

**Е. В. Лаевская¹, Е. В. Воробьева¹, Н. П. Крутько¹,
П. Д. Воробьев¹, Д. В. Чередниченко¹, М. Т. Насковец²**

¹*Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*
²*Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь*

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ФЛОКУЛИРОВАННЫХ ПОЛИАКРИЛАМИДОМ СОЛЕВЫХ ДИСПЕРСИЙ ГЛИНЫ

В лабораторных условиях смоделированы и исследованы технологические процессы флокуляции, фазового разделения и структурообразования солевых дисперсий глины. Изучено влияние полимера (полиакриламида), введенного на стадии флокуляции, на свойства образующихся продуктов. Установлено, что в интервале концентрации полимера 0,01–0,2 мг/г плотность и влагоотдача флокул увеличиваются в 1,4–1,6 раза. Предельное напряжение сдвига дисперсии, прочность и количество гранул заданного размера изменяются экстремально с максимумом при концентрации полиакриламида 0,2 мг/г. Введение полиакриламида в солевую дисперсию на стадии структурообразования уменьшает предельное напряжение сдвига, плотность и пластичность дисперсии в 1,4–1,7 раза по сравнению с вариантом, когда полимер добавлен на стадии флокуляции. Это обусловлено тем, что на стадии флокуляции макромолекулы полимера адсорбируются на частицах глины с образованием между ними полимерных мостиков, тогда как при структурообразовании полимер скрепляет более крупные глинистые агрегаты и прочность таких контактов меньше.

Результаты исследований позволили установить интервал концентраций полимерного флокулянта, обеспечивающий оптимальные параметры исследованных процессов и свойства образующихся продуктов. Полученные результаты использованы в технологии комплексной переработки глинодержащих отходов калийного производства.

Ключевые слова: полиакриламид, флокуляция, дисперсия, новый глинистый материал, структура, предельное напряжение сдвига, прочность гранул.

**E. V. Layeuskaya¹, E. V. Vorobieva¹, N. P. Krutko¹,
P. D. Vorobiov¹, D. V. Cherednichenko¹, M. T. Naskovets²**

¹*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*
²*Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus*

STRUCTURIZATION OF SALINE CLAY DISPERSIONS FLOCCULATED BY POLYACRYLAMIDE

Under the laboratory conditions, processes of flocculation, phase separation and structurization of saline clay dispersion have been simulated and investigated. Effect of polymer (polyacrylamide) introduced at flocculation stage on properties of final products was studied. It has been found that at polymer concentrations of 0.01–0.2 mg/g, solid phase density and dewatering capability of flocs increase 1.4–1.6 times. Strength yield stress and optimal granules size have a maximum at polyacrylamide concentration of 0.2 mg/g of the disperse phase. Introduction of polyacrylamide into saline clay dispersion during structurization step reduces yield stress, density and plasticity 1.4–1.7 times, compared to adding the polymer at flocculation stage. This could be explained by adsorption of polymer macromolecules on the clay particles during flocculation step, to form bridges, whereas during structure formation step polymer binds larger clay aggregates and the strength of such contacts is weaker.

Results of the study allow to estimate a concentration range of polymeric flocculant which provides optimal parameters of the studied processes and properties of the final products. The results are used in the complex recycling technology of clay-containing wastes of potash production.

Keywords: polyacrylamide, flocculation, dispersion, new clay material, structure, yield stress, granules strength.

Введение. По мере расширения калийного производства в Республике Беларусь и в связи с использованием калийной руды с высоким содержанием глины возрастает актуальность комплексной переработки и использования глинодержащих отходов, образующихся в процессе извлечения хлорида калия [1]. В последние годы в калийном производстве используется новая технология фазового разделения глинисто-солевой дисперсии с применением полимерных флокулянтов [2]. Отделенная жидкая фаза – концентрированный солевой раствор хлоридов калия и натрия – возвращается в технологический процесс обогащения калийной руды.

После отделения солевого раствора остается продукт, содержащий глину (75–80 %) с адсорбированным флокулянтom, хлориды калия и натрия (20–25 %). Несмотря на низкие концентрации (0,1–0,2 %), полимер (полиакриламид, широко применяемый в мировой практике для очистки воды, в том числе питьевой), введенный в дисперсию на стадии флокуляции, оказывает существенное влияние на структуру и свойства флокулированной дисперсии.

