 до 0,8 Па·с.

Оптимальное количество добавки находится в интервале значений от 0,2 до 0,5 % на сухую массу твердой фазы, дальнейшее увеличение доли реагента до 1 % приводит к расслоению суспензии с образованием жесткого осадка. Стабильность СС с уменьшением зольности снижается, а с увеличением содержания гуминовых кислот с 20 до 58 % величина НКН и ВЭ, снижались в 2-4 раза.

Величина ВЭ жидкой фазы СС учитывает изменение температуры суспензии и влияние добавок различных реагентов. Связь между вязкостью и плотностью жидкости может быть учтена с использованием эмпирической формулы А.И. Бачинского:

$$\eta_0 = \frac{\rho_0 Z}{1 - \rho_0 W}, \quad (1)$$

где η_0 – ВЭ жидкой фазы СС; ρ_0 – плотность жидкой фазы при заданной температуре; Z – эмпирическая константа; W – постоянная величина, характеризующая жидкую фазу, близка по значению к постоянной b в уравнении Ван-дер-Ваальса.

Основываясь на аналогии между свойствами жидкости и твердых тел Андраде получил следующее уравнение, описывающее зависимость ВЭ от температуры:

$$\eta_0 = \sqrt[3]{\rho_0 W} e^{\frac{Z}{RT}}, \quad (2)$$

где T – абсолютная температура; W – постоянная величина, пропорциональная частоте колебаний молекул; R – универсальная газовая постоянная; Z – постоянная величина, пропорциональная потенциальной энергии.

На основе результатов экспериментальных исследований более чем для 70 нормальных, а также для некоторых не слишком вязких аномальных жидкостей, Слотом была предложена следующая формула:

$$\eta_0 = \frac{Z}{(T \pm B)^n}, \quad (3)$$

которая была проверена, Торпом и Роджером, и является обобщением результатов А.И. Бачинского

$$\eta_0 = \frac{Z}{(T+B)^3}. \quad (4)$$

Обширные экспериментальные исследования показывают, что в логарифмических координатах, зависимость ВЭ суспензий от температуры представлены прямыми линиями или же кривыми, близкими к прямым линиям. Другие специалисты убедительно доказывают, что степенная или экспоненциальная зависимость вязкости от температуры лежит в основе всех эмпирических формул

$$\eta_0 = W e^{\frac{Z}{T^B}}, \quad \eta_0 = e^{\frac{Z}{T^B}} - W, \quad \eta_0 = e^{\frac{A+Z}{T}}, \quad \eta_0 = \eta_\infty e^{\frac{A}{T-T_\infty}}, \quad (5)$$

где W , Z , B – эмпирические константы; η_∞ – вязкостью при бесконечной температуре.

Эмпирические формулы с двумя постоянными обычно передают зависимость вязкости от температуры простых нормальных жидкостей с достаточным приближением. Однако для аномальных жидкостей, как показала практика гидравлических расчетов, эмпирические формулы должны иметь не меньше трех постоянных. Наверное, поэтому широкое распространение получили формулы предложенные Пуазейлем, Торпом и Роджерсом:

$$\eta_0 = \frac{\eta'_0}{1 + \alpha T + \beta T^2}, \quad (6)$$

где η'_0 – значение кинематического коэффициента вязкости в реперной точке, обычно при 18°C ; α , β – эмпирические константы, не имеющие физического смысла.

Формулы (1) – (6) позволяют в рамках прикладного, вульгарного подхода учитывать изменение вязкости СС при введении добавок реагентов. Если экспериментальным путем установлена зависимость вязкости жидкой фазы от концентрации реагента, а также константы зависимости вязкости такой смеси от температуры, то этого достаточно, что бы проводить основные гидравлические расчеты, а также оценки РХ СС. Для описания вязкости двухкомпонентных смесей и растворов используют диаграмму зависимости вязкость от концентрации при постоянной температуре. Известно деление этих диаграмм на четыре вида. К первому виду относятся непрерывные кривые, близкие к прямой, соединяющей значения вязкости исходных компонентов. Они характерны для смесей нормальных или почти нормальных жидкостей, между которыми нет химического взаимодействия. У реальных смесей кривые обычно несколько выгнуты по направлению к оси абсцисс. Кривые с минимумом вязкости относятся ко второму типу. Они возникают при диссоциации ассоциированных молекул одного из компонентов смеси под влиянием другого. Третий тип составляют кривые с отчетливым максимумом вязкости. Они отвечают смесям, в которых при определенном соотношении компонентов образуются недиссоциированные соединения. Такие системы называют рациональными или сингулярными. Изотермы вязкости состоят как бы из двух ветвей, пересекающихся в точке максимума, называемой сингулярной точкой. Для кривых четвертого типа характерно наличие размытых максимумов, характеризующих смеси, в которых возникают диссоциирующиеся химические соединения. Такие системы называются иррациональными.

В описании вязкости смеси двух компонент можно выделить два основных подхода: эмпирические формулы и формулы, основанные на уравнении А.И. Бачинского. К первому подходу относятся формулы Аррениуса и М.М. Кусакова соответственно

$$\eta_0 = \eta_* K^{aS}, \quad \eta_0 = \eta_* e^{aS},$$

где η_* – вязкость растворителя; a , K – эмпирические константы; S – концентрация добавки.

