

Литейное производство

УДК 621.742.4

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ВЯЗКОСТЬ ВОДНО-ГЛИНИСТЫХ СУСПЕНЗИЙ ДЛЯ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЕЙ

Е.Г. Антошкина, В.А. Смолко

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Статья посвящена исследованию влияния частоты и времени ультразвуковой обработки на вязкость бентонитовых водно-глинистых суспензий. Объектом исследования являлась бентонитовая глина Зырянского месторождения Курганской области, на основе которой готовились водно-глинистые суспензии. Полученные суспензии исследовали на условную вязкость, для определения которой использовался вискозиметр ВЗ-2, и динамическую вязкость, которую определяли при помощи ротационного вискозиметра Brookfield Rheo V 2.8. При ультразвуковой обработке дисперсная система условно делится на четыре зоны: зону активного диспергирования твердой фазы, переходную зону, зону волновой и гидродинамической коагуляции и зону устойчивого структурно-реологического равновесия состояния твердой фазы раствора. Показано, что обработка глинистых суспензий ультразвуком вызывает в зависимости от продолжительности и мощности обработки как диспергирующее, так и агрегирующее действие. Ультразвуковая обработка в течение 15 мин приводит к снижению условной вязкости водно-глинистых суспензий из-за образования периодических коллоидных структур, после чего начинается процесс автокоагуляции. В результате ультразвукового воздействия полем 20 кГц на водно-глинистые суспензии зырянского бентонита в течение 1, 5 мин происходит уменьшение динамической вязкости вследствие диспергации частиц, а в результате ультразвукового воздействия полем 50 и 60 кГц на водно-глинистые суспензии зырянского бентонита в течение 1, 5 мин происходит увеличение динамической вязкости, что связано с коагуляцией частиц. Установлено, что устойчивость активированных коагуляционных систем к механическим нагрузкам значительно меньше, чем у исходных бентонитовых глин, что позволяет осуществить более равномерное распределение глинистых минералов по поверхности кварцевого песка и обеспечить увеличение количества когезионно-адгезионных контактов и повышение физико-механических свойств смесей при формообразовании.

Ключевые слова: водно-глинистая суспензия, ультразвуковая обработка, условная вязкость, динамическая вязкость.

Введение

Основным способом получения отливок в литейном производстве является литье в песчано-глинистые формы. В качестве связующего компонента таких формовочных смесей используются огнеупорные глины, которые в заводских условиях вводят как в сухом виде (порошки), так и в виде суспензий различной плотности. По сравнению с сухим способом ввода глины в формовочную смесь использование водно-глинистых суспензий является более эффективным ввиду большей степени набухания глины, меньшего расхода, сокращения времени реагирования с элементами формовочной смеси и экологически более безопасным при использовании.

Основным параметром, который следует учитывать при использовании водно-глинистых суспензий, является вязкость (условная, динамическая), а также ее изменение при приложении нагрузки при формообразовании.

Объект исследования.

Объектом исследования являлась бентонитовая глина Зырянского месторождения Курганской области марки ПТГА.

Целью настоящей работы было исследование влияния частоты и времени ультразвуковой обработки на вязкость водных суспензий бентонитов Зырянского месторождения для последующего получения глинистых суспензий в соответствии с требуемыми технологическими регламентами на применение растворов.

Экспериментальная часть

При ультразвуковой обработке дисперсной системы, в которой создается волновая картина, условно могут быть выделены четыре зоны. Первая зона – зона активного диспергирования твердой фазы, начинающаяся на поверхности излучателя волн и заканчивающаяся во второй переходной зоне, в которой наступает неустойчивое динамическое равновесие между процессами диспергирования и коагуляции. Третья зона – зона волновой и гидродинамической коагуляции. Четвертая зона – зона устойчивого структурно-реологического равновесия состояния твердой фазы раствора.

В зоне активного диспергирования основная роль в измельчении твердой фазы принадлежит кавитационным процессам. Диспергирование твер-

дых частиц в условиях кавитации сопровождается гидромеханическим и термическим разрушением их адсорбционно-сольватных слоев. Диспергирование глины в растворе происходит в основном по слабым местам – дефектам их кристаллических решеток. Во второй переходной и третьей зоне идет процесс волновой и гидродинамической коагуляции, при этом, чем выше концентрация твердой фазы в растворе, тем заметнее склонность частиц к сближению. Однако восстановление прежнего до диспергирования состояния полидисперсной системы вследствие коагуляции не происходит, так как фрагменты агрегатов и крупных частиц не восстанавливаются в единое целое, притянув на себя воду и образовав за счет более высокой удельной поверхностной энергии сольватную оболочку, имеющую монослой сильно связанной воды, которая не дает ван-дер-ваальсовым силам полностью сблизить мелкие частицы твердой фазы [1].