Фазовое разделение флокулированной полимером дисперсии проводят с применением фильтрующего технологического оборудования (фильтр-пресс). В процессе фазового разделения структура флоккул уплотняется вследствие вытеснения жидкой фазы из межчастичного пространства. Удаление влаги приводит к увеличению концентрации полимера внутри флоккулы и создает условия для гелеобразования полимера. Структурообразование флокулированной дисперсии при повышенной температуре способствует образованию сшитой полимерной прослойки, которая скрепляет частицы дисперсной фазы.

В литературе много внимания уделяется вопросам адсорбции полимеров на поверхности глины, флокуляции глинистых дисперсий, структурообразования минеральных дисперсий с использованием полимеров [3–5]. Однако имеющиеся данные сложно отнести к исследуемой нами системе, в которой с участием полимера, добавленного в солевую дисперсию глины на начальном этапе, последовательно осуществляется целый ряд химических процессов: адсорбция, флокуляция, фазовое разделение и структурообразование флокулированной дисперсии.

В настоящей статье представлены результаты исследования влияния полимера, введенного в дисперсию на стадии флокуляции, на деформационные свойства флокулированной дисперсии и прочность сформированных из нее гранул. Результаты таких исследований позволяют целенаправленно регулировать процессы, происходящие на границе раздела фаз в солевых дисперсиях глины, и составят основу для новых технологических процессов, востребованных в калийной промышленности.

Методика эксперимента. В работе в качестве флокулянта использовали полиакриламид с молекулярной массой (ММ) $1,1 \cdot 10^7$ D («Sigma-Aldrich»). Растворы полимера с концентрацией 0,5 % готовили на дистиллированной воде, хранили не более 5 сут. Непосредственно перед введением в дисперсию водный раствор полимера разбавляли насыщенным раствором хлорида калия. При разбавлении помутнения раствора или образования осадка не наблюдалось. Концентрацию полиакриламида в дисперсии варьировали в пределах 0,01–0,30 мг/г твердой фазы.

Фазовое разделение глинисто-солевой дисперсии проводили следующим образом: к 150 г дисперсии добавляли полиакриламидный флокулянт, перемешивали на мешалке при 350 об/мин в течение определенного времени и из образовавшейся флокулированной дисперсии выделяли жидкую фазу (солевой раствор) на лабораторном ленточном фильтре-прессе. Полученный после отделения жидкой фазы продукт глинистый минерализованный (ПГМ) представлял собой однородную пластичную массу с влажностью 28 % и следующим содержанием (мас. %): глины – 78, KCl – 10, NaCl – 12. В промышленных условиях ОАО «Беларуськалий» продукт ПГМ получают аналогичным способом: суспензию глины в солевом растворе (глинисто-солевой шлам) обрабатывают раствором полиакриламидного флокулянта и отделяют жидкую солевую фазу на промышленном ленточном фильтре-прессе.

В работе использовали также образцы глинисто-солевой дисперсии (ГСД) без флокуляции полимером с фильтрацией на волокнистом тканом материале. В образец ГСД с заданной влажностью добавляли при перемешивании раствор полиакриламида. Влажность ГСД – 28 %, концентрация полимера – 0,2 мг/г твердой фазы.

Плотность флоккул определяли методом дисперсионного анализа на фотометрическом седиментометре ФСХ-4 в виде разности плотностей твердой и жидкой фаз Δ . Концентрация дисперсной фазы 5 г/л; точность метода ± 2 %.

Показатель влагоотдачи глинистого осадка после флокуляции определяли на стандартном приборе ВМ-6, как отношение объема жидкости, выделяющейся под давлением 0,1 МПа за 30 мин с площади фильтрации диаметром 75 мм, к объему всего образца, и выражали в процентах. Предел измерения влагоотдачи на приборе ВМ-6 40 см³, погрешность измерения $\pm 0,5$ см³.

Для измерения прочности флоккул использовали метод измерения мутности в динамическом режиме, позволяющий определять среднюю концентрацию суспендированных частиц с помощью фотометрического анализатора. В дисперсию глины вводили полимер в заданном количестве

с помощью перистальтического насоса по прозрачной трубке с внутренним диаметром 3 мм прокачивали через кювету прибора и определяли светопропускание. После перемешивания суспензии с флокулянтном мешалкой со скоростью перемешивания 300 об/мин в течение 5 мин повторно определяли светопропускание дисперсии и рассчитывали отношение мутности системы после и до перемешивания (L). Данный эксперимент позволяет оценить динамику разрушения и прочность агрегатов, образованных под действием флокулянта. При $L = 1$ флокулы не разрушаются, т. е. чем ближе значение параметра L к единице, тем выше прочность агрегатов. Отклонение показателя L от единицы в сторону увеличения означает возрастание мутности системы в связи с разрушением флокул. Уменьшение L свидетельствует об увеличении прочности флокул.