Второй подход наиболее полно демонстрирует зависимость предложенная Г.П. Лучинским

$$\eta_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \eta_i \frac{P_i}{\rho_i} (1 - \omega_i \rho_i)}{\sum_{i=1}^N \frac{P_i}{\rho_i} (1 - \omega_i \rho_i)},$$

где η_i – вязкость i -й компоненты; P_i – массовая доля i -й компоненты; ω_i – предельный объем i -й компоненты; ρ_i – плотность i -й компоненты; N – количество компонент в смеси.

Исследованию воздействия пластификаторов и специальных реагентов на ВЭ СС посвящено много публикаций, отражающих эмпирический материал для конкретных производственных или лабораторных условий. Многие авторы указывают, что введение реагентов изменяет pH , но при этом в редких случаях известны значения pH СС до и после введения реагента. Как правило в публикациях указывают название реагента и ее долю в пересчете на сухую массу твердой фазы, в не многочисленных случаях приводят значения pH вводимой добавки. Для условий таких экспериментов нетрудно получить следующие формулы, описывающие зависимость ВЭ СС от pH :

$$\eta = \frac{3,4117}{pH^{0,61}}, \quad \frac{\eta}{\eta'} = \left(\frac{pH'}{pH} \right)^{0,61}, \quad (7)$$

где η – ВЭ СС при величине водородного показателя равной pH ; η' – ВЭ СС при величине водородного показателя равной pH' .

Формулы (7) не подтверждаются результатами исследований РХ угольных СС, согласно которым величина ВЭ не зависит от pH .

Зависимости ВЭ и НКН СС от pH являются предметом исследований многих специалистов. Однако несмотря на более чем полувековой опыт экспериментальных исследований этого вопроса, нет единого мнения относительно вида и характера этих зависимостей. Так же отсутствует единое мнение относительно подходов к теоретическому описанию и объяснению этих зависимостей. Неизвестны также успешные попытки обобщить результаты всех экспериментов. До сих пор опубликованными результатами можно пользоваться исключительно в рамках экспериментов в ходе которых они получены. Так формулы (7) должны сохранить свою структуру для условий других экспериментов, меняться должны значения коэффициента пропорциональности и показателя степени. Так известны исследования влияния водородного показателя жидкой фазы на РХ СС, которые проводились на водопроводной воде г. Донецка с $pH=8,85$ и технической воде Ясиновского коксохимзавода с $pH=7,45$. Результаты этих исследований показывают, что ВЭ СС при использовании воды различного состава и pH меняется слабо, но при этом существенно изменяется НКН:

$$\tau_0 = \tau'_0 \left(\frac{pH}{pH'} \right)^{0,9333}, \quad (8)$$

где τ_0 – НКН СС при величине водородного показателя равной pH ; τ'_0 – НКН СС при величине водородного показателя равной pH' .

Из сравнения формул (7) и (8) видно, что показатель степени изменил не только величину, но и знак. Кроме формулы (8), известны и другие выражения для расчета величины НКН и параметров закона Освальда-Рейнера от свойств жидкой фазы СС. Так, опираясь на проведенные для углей исследования, В.И. Мурко рекомендует следующие регрессионные зависимости (табл. 1, 2):

$$\tau_0 = b_0 + b_1 C' + b_2 A^d, \quad (9)$$

$$k = b_0 + b_1 C' + b_2 A^d + b_3 C'^2 + b_4 A^d C' + b_5 A^{d^2}, \quad n = b_0 + b_1 C' + b_2 A^d + b_3 C'^2 + b_4 A^d C' + b_5 A^{d^2}, \quad (10)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ – константы аппроксимации экспериментальных данных.

Таблица 1 – Константы аппроксимации зависимости τ_0 (9) от свойств фаз СС

Величина	Техническая вода с pH от 8,2 до 9,4		
	Без добавок	ЛСТ с $pH = 5,5$	УЩР с pH от 10 до 14
b_0	-72,686	-58,295	-58,837
b_1	1,167	0,991	0,974
b_2	0,670	0,454	0,660
R^2	0,780	0,873	0,840

Таблица 2 – Константы аппроксимации зависимости параметров закона Освальда-Рейнера (10), от свойств фаз СС

Величина	Техническая вода с pH от 8,2 до 9,4			
	ЛСТ с $pH = 5,5$		УЩР с pH от 10 до 14	
	k	n	k	n
b_0	3,040	0,678	132,913	-3,436
b_1	-0,437	0,945	-3,743	0,130
b_2	1,018	0,833	-4,048	0,172
b_3	0,0071	0,9111	0,025	-0,001
b_4	-0,0211	0,9132	0,071	-0,0035
b_5	0,012	0,911	-0,002	0,001
R^2	0,744	0,750	0,938	0,941

Численная обработка этих результатов позволяет предложить следующую зависимость величины НКН СС от свойств жидкой и твердой фаз:

$$\tau_0 = -72,60 + 3,85pH - 0,23pH^2 + 1,134C' e^{-0,015pH} + 0,595A^d. \quad (11)$$

Из анализа величин коэффициентов в формуле (11) можно сделать вывод, что влиянием на величину НКН концентрации и зольности твердой фазы, по сравнению с влиянием водородного показателя жидкой фазы можно пренебречь. Этот вывод подтверждают результаты ряда отечественных и зарубежных авторов, полученные для угольных СС:

$$\tau_0 = -149 + 54pH - 4pH^2.$$

Выводы

1. Для условий геотехнологических систем впервые предложена формула для пересчета эффективной вязкости структурированных суспензий при изменении водородного показателя жидкой фазы.