При обработке низкими частотами в докавитационной области до 20 кГц ультразвук увеличивает скорость коагуляции, а с повышением мощности способствует диспергированию [2]. В ультразвуковом поле малой мощности легкие дисперсные частицы следуют за средой, тогда как крупные частицы очень мало увлекаются жидкостью. Возникающий ортокинети́ческий эффект приводит к тому, что частицы в ультразвуковом поле различаются по амплитуде и фазе колебательного движения. В результате мелкие частицы, пронизывая среду, должны оказаться в поле действия молекулярных сил крупных частиц. Преодоление барьера отталкивания и коагуляции возможно лишь тогда, когда амплитуду колебания частиц можно сравнить с расстоянием между ними. В ультразвуковом поле потоки жидкости, обтекающие большую частицу, должны деформировать двойной электрический слой. Возникший индуцированный диполь с большим электрическим моментом способен поляризовать двойной электрический слой малой частицы. В этом случае в результате поляризационного взаимодействия увеличивается вероятность дальнейшей агрегации. Это наблюдается при использовании ультразвукового поля малой мощностью до 20 кГц [3].

При увеличении мощных ультразвуковых полей в дисперсных системах протекают разного рода изменения в жидкой среде, происходящие вследствие захлопывания и пульсирования кавитационных полостей, которые определяются совокупностью механических, тепловых, химических и электрических эффектов.

В объеме суспензии при обработке ультразвуковым полем возникают одномерные периодические коллоидные структуры (ПКС). Ультразвуковое поле может вызвать как деформацию двойного электрического слоя, так и поляризацию молекул жидкости вблизи поверхности раздела. Последнее

должно определить, с одной стороны, увеличение устойчивости к непосредственному слипанию микрообъектов, с другой – к проявлению электрических сил, обусловленных ориентацией дипольных молекул. Некоторые исследователи [3] предполагают наличие ориентационного эффекта в жидкости, обусловленного распределением ультразвуковой волны. В этом случае можно объяснить поглощение ультразвука периодической перегруппировкой ориентированных молекул.

В работе исследовались 5%-ные (по массе) водно-глинистые суспензии. Следует отметить, что для системы, в которой содержание бентонитовой глины составляет 5–10 % по массе, процесс образования суспензии протекает свободно и быстро, так как в данной системе достаточно свободной воды для взаимодействия с минералами глины при набухании.

Полученные суспензии исследовали на условную вязкость, для определения которой использовался вискозиметр ВЗ-2. Измерения динамической вязкости производились при помощи ротационного вискозиметра Brookfield Rheo V 2.8. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений динамической вязкости $\pm 1\%$. Скорость сдвига возрастала по определенному набору скоростей от 20 до 200 с^{-1} , после чего снижалась с 200 до 20 с^{-1} . Динамическая вязкость замерялась в момент смены скорости вращения. За результат испытания принимали среднее арифметическое результатов трех определений. Расхождение между результатами параллельных определений не превышало 5 %.

Ультразвуковую обработку проб суспензий проводили на установке Elmasonic S40/н с частотой ультразвука 37 кГц мощностью 340 Вт, а также на установке УЗГ-5М, позволяющей получать ультразвуковое поле с частотой 20, 50 и 60 кГц и мощностью 300 Вт. Излучателем в данном случае был электромеханический преобразователь с использованием ультразвукового стержневого концентратора. Время обработки варьировалось в течение 1, 5 и 15 мин.

Результаты исследований и обсуждение.

Экспериментальные данные, полученные при определении условной вязкости суспензии зрянковского бентонита, подвергнутой обработке ультразвуковым полем мощностью 37 кГц, показали, что облучение суспензии в течение 15 мин уменьшает условную вязкость в среднем с 52 до 42 с. Однако после обработки и выдержки в течение 24 ч, условная вязкость увеличивается на 4–5 %.

Диспергированные частички глины перераспределяются таким образом, что молекулярные связи, действующие между ними, усиливаются. Диспергирование замедляется, образуется ПКС. Начинается процесс укрупнения частиц или так называемой автокоагуляции, что ведет к повышению показателей условной вязкости.