Предельное напряжение сдвига определяли на коническом пластометре методом, основанном на измерении усилия F , которое необходимо приложить к конусу для погружения его в систему на известную глубину h . Образцы (фракция с размером частиц менее 0,2 мм) переносили в измерительную чашку диаметром 55 мм, с высотой борта 17 мм, выравнивали, уплотняли, помещали на чашку весов, компенсировали вес, затем погружали конус на заданную глубину и по шкале весов определяли соответствующее усилие. Величину предельного напряжения сдвига (P) рассчитывали по формуле

$$P = \frac{K_a \cdot F}{h^2}, \quad (1)$$

где P – предельное напряжение сдвига, МПа; K_a – константа конуса, которая зависит от величины угла при вершине конуса; F – сила сопротивления образца, кг; h – глубина погружения конуса, м.

Для исследования физико-механических свойств дисперсий использовали специальные лабораторные методы [6]. Определение прочностных свойств образцов проводили методом одноплоскостного среза в приборе с фиксированной плоскостью путем сдвига одной части образца относительно другой его части касательной нагрузкой при одновременном нагружении образца нагрузкой, нормальной к плоскости среза. Угол внутреннего трения φ и сцепление C определяли по результатам пяти испытаний при различных значениях нормального напряжения. По измеренным значениям касательной и нормальной нагрузок вычисляли касательные и нормальные напряжения τ и σ (МПа). Угол внутреннего трения φ и сцепление C рассчитывали по следующим формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (2)$$

$$C = \frac{\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \sum \tau_i \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}. \quad (3)$$

Плотность и число пластичности образцов (диапазон колебаний влажности, в котором материал обладает пластическими свойствами) определяли по ГОСТу 5180-84. Модуль деформации (E), характеризующий сопротивление материала внешним нагрузкам, определяли как отношение удельного давления к относительной деформации при отсутствии бокового расширения [6].

Гранулы получали в лабораторных условиях на модельной установке, основу которой составляет барабанный гранулятор. Метод определения прочности гранул заключался в измерении среднего усилия раздавливания 20 образцов на приборе ИПГ-1.

Результаты эксперимента и их обсуждение. На рис. 1 и 2 приведены данные об изменении физико-химических свойств флокулированной дисперсии (плотности, прочности, влагоотдачи) и размера агрегатов, образуемых частицами глины, в зависимости от количества введенного в дисперсию флокулянта. В интервале концентраций полимера от 0,01 до 0,20 мг/г твердой фазы размер флокул увеличивается в 2,7 раза, плотность – в 1,4 раза, что обусловлено агрегацией частиц глины вследствие образования мостиков из адсорбированного на поверхности частиц полимера. При концентрации полимера более 0,20 мг/г твердой фазы размер агрегатов скачкообразно возрастает, плотность уменьшается, что позволяет предположить образование крупных, рыхлых агрегатов из флокул.