2. Показано, что новое значение эффективной вязкости пропорционально начальному значению, а коэффициент пропорциональности является степенной функцией из отношения водородных показателей до и после изменения.

3. В условиях геотехнологических систем влияние на начальное касательное напряжение структурированных суспензий концентрации и зольности твердой фазы является не существенным по сравнению с влиянием водородного показателя жидкой фазы.

4. Зависимость начального касательного напряжения от водородного показателя с достаточной точностью аппроксимируется полиномом второй степени. Данная зависимость носит экстремальный характер, что проявляется в существовании максимума.

Список литературы

1. Круть, О.А. Водовугільне паливо / О.А. Круть. – К.: Наукова думка, 2002. – 172 с.
2. Мурко, В.И. Научные основы процессов получения и эффективного применения водоугольных суспензий: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.17.07 / Мурко В.И. – Новокузнецк:

НГНПП Экотехника, 1999. – 289 с.

3. Баранова, М.П. Совершенствование технологии получения водоугольных суспензий: дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.04 / Баранова М.П. – Красноярск: КГТУ, 2006. – 114 с.

4. Ходаков, Г.С. Реология суспензий. Теория фазового течения и ее экспериментальное обоснование / Г.С. Ходаков // Рос. хим. журнал. – 2003. - Т. XLVII, №2. – С. 33 – 44.

5. Урьев, Н.Б. Влияние высокоскоростной активации водоугольных суспензий на их структурно-реологические свойства / Н.Б. Урьев, Э.И. Рукин // Исследование технологии и оборудования терминальных комплексов магистрального гидротранспорта: Сб. науч. тр. / НПО Гидротрубопровод. – М., 1985. – С. 19 – 24.

6. Кулагин, В.А. Влияние пластифицирующих добавок на реологические характеристики водоугольных суспензий из углей разной степени метаморфизма / В.А. Кулагин, М.П. Баранова // Труды КГТУ: Научно-технический журнал Красноярского гос. техн. ун-та. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – №2. – С. 67 – 72.

7. Смолдырев, А.Е. Трубопроводный транспорт концентрированных гидросмесей / А.Е. Смолдырев, Ю.К. Сафонов. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.

8. Самойлик, В.Г. Влияние состава минеральных примесей на реологические свойства водоугольных суспензий / В.Г. Самойлик, А.Т. Елишевич, А.С. Макарова // Химия твердого топлива. – 1990. – №5. – С. 76 – 81.

9. Світлий, Ю.Г. Гідравлічний транспорт твердих матеріалів / Ю.Г. Світлий, О.А. Круть. – Донецьк.: Східний видавничий дім, 2010. – 268 с.

10. Фукс, Г.И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов / Г.И. Фукс. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 328 с.

11. Duckworth, R.A. The Hydraulic transport of coarse coal at high concentration / R.A. Duckworth, L. Pullum // J. Pipelines.- 1983.- No29.- P. 115 – 127.

12. Водные дисперсные системы на основе бурых углей как энергетическое и технологическое топливо / Г. Н. Делягин, А. П. Петраков, Г. С. Головин, Е. Г. Горлов // Российский химический журнал. - 1997.- №6.-С. 72-77.

13. Ercolani D. Experience with coal slurry production, transportation and utilization systems for multiple applications / D. Ercolani, F. Grinzi // In : Proceedings of the IECLM workshop on the near term commercial application of ICLM., Cleanwater, FL, France, International Energy. - 1993. - P. 13.

14. Ларина, А.А. Влияние степени окисленности поверхности природных углей на реологические свойства высококонцентрированных водоугольных суспензий / А.А. Ларина, А.С. Макаров // Химия твердого топлива. - 1992. - №2. - С. 39-42.

УДК 622'17.004.2:622.7.004.8

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ АККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРУДКА

О.А. Медведева, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

В статье рассмотрены хранилища отходов обогащения Кривбасса как техногенные месторождения. Обосновано, что 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; отказаться от эксплуатации хранилища как техногенного месторождения после завершения складирования; избежать значительных объемов переэкскавации дамб обвалования верхних уровней.

Эксплуатация горно-обогатительных комбинатов (ГОК) железо-рудного Криворожского бассейна началась с середины прошлого века и за это период работы в их хранилищах отходов (ХО) аккумулировано значительные объемы не только пустой породы, технической воды, но и ценных компонентов, по разным причинам не извлеченных из исходного минерального сырья.