

ИЗМЕНЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГЛИНИСТЫХ АГЛОМЕРАТОВ ПРИ ПРОПИТЫВАНИИ ИХ ВОДОЙ И ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ ПОЛИАКРИЛАМИДА

Блюсс Б.А., докт. техн. наук, проф.,
Семененко Е.В., канд. техн. наук, с.н.с., ИГТМ НАН
Украины, Никифорова Н.А., Национальная металлургическая
академия Украины (НМетАУ)

Исследовано влияние водных растворов катионоактивного и анионо-активного полиакриламида с разной концентрацией на процесс дезинтеграции глинистых агломератов. Предлагается метод расчета изменения гранулометрического состава глинистых агломератов за счет пропитывания их водой.

The influence of cationic and anionic polyacrylamide water solutions with different concentration on decomposition process of clay agglomerates is investigated. The method of calculation of granulometric composition change of clay agglomerates due to water soaking of them is offered.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В технологиях добычи и обогащения полезных ископаемых с применением мокрых методов широко используется гидротранспорт исходного сырья на обогатительное производство. При разработке россыпных месторождений материал, подаваемый на обогатительную фабрику, содержит глинистые фракции. При его гидротранспорте происходит взаимодействие агломератов горной массы с водой, в результате чего изменяются свойства и состояние этих агломератов [1]. Актуальной проблемой при использовании гидротранспорта твердых материалов является снижение энергоемкости этого процесса, одним из способов достижения которого может быть использование в качестве несущей среды водного раствора полиакриламида (ПАА) с очень малой концентрацией, добавка которого снижает гидравлическое сопротивление турбулентных потоков [2]. Поведение агломератов глины в присутствии воды и водных растворов полимеров, которое необходимо учитывать при выборе режимов работы гидротранспортной установки, до настоящего времени не изучено.

Анализ исследований и публикаций. Различные теоретические модели процесса дезинтеграции агломератов горной массы обладают

одним существенным недостатком – на их основе невозможно рассчитать размеры частиц, на которые разрушается кусок транспортируемого материала, так как не учитывается влияние пропитывания агломерата водой на прочностные свойства породы [1]. Недостатком подхода [3] к описанию процесса дезинтеграции является его зависимость от параметров системы и свойств транспортируемого материала, которую невозможно оценить заранее. Влияние присутствия полимеров на фильтрационные свойства глинистых пород рассматривалось не с точки зрения дезинтеграции кусков глины, а с точки зрения сохранения или изменения водного баланса грунтов [4].

Постановка задачи. Цель статьи – исследование влияния добавок полиакриламида на скорость дезинтеграции кусков глины, а также процесса изменения гранулометрического состава твердой фазы по мере пропитывания глинистых агломератов,.

Изложение результатов и материалы. Исследовался процесс дезинтеграции зеленовато-серой глины Восточного участка Малышевского месторождения Вольногорского горно-металлургического комбината под действием водопроводной воды и водных растворов с массовыми долями 0,01%, 0,02% и 0,05% катионоактивного (ПАА К) и анионоактивного (ПАА А) полиакриламида. Химический состав исследовавшейся глины: 69,5% SiO_2 , 13,0% Al_2O_3 , 6,0% Fe_2O_3 , 1,23% TiO_2 , 0,70% CaO , 1,10% MgO , 0,25 % K_2O , 0,05% Na_2O , проба после прокаливания 8,74%. Глины имеют слоистую кристаллическую структуру. На их поверхности образуется двойной электрический слой (ДЭС). Отрицательно заряженная поверхность глинистой частицы представляет собой внутреннюю часть ДЭС, а внешняя состоит из адсорбционного и диффузного слоев катионов, способных к ионному обмену. Обменными катионами в исследованной глине являлись ионы Fe^{3+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} и в значительно меньшей степени ионы K^+ и Na^+ .