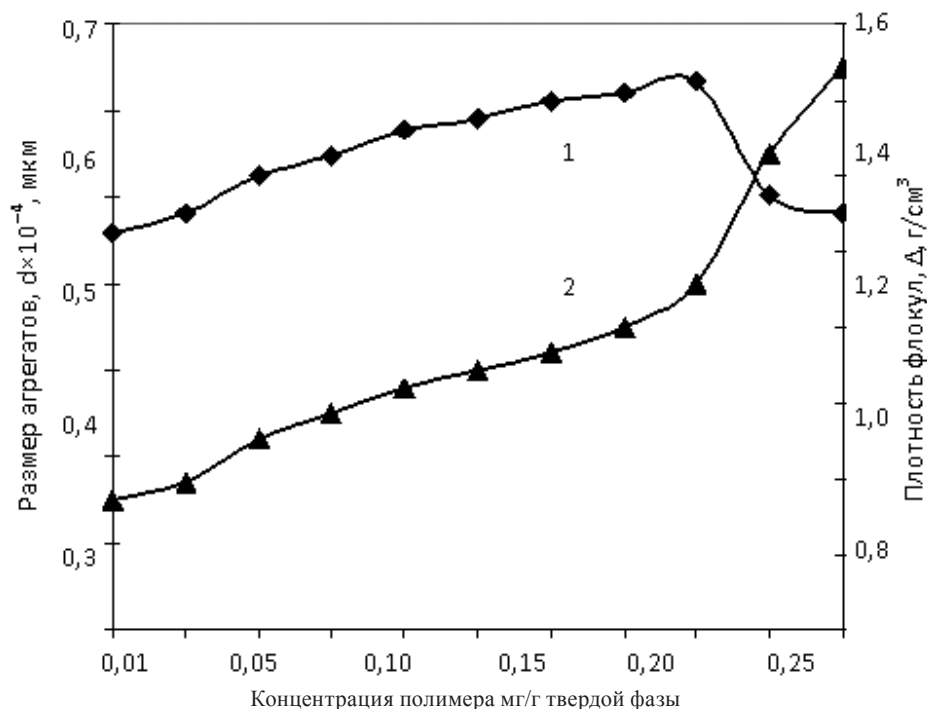


Рис. 1. Плотность (Δ , г/см³) и размер флоккул (d , мкм) в солевой дисперсии глины в зависимости от концентрации полимера
 Fig. 1. Density (Δ , g/cm³) and the size of flocs (d , μm) in the saline clay dispersion as a function of polymer concentration

Уменьшение показателя L , свидетельствующее об увеличении прочности, и повышение влагоотдачи флокулированной дисперсии (рис. 2) является следствием взаимодействия глинистых частиц и формирования флоккул в интервале концентраций полимера в системе 0,01–0,20 мг/г твердой фазы.

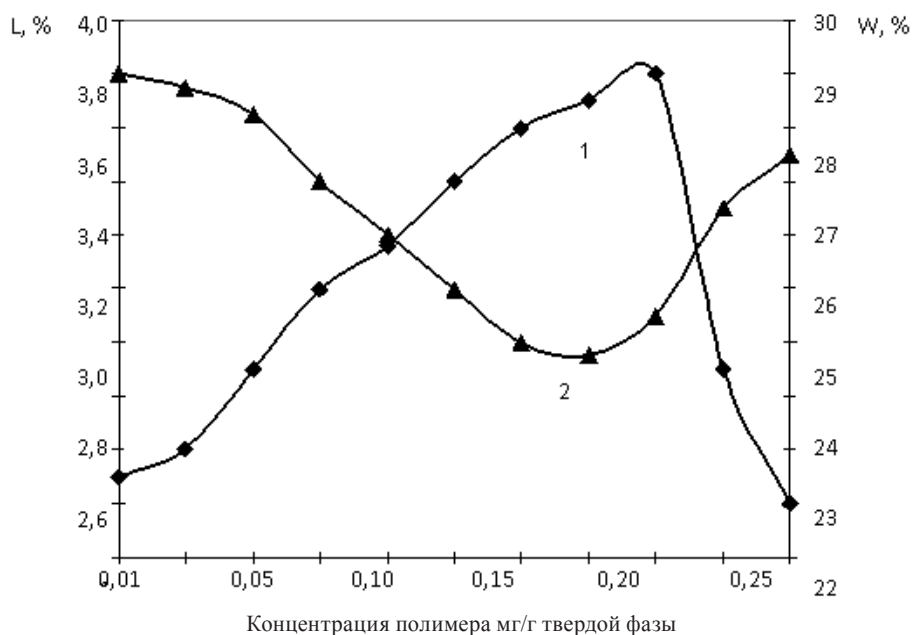


Рис. 2. Влагоотдача (W) и показатель изменения прочности (L , %) флоккул в солевой дисперсии глины в зависимости от концентрации полимера

Fig. 2. Water yielding (W) and the resistance change rate (L , %) of flocs in the saline clay dispersion as a function of polymer concentration

Экстремальны характар залежнасці ад максімуму пры канцэнтрацыі полімера 0,20 мг/г твёрдой фазы сведчыць аб завяршэнні працэса флокуляцыі гліністых часціц у гэтай абласці канцэнтрацый і фарміраванні аграгатаў з флокул. Эксперыментальна ўстаноўлена, што павелічэнне канцэнтрацыі полімера ў даследуемай дысперсійнай сістэме вышэй 0,25 мг/г твёрдой фазы прыводзіць да яе стабілізацыі, калі ўласцівасці флокул практычна не змяняюцца.