Дальнейшая агрегация частиц ускоряется явлением реопексии за счет ультразвукового облучения. Существует определенная близость между реопексией, тиксотропным восстановлением и дилатансией (или квазидилатансией) [2].

Более высококонцентрированные водно-глинистые суспензии в исходном состоянии представляют собой пасты, поэтому измерение условной вязкости затруднено.

Экспериментальные данные, полученные при определении динамической вязкости водно-глинистых суспензий, представлены на рис. 1, 2, там же приведены уравнения регрессии и коэффициенты корреляции.

Экспериментально установлено, что ультразвуковая обработка полем частотой 20 кГц при

временных воздействиях 1, 5 мин приводит к уменьшению динамической вязкости исходной бентонитовой суспензии. Уменьшение вязкости под действием ультразвуковой обработки связано с эффективным диспергированием частиц бентонитовой глины Зырянского месторождения.

Зависимости динамической вязкости от скорости сдвига не выражены прямыми линиями, то есть зависимость нелинейна и не подчиняется закону Ньютона, из этого следует, что бентонитовые водно-глинистые суспензии являются неньютоновскими жидкостями. С увеличением скорости сдвига вязкость суспензий уменьшается, в то время как напряжение сдвига растет. Это означает, что характер течения суспензии является псевдопластическим.

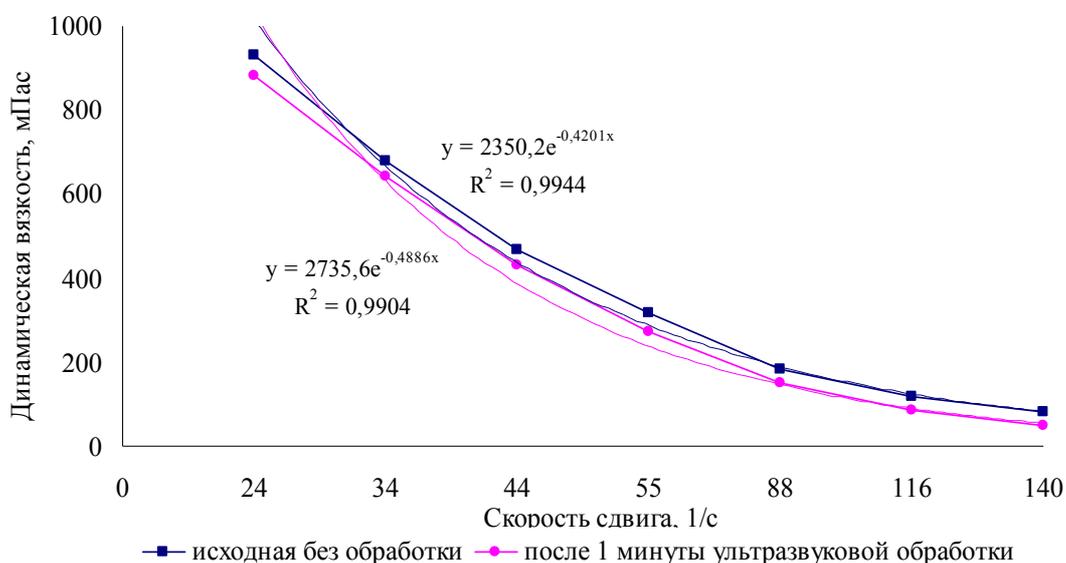


Рис. 1. Влияние скорости сдвига на динамическую вязкость водно-глинистой суспензии после обработки ультразвуковым полем частотой 20 кГц