В процессе эксперимента время дезинтеграции единицы объема куска глины в 0,01%-ном растворе ПАА К оказалось ~ в 1,3 раза, а в 0,02%-ном растворе ПАА К – в 1,7 раза меньше, чем в воде, причем дезинтеграция глины при контакте и с водой, и с раствором началась мгновенно, а осадок, образовавшийся в воде и в растворе ПАА К, имел разную структуру. При дезинтеграции в воде осадок был компактным, содержащим большое количество тонких частиц, а в растворе ПАА К – рыхлым и объемным. После полной дезинтеграции раствор перемешивали стальным стержнем и наблюдали за процессом его осветления. При этом полное осветление воды достига-

лось только через 45 часов, а раствор ПАА К полностью осветлялся практически мгновенно. В 0,05%-ном растворе ПАА К вначале наблюдалось образование трещин в куске глины и увеличение его объема. Прекращение изменений наблюдалось при отсутствии полной дезинтеграции. Полная дезинтеграция и быстрое осаждение рыхлого осадка произошли только при перемешивании стальным стержнем. При повторном перемешивании обнаружилось, что частицы осадка плохо взвешиваются.

Качественно иной была картина в растворах ПАА А. В 0,01% растворе ПАА А в течение длительного времени дезинтеграция практически не происходила. Кусок глины медленно покрывался трещинами, увеличивался в объеме, изредка от него откалывались кусочки меньшего размера. Даже через 20 часов (для сравнения – дезинтеграция кусков примерно такого же размера в воде происходила за 24 – 28 мин.) дезинтеграция не произошла, хотя степень разрушения увеличилась. При перемешивании стальным стержнем произошла полная дезинтеграция и быстрое осаждение компактного осадка. При повторном перемешивании частицы осадка плохо взвешивались. В 0,05% растворе ПАА А образование мелких частиц не произошло даже при перемешивании стальным стержнем – большой кусок с трудом удалось разбить на несколько более мелких. При повторном перемешивании образовались и мелкие частицы, которые очень плохо взвешивались.

Важным свойством глинистых пород является их набухаемость, то есть способность увеличивать объем в процессе взаимодействия с водой или водными растворами. При этом вокруг обменных катионов образуются гидратные оболочки. Адсорбция молекул воды на поверхности глинистых частиц обуславливает адсорбционное набухание глины, которое является быстрой стадией процесса набухания и не приводит к существенному увеличению объема агломерата. Однако при этом происходит ослабление структурных связей в кристаллической решетке глинистых частиц, что приводит к ее разрушению, после чего тонкие и мелкие частицы легко выносятся из порового пространства. Размеры частиц природных глин значительно меньше 0,01 мм, поэтому осветление воды в отсутствие ПАА К происходило так медленно. Ускорение процесса дезинтеграции глинистого агломерата в присутствии ПАА К указывает на адсорбцию полимерных катионов на отрицательно заряженной поверхности агломерата, а усиление их расклинивающего влияния на кристаллическую решетку

глинистых частиц может объясняться гидратацией самих полимерных катионов. Уменьшение скорости дезинтеграции при увеличении концентрации ПАА К может объясняться пространственными затруднениями при адсорбции полимерных катионов, а возможно, и изменением их структуры, например, сворачиванием линейных ионов в клубки. Мгновенное осветление раствора ПАА К после перемешивания суспензии и рыхлость осадка можно объяснить флокуляцией тонких частиц глины.

Поведение глинистых агломератов в растворе ПАА А может объясняться тем, что полимерные анионы не могут адсорбироваться на одноименно заряженной поверхности агломерата. Возможно также, что их присутствие затрудняет адсорбцию молекул воды. В растворе ПАА А явно преобладает медленная стадия процесса набухания – осмотическое набухание за счет односторонней диффузии молекул воды в межслойное пространство, обусловленной градиентом концентрации обменных катионов в растворе и межслойном пространстве.

Так как в эксперименте наблюдалась картина дезинтеграции, и динамика процесса пропитывания агломератов водой известна, то для описания процесса изменения гранулометрического состава пористого агломерата при пропитывании водой можно применить математическую модель, предложенную в [5], при условии, что рассматриваются процессы только внутри агломерата.

В результате адсорбции на поверхности агломерата сферической формы образуется слой, поры которого будут заполнены водой. Объем зерен скелета поверхностного слоя, пропитанного жидкостью, определится по формуле

$$V_C = (1 - m) \frac{4}{3} \pi (R_g^3 - R_o^3), \quad (1)$$

где R_g – радиус агломерата; R_o – радиус внутренней границы пропитанного слоя; m – пористость агломерата.