Полученные экспериментальные результаты позволяют определить оптимальное количество вводимого в дисперсию флокулянта (0,15–0,20 мг/г), обеспечивающее высокую эффективность процесса флокуляции и формирование прочных плотных флокул с минимальным содержанием в них дисперсионной среды, что необходимо для фазового разделения дисперсии.

Из фотографий, приведенных на рис. 3, видно, что солевая дисперсия глины без флокулянта представляет собой тонкодисперсный осадок, равномерно распределенный в растворе, из которого практически невозможно выделить жидкую фазу, даже с применением современного фильтрующего технологического оборудования. Полимер, добавленный в дисперсию, флокулирует глинистые частицы (рис. 3, б), из флокулированной дисперсии посредством механического отжима жидкость (солевой раствор) отделяется, флокулы уплотняются вследствие вытеснения жидкой фазы из межчастичного пространства. Твёрдая дисперсионная фаза состоит из агрегированных глинистых частиц, скрепленных полимером, и благодаря присутствию полимера глинистый продукт ПГМ характеризуется определенной структурой (рис. 3, в).

Деформационные свойства ПГМ зависят от концентрации полимера, введенного на стадии флокуляции. Из таблицы видно, что с увеличением концентрации полимера в 2 раза (от 0,1 до 0,2 мг/г твёрдой фазы) плотность ПГМ увеличивается в 1,4, пластичность – в 1,2 раза, предельное напряжение сдвига, угол внутреннего трения и модуль деформации возрастают, взаимодействие глинистых частиц (сцепление) усиливается.

Влияние полимера на деформационные свойства дисперсии зависит от того, на какой стадии полимер введен в солевую дисперсию. Как следует из таблицы, при одинаковой концентрации полимера (0,20 мг/г) предельное напряжение сдвига ПГМ выше по сравнению с ГСД в 1,7 раза, плотность – в 1,6 раза, модуль деформации увеличивается в 1,1, сцепление – в 1,5 раза. Пластичность материала при обработке полимером на стадии флокуляции в 1,4 раза выше по сравнению с ГСД.

Основными стадиями процесса структурообразования ПГМ в динамических условиях являются следующие: формирование пластичных агрегатов и стабилизация структуры. На первой стадии структурообразования полимер, адсорбированный на поверхности частиц, образующий прослойки в межчастичном пространстве флокул, способствует формированию мостиков в пластичной структуре агрегатов из флокулированной дисперсии. Глинистые частицы связаны по-

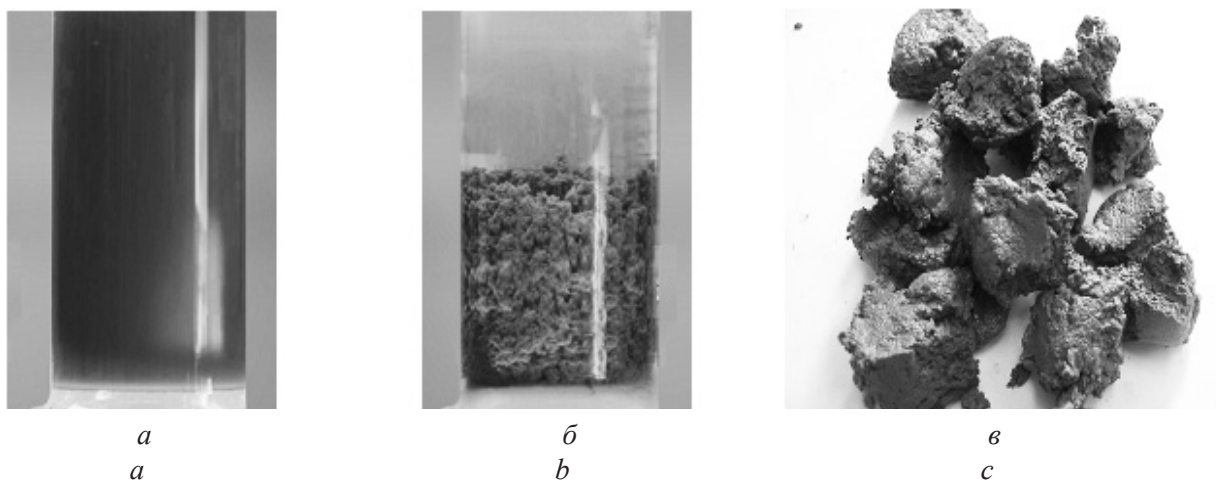


Рис. 3. Фотографіі солевой дисперсіі гліны да введення флокулянта (а), флокуліраваннай дысперсіі да фазовага раздзялення (б) і пасля аддзялення жыдкай фазы (ПГМ) (в)

Fig. 3. Photos of clay salt dispersion prior to the introduction of flocculant (a), the flocculated dispersion before phase separation (b) and after separation of the liquid phase (PGM) (c)

лимерными мостиками, что обеспечивает их способность к относительному перемещению. Стабилизация сформированной структуры при повышенной температуре (формирование гранул) обусловлена образованием сшитой полимерной прослойки, которая скрепляет частицы дисперсной фазы.