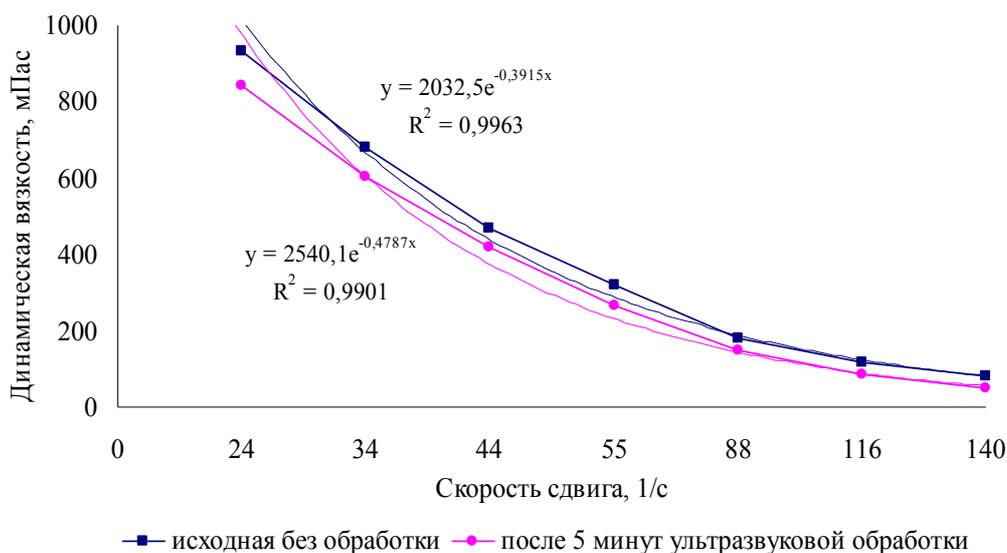


Рис. 2. Влияние скорости сдвига на динамическую вязкость водно-глинистой суспензии после обработки ультразвуковым полем частотой 20 кГц

Литейное производство

На графиках зависимости динамической вязкости от скорости сдвига (см. рис. 1, 2) видно, что при увеличении скорости сдвига до максимального значения достигается минимальная вязкость суспензий. Анализируя данные реологических исследований, можно отметить, что водно-глинистые суспензии являются тиксотропными жидкостями, что в свою очередь указывает на структурированную систему. Частицы дисперсной фазы образуют агрегаты, которые под действием нагрузки разрушаются, вследствие чего система обретает подвижность. В начальный момент времени система не разрушена, течение отсутствует. При приложении некоторого малого напряжения, необходимого для разрыва связей между элементами структуры, суспензия становится более подвижной, а в дальнейшем, по мере возрастания прило-

женной нагрузки, становится еще более текучей, вследствие чего динамическая вязкость снижается.

Также следует отметить, что ультразвуковая обработка водно-глинистых суспензий зырянского бентонита позволяет получить суспензии не только с более низкой вязкостью, но и значительно менее устойчивые к приложенной нагрузке.

На рис. 3, 4 представлены графики зависимости динамической вязкости от скорости сдвига при ультразвуковой обработке полем частотой 20, 50, 60 кГц.

Экспериментально установлено, что ультразвуковая обработка полем частотой 50, 60 кГц при временных воздействиях 1, 5 мин приводит к увеличению динамической вязкости исходной бентонитовой суспензии. Это объясняется тем, что увеличение мощности ультразвуковой обработки со-

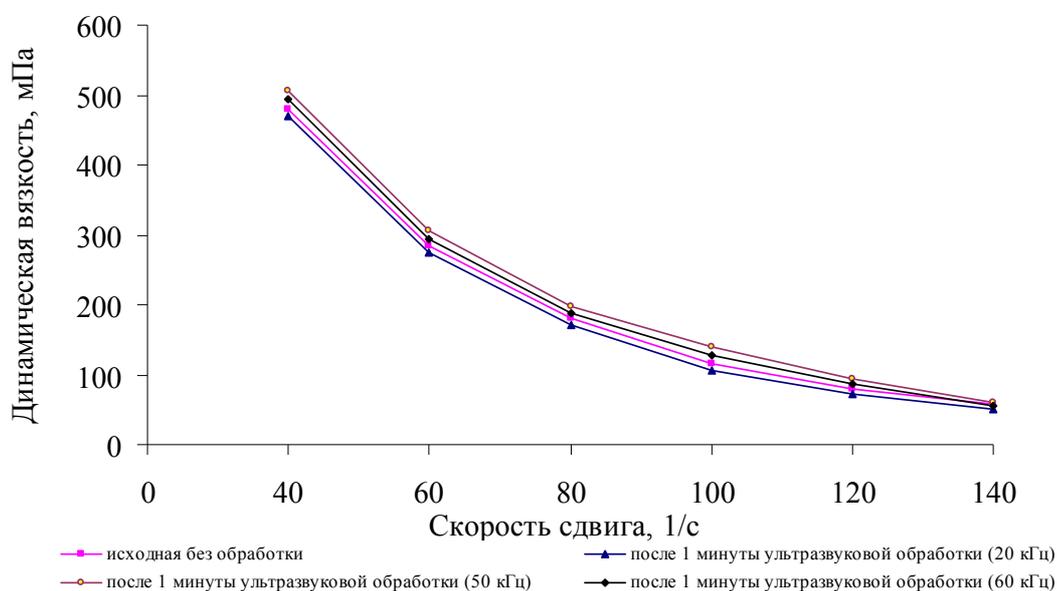


Рис. 3. Влияние скорости сдвига на динамическую вязкость водно-глинистой суспензии после обработки ультразвуковым полем частотой 20, 50, 60 кГц