Дезинтеграции будут подвержены зерна скелета поверхностного слоя с размером меньше толщины слоя проникшей жидкости, значение которой вычисляется по формуле

$$\delta = R_g - R_o. \quad (2)$$

Объем частиц, которые могут отколоться от агломерата,

$$V_q = (1 - m) \frac{4}{3} \pi (R_g^3 - R_o^3) F(\delta), \quad (3)$$

где $F(\delta)$ – доля частиц в составе агломерата, размер которых меньше ширины слоя, насыщенного водой.

Объем скелета агломерата после дезинтеграции части слоя

$$V_n = (1 - m) \frac{4}{3} \pi R_n^3; \quad (4)$$

$$R_n = \sqrt[3]{R_g^3 - (R_g^3 - R_o^3) [1 - F(\delta)]}, \quad (5)$$

где R_n – радиус агломерата после дезинтеграции слоя, пропитанного водой.

Доля частиц данной крупности в составе агломерата после дезинтеграции пропитанного слоя

$$G(d) = \begin{cases} \frac{x^3}{1 + x^3} F(d) & d \leq \delta \\ \frac{1}{1 + x^3} F(d) & d > \delta \end{cases}; \quad x = \frac{R_o}{R_g}, \quad (6)$$

где x – степень пропитывания пористого агломерата, [3].

Расчет изменения гранулометрического состава глинистых агломератов осуществлялся по следующему алгоритму.

Вначале для агломерата заданных размера, гранулометрического состава зерен скелета, пористости и с известными фильтрационными свойствами определяется время, через которое начнется дезинтеграция, а также зависимость параметра x от времени. Затем, по мере фильтрации воды для каждой из выделенных в гранулометрическом составе агломерата фракций вычисляют объем отколовшихся от агломерата частиц фракции, новое значение доли фракции и новый радиус агломерата.

Условие начала отделения частиц и полное исключение фракции из гранулометрического состава агломерата могут быть сформулированы в виде следующих неравенств:

$$1 - x^3 \geq \frac{d^3}{(1 - m) f(d) R_g^3} \quad \text{и} \quad f(d) \leq \frac{1}{1 - m} \left(\frac{d}{R_o} \right)^3,$$

где $f(d)$ – доля частиц крупностью d в гранулометрическом составе зерен скелета агломерата.

Зная для каждой фракции объем отколовшихся частиц, новый размер разрушаемого агломерата, а также исходное распределение твердого материала по фракциям, можно рассчитать текущее изменение гранулометрического состава глинистой части транспортируемого материала, обусловленное дезинтеграцией пористых агломератов за счет пропитывания их водой.

Выводы и направления дальнейших исследований. Результаты эксперимента позволяют сделать следующие выводы. При высоком содержании глинистых агломератов в материале, перемещаемом с помощью гидротранспорта, не рекомендуется использовать для снижения гидравлического сопротивления потока гидросмеси добавки анионоактивного полиакриламида, так как в его присутствии глинистые агломераты практически не будут разрушаться, а, кроме того, будут концентрироваться в нижней части трубопровода, увеличивая толщину слоя заиления. Применение катионоактивного полиакриламида при его массовой доле в несущей среде не более 0,02% позволит быстро уменьшить гидравлическую крупность глинистых агломератов, что благоприятно отразится на параметрах гидротранспорта. Одновременно будет решаться проблема уменьшения содержания глинистых шламов в оборотной воде. Дальнейшие исследования позволят уточнить математическую модель процесса изменения гранулометрического состава глинистой части транспортируемого материала.

Список источников.

1. Гуменик И.Л., Сокил А.М., Семененко Е.В., Шурыгин В.Д. Проблемы разработки россыпных месторождений. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
2. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности. – М.: Недра, 1985. – 192 с.
3. Семененко Е.В. Влияние параметров гидротранспорта на процесс пропитывания пористых транспортируемых агломератов // Геотехническая механика. Разработка месторождений твердых полезных ископаемых. – Днепропетровск: - 1997. - С. 145-148.
4. П.П. Олодовский, М.Г. Мурашко и др. Роль водорастворимых полимеров и электролитов в формировании фильтрационных свойств тяжелых глинистых почв и грунтов // Инж.-физ.ж. – 1978. – Т. XXXIV, № 2. – С. 236 – 242.
5. Семененко Е.В. Моделирование изменения гранулометрического состава горной массы при пропитывании жидкостью // Науковий вісник Національної гірничої академії України, 2000, №4. – С. 100 – 103.

Дата поступления статьи в редакцию: 01.11.07