Деформационные свойства ПГМ и солевых дисперсий глины, обработанных полимером без флокуляции (ГСД)

Характеристика	Деформационные свойства глинистых дисперсий с концентрацией полиакриламида (мг/г твердой фазы)		
	ГСД (0,2)	ПГМ (0,1)	ПГМ (0,2)
Предельное напряжение сдвига, МПа	18,6	27,8	31,4
Сцепление C , кПа	4,9	6,7	7,3
Угол внутреннего трения φ , град	16,4	19,5	22
Плотность, г/см ³	1,7	1,9	2,7
Число пластичности, %	23,2	26,8	31,7
Модуль деформации, МПа	7,7	8,0	8,3

Зависимость предельного напряжения сдвига ПГМ от концентрации флокулянта согласуется с изменением прочности гранул из ПГМ (рис. 4). В интервале концентраций флокулянта от 0,025 до 0,25 мг/г увеличение предельного напряжения сдвига в 1,7 раза сопровождается повышением прочности гранул в 1,8 раза (от 0,36 до 0,65 МПа). Увеличение содержания полимера более 0,25 мг/г приводит к резкому снижению предельного напряжения сдвига и статической прочности гранул в 1,4 и 1,5 раза соответственно.

Количество агрегатов (гранул) заданного размера (от 2 до 5 мм) возрастает в 1,6 раза в интервале концентраций полиакриламидного флокулянта от 0,025 до 0,2 мг/г и существенно уменьшается при дальнейшем увеличении концентрации полимера (рис. 5).

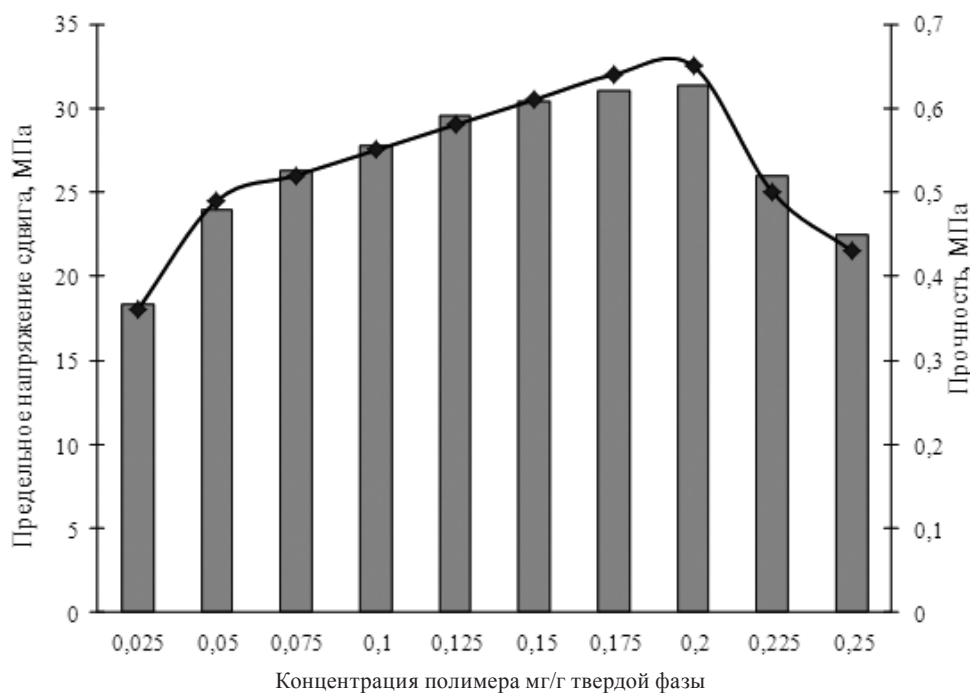


Рис. 4. Зависимость предельного напряжения сдвига ПГМ (гистограмма) и статической прочности гранул из ПГМ (график) от концентрации флокулянта