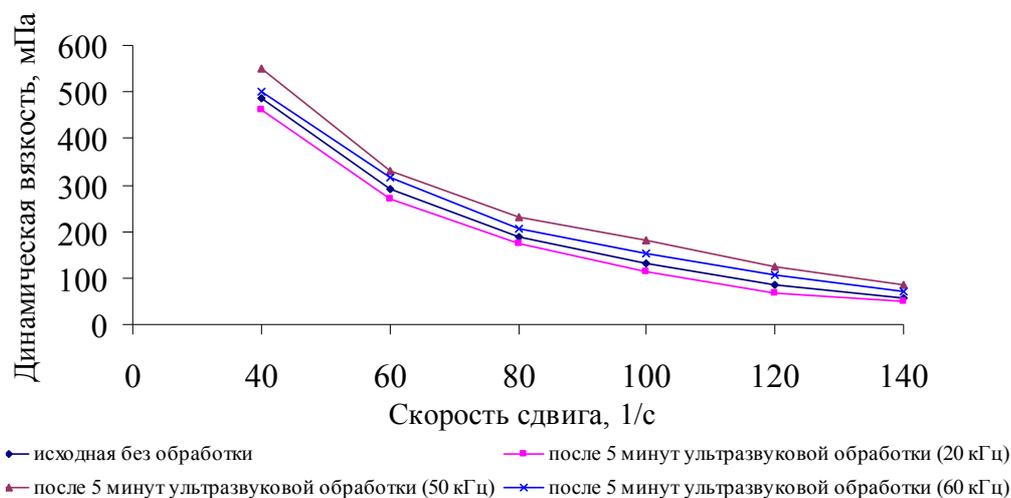


Рис. 4. Влияние скорости сдвига на динамическую вязкость водно-глинистой суспензии после обработки ультразвуковым полем частотой 20, 50, 60 кГц

проводится агрегацией диспергированных частиц системы. Коагуляционным явлениям способствует перестроение гидратных оболочек, нарушение сферической симметрии двойного электрического слоя вокруг отдельных частиц, появление дипольного момента. Вследствие этого отдельные частицы притягиваются друг к другу и за счет соударений под действием ультразвуковых волн образуют агрегаты частиц.

Следует отметить, что при увеличении мощности до 60 кГц наблюдается небольшое ухудшение процесса коагуляции. Это можно объяснить тем, что увеличение мощности приводит к постепенному кавитационному разрушению укрупнившихся частиц.

Выводы

1. Бентонитовые водно-глинистые суспензии являются тиксотропными неньютоновскими жидкостями с псевдопластическим характером течения.

2. Ультразвуковая обработка приводит к снижению условной вязкости свежеприготовленных суспензий из-за образования периодических коллоидных структур, после чего начинается процесс автокоагуляции. После 15 мин обработки ультразвуковым полем частотой 37 кГц условная вязкость уменьшается с 52 до 42 с.

3. Ультразвуковая обработка в зависимости от продолжительности обработки и мощности ультразвукового воздействия проявляет как диспергирующее, так и агрегирующее действие. В результате ультразвукового воздействия полем 20 кГц на водно-глинистые суспензии зырянского бентонита в течение 1, 5 мин происходит уменьшение динамической вязкости вследствие диспергации частиц.

Антошкина Елизавета Григорьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры неорганической химии, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; aeg-2007@mail.ru.

Смолко Виталий Анатольевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой неорганической химии, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; smolko-2007@mail.ru.

4. В результате ультразвукового воздействия полем 50, 60 кГц на водно-глинистые суспензии зырянского бентонита в течение 1, 5 минут происходит увеличение динамической вязкости, что связано с коагуляцией частиц. При увеличении мощности до 60 кГц наблюдается небольшое уменьшение процесса коагуляции, что объясняется кавитационным разрушением укрупнившихся частиц.

5. Устойчивость активированных коагуляционных систем к механическим нагрузкам значительно меньше, чем у исходных бентонитовых глин, что позволяет осуществить более равномерное распределение глинистых минералов по поверхности кварцевого песка и обеспечить увеличение количества когезионно-адгезионных контактов и повышение физико-механических свойств смесей при формообразовании.