Fig. 4. Dependence of GMP ultimate shear stress (histogram) and static strength of GMP granules (graph) on the concentration of flocculant

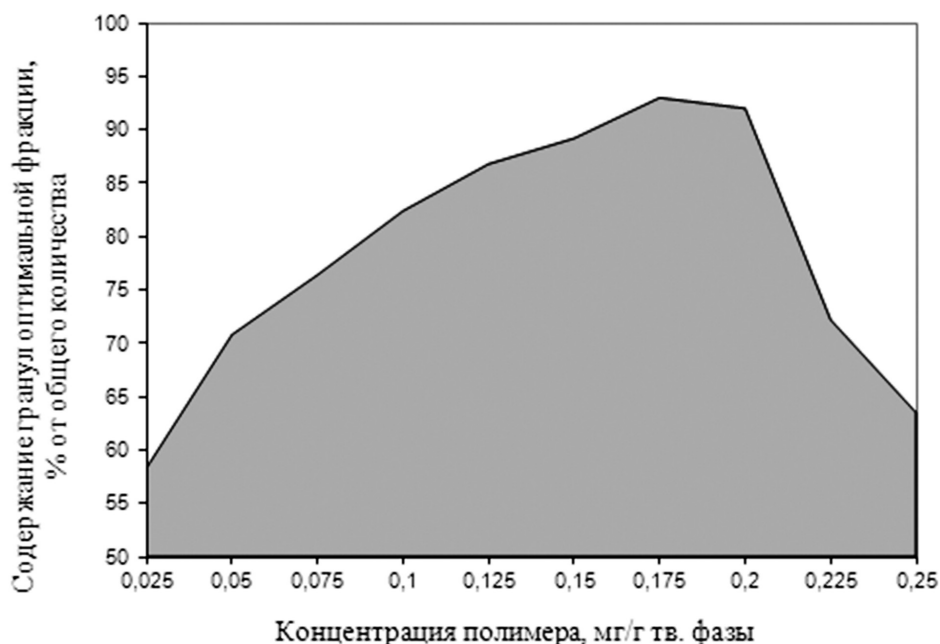


Рис. 5. Влияние полиакриламидного флокулянта на выход гранулированного продукта (фракции заданного размера)

Fig. 5. Effect of polyacrylamide flocculant upon the yield of granulated product (fraction of a given size)

Механизм действия полимерного флокулянта заключается в адсорбции его макромолекул на частицах глины с образованием между ними полимерных мостиков, что приводит к агрегации и флокуляции дисперсии. Адсорбционные слои из полимеров в межчастичном пространстве определяют структуру флокул, что имеет существенное значение не только для флокуляции и фазового разделения дисперсии, но и структурообразования дисперсной фазы.

Заключение. Результаты выполненных исследований показали, что изменяя концентрацию полимера, флокулирующего солевую дисперсию глины, предоставляется возможность для регулирования структурных параметров флокулированной дисперсии и получаемых на ее основе гранул. Установлено, что в области концентраций флокулянта полиакриламида 0,15–0,20 мг/г твердой фазы в дисперсии образуются флокулы с высокой плотностью, прочностью и влагоотдачей. Деформационные свойства продукта ПГМ, полученного фазовым разделением флокулированной дисперсии (предельное напряжение сдвига, плотность, модуль деформации, сцепление, пластичность), а также прочность и размер гранул ПГМ определяются структурными параметрами первичных агрегатов (флокул) и в конечном итоге концентрацией полимерного флокулянта в дисперсии. Несмотря на разнообразие факторов, способных оказать влияние на исследуемую дисперсную систему в последовательных процессах флокуляции, фазового разделения и структурообразования флокулированной дисперсии, определяющим является влияние полимера, модифицирующего поверхность частиц глины и способствующего их агрегации.

Список использованных источников

1. Богатов, Б. А. Геоэкология калийного производства / Б. А. Богатов, А. Д. Смычник, С. Ф. Шемет. – Минск: ЮНИПАК, 2005. – 200 с.
2. Способ переработки глинисто-солевых шламов, образующихся при производстве калийных удобрений: пат. 012304 Евразия : МПК С 05D 1/00, В 01D 21/01 (2006) / Е. В. Воробьева, Н. П. Крутько, Д. В. Чердиченко, П. Д. Воробьев, В. М. Кириенко, А. Д. Любущенко, А. В. Пастухов, Н. В. Гончар, М. М. Варава, Ф. И. Лобанов, Д. Н. Воробьев; дата публ. 28.08.09.
3. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг [и др.]. – М. : БИНОМ, 2007. – 528 с.
4. Особенности формирования флокул и осадков в присутствии бинарной смеси полиэлектролитов / С. С. Дерябина [и др.] // Журн. прикл. химии. – 2005. – Т. 78, № 7. – С. 1169–1173.

5. Урьев, Н. Б. Закономерности структурообразования высококонцентрированных дисперсных систем в динамических условиях / Н. Б. Урьев // Коллоид. журн. – 1978. – Т. 60, № 5. – С. 915–922.

6. Ананьев, В. П. Инженерная геология: учеб. для строит. спец. вузов / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. – Изд. 3-е. – М.: Высшая школа, 2005. – 575 с.

References

1. Bogatov, V. A., Smychnik, A. D. and Shemet, S. F. (2005) Geoekologiya kaliinogo proizvodstva [Geocology of potash production], ЗАО «JuNIPAK», Minsk, BY

2. Vorob'eva, E. V. (2009) Sposob pererabotki glinisto-solevykh shlamov, obrazuyushchikhsya pri proizvodstve kaliinykh udobrenii [Method of processing of clay-saline sludge formed in the production of potash], EA, Pat. 012304

3. Holmberg, K., Ijonsson, B., Kronberg, B. and Lindman, B. (2007) Poverkhnostno-aktivnye veshchestva i polimery v vodnykh rastvorakh [Surfactants and polymers in aqueous solutions], BINOM, Moscow, RU

4. Deryabina, S. S., Malysheva, Zh. N., Navrotskii, A. V., Moharam R. and Novakov, I. A. (2005) «Features of formation of the floccules and sediments in the presence of a binary poly-electrolytes mixture», Zhurnal prikladnoi khimii [Journal of Applied Chemistry], vol. 78, no. 7, pp. 1169–1173.

5. Ур'ев, Н. В. (1978) «Patterns of highly disperse systems structure formation under dynamic conditions», Kolloidnyi zhurnal [Colloid journal], vol. 60, no. 5, pp. 915–922.

6. Anan'ev, V. P. (2005) Inzhenernaya geologiya. Uchebnik dlya stroitel'nykh spetsial'nostei vuzov [Engineering geology for specialties of universities], Vysshaya Shkola, Moscow, RU

Информация об авторах

Лаевская Елена Васильевна – науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: layeuskaya@gmail.com.

Воробьева Елена Викторовна – д-р хим. наук, доцент, зав. лаб. полимерсодержащих дисперсных систем. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: evorobieva@igic.bas-net.by.

Крутько Николай Павлович – академик, д-р хим. наук, проф., ген. дир. ГНПО «Химические продукты и технологии» (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: krutko@igic.bas-net.by.

Воробьев Павел Дмитриевич – канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: pdvc@tut.by.

Чередниченко Денис Викторович – канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: cherednichenko_dv@tut.by.

Насковец Михаил Трофимович – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: naskovets@belstu.by.

Для цитирования

Структурообразование флокулированных полиакриламидом солевых дисперсий глины / Е. В. Лаевская [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2016. – № 4. – С. 102–109.

Information about the authors

Layeuskaya Elena Vasilevna – Scientific Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (Surganova str., 9/1, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: layeuskaya@gmail.com.

Vorobieva Elena Viktorovna – D. Sc. (Chemistry), Associate Professor, Head of the Laboratory of Polymer-Containing Disperse Systems. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (Surganova str., 9/1, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: evorobieva@igic.bas-net.by.

Krutko Nikolay Pavlovich – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor, Director General of the State Research and Production Association “Chemical Products and Technologies” (Surganova str., 9/1, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: krutko@igic.bas-net.by.

Vorobiov Pavel Dmitrievich – Ph. D. (Chemistry), Leading Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (Surganova str., 9/1, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pdvc@tut.by.

Cherednichenko Denis Viktorovich – Ph. D. (Chemistry), Leading Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (Surganova str., 9/1, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: cherednichenko_dv@tut.by.

Naskovets Michail Trofimovich – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of forest roads and the organization of wood removals. Belarusian State Technological University (Sverdlova str., 13a, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naskovets@belstu.by.

For citation

Layeuskaya E. V., Vorobieva E. V., Krutko N. P., Vorobiev P. D., Cherednichenko D. V., Naskovets M. T. Structurization of saline clay dispersions flocculated by polyacrylamide. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, chemical series, 2016, no. 4, pp. 102–109.