Литература

1. Шамов, Н.А. Волновые процессы в технологии приготовления буровых растворов / Н.А. Шамов, В.Ю. Артамонов // Нефтегазовое дело. – 2013. – № 3. – С. 56–65. – <http://ogbus.ru/years/32013/>

2. Ефремов, И.Ф. Периодические коллоидные структуры / И.Ф. Ефремов. – Л.: Химия, 1971. – 192 с.

3. Вагнер, Г.Г. Формирование структур в силикатных дисперсиях / Г.Г. Вагнер, Ф.Д. Овчаренко. – Киев: Наукова Думка, 1989. – 184 с.

4. Ганиев, Р.Ф. Нелинейная волновая механика и технология. Волновые и колебательные явления в основе высоких технологий / Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский. – М.: Институт компьютерных исследований; Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. – 780 с.

Поступила в редакцию 15 декабря 2014 г.

INFLUENCE OF ULTRASONIC TREATMENT ON THE VISCOSITY OF AQUEOUS-CLAY SUSPENSIONS FOR SAND-CLAY MIXTURES

E.G. Antoshkina, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, aeg-2007@mail.ru, V.A. Smolko, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, smolko-2007@mail.ru

The article considers the influence of frequency and time of the ultrasonic treatment on viscosity of bentonite suspensions. The object of the study is the bentonite clay of Zyryanka deposit which was used as the base for water-clay suspensions. Suspensions were examined for conditional viscosity, which was determined by the viscometer VZ-2 and for the dynamic viscosity which was determined by the rotary viscometer Brookfield

Rheo V 2.8. In ultrasonic processing the dispersion system is divided into four zones, such as the zone of active dispersion of the solid phase, the transitional zone, the zone of wave and hydrodynamic coagulation and the zone of sustainable structural and rheological equilibrium state of the solid solution phase. It has been shown that the ultrasonic treatment of clay suspensions causes both dispersant and aggregated action depending on the processing time and power. It is established that water-bentonite clay suspensions are thixotropic non-Newtonian fluids with a pseudoplastic flow. Ultrasonic treatment during 15 minutes leads to the decrease of the relative viscosity of suspensions due to the formation of periodic colloidal structures, followed by the process of autoaggregation. Ultrasonic treatment by the field of 20 kHz during 1.5 minutes leads to the decrease of the dynamic viscosity of suspensions due to the particles dispersion. Ultrasonic treatment by the field of 50, 60 kHz during 1.5 minutes leads to the increase of the dynamic viscosity of suspensions due to particles coagulation. It is established that the stability of activated coagulation systems to mechanical stresses is much less than in original bentonite clays, which enables to realize more uniform distribution of clay minerals along the surface of the quartz sand and to provide the increase of a number of cohesive and adhesive contacts and the improvement of physical and mechanical properties of mixtures in the forming process.

Keywords: aqueous-clay suspension; ultrasonic treatment; conventional viscosity; dynamic viscosity.

References

1. Shamov N.A., Artamonov V.Yu. [Wave processes technology of preparation of drilling fluids. *Neftegazovoe delo*, 2013, no. 3, pp. 56–65, available at: <http://ogbus.ru/years/32013/>.
2. Efremov I.F. *Periodicheskie kolloidnye struktury* [Periodic Colloidal Structures]. Leningrad, Khimiya Publ., 1971. 192 p.
3. Wagner G.G., Ovcharenko F.D. *Formirovanie struktur v silikatnykh dispersiyakh* [Structure Formation in Silicate Dispersions]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1989. 184 p.
4. Ganiev R.F., Ukrainskiy L.E. *Nelineynaya volnovaya mekhanika i tekhnologii. Volnovye i kolebatel'nye yavleniya v osnove vysokikh tekhnologiy* [Nonlinear Wave Mechanics and Technology. Wave and Vibrational Phenomena in the High-Tech]. Moscow, Regul'yarnaya i Khaoticheskaya Dinamika Publ., 2011. 780 p.

Received 15 December 2014

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Антошкина, Е.Г. Влияние ультразвуковой обработки на вязкость водно-глинистых суспензий для песчано-глинистых смесей / Е.Г. Антошкина, В.А. Смолко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 11–16.

REFERENCE TO ARTICLE

Antoshkina E.G., Smolko V.A. Influence of Ultrasonic Treatment on the Viscosity of Aqueous-Clay Suspensions for Sand-Clay Mixtures. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 11–16. (in Russ.)