

## 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, 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 в сухом виде (порошки), а также 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, сокра-

щения 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 П1Т1А.

\* Данная статья была опубликована в журнале «Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2015. Т. 15, № 1. С. 11–16. По техническим причинам была допущена ошибка в списке цитируемой литературы. В данном номере публикуются исправленная версия статьи.

**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 твердых 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 ортокинетический 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 – проявлению электрических сил, обусловленных ориентацией дипольных молекул. Некоторые исследователи [3, 4] 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,

## Литейное производство

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  $140\text{ с}^{-1}$ . Динамическая вязкость замерялась в момент смены скорости вращения. За результат испы-

тания 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 электро-механический преобразователь с использованием ультразвукового стержневого концентратора. Время обработки варьировалось в течение 1, 5 и 15 мин.

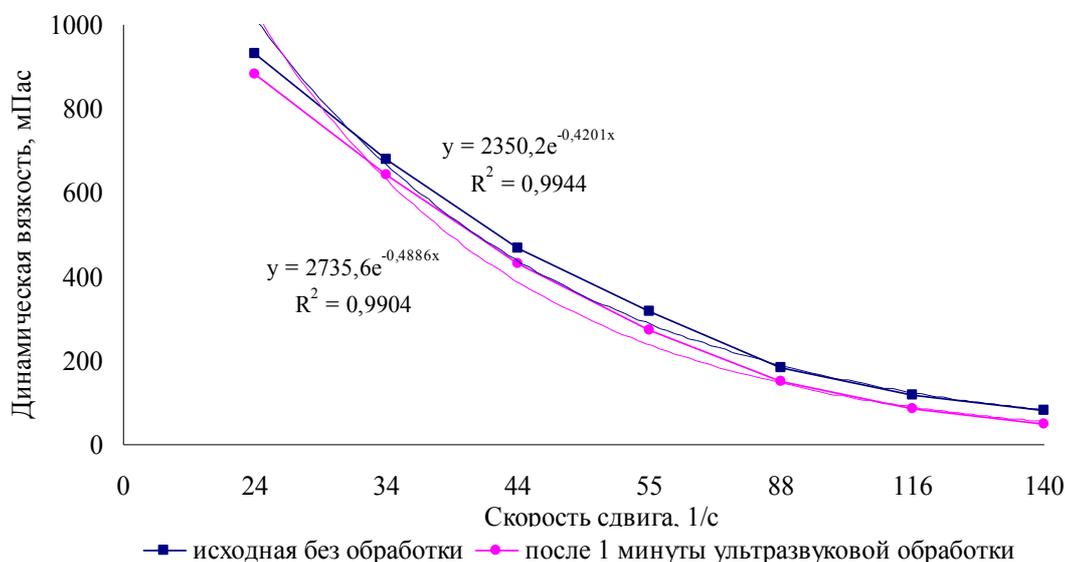


Рис. 1. Влияние скорости сдвига на динамическую вязкость водно-глинистой суспензии после обработки ультразвуковым полем частотой 20 кГц

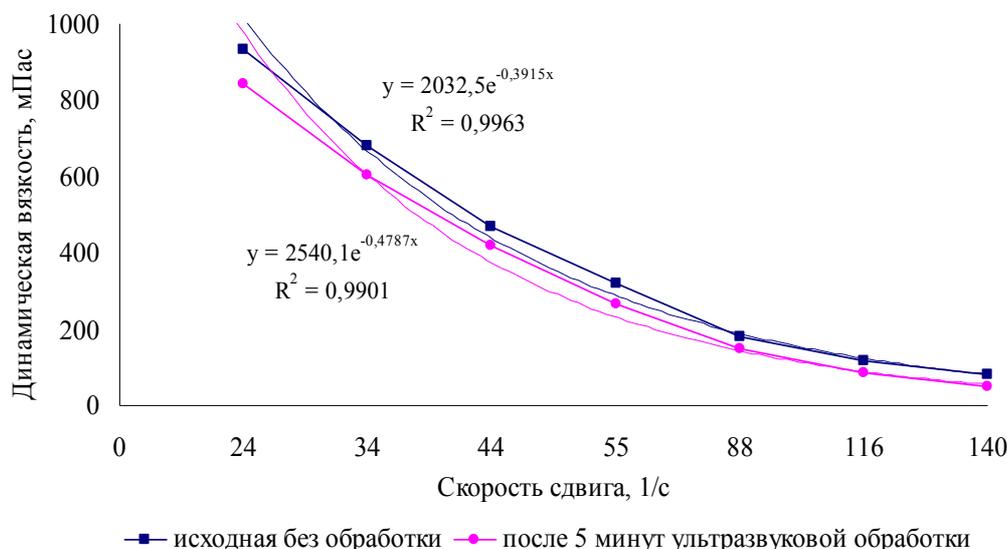


Рис. 2. Влияние скорости сдвига на динамическую вязкость водно-глинистой суспензии после обработки ультразвуковым полем частотой 20 кГц

**Результаты исследований и обсуждение**

Экспериментальные данные, полученные при определении условной вязкости суспензии зырянского бентонита, подвергнутой обработке ультразвуковым полем (УЗП) 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 %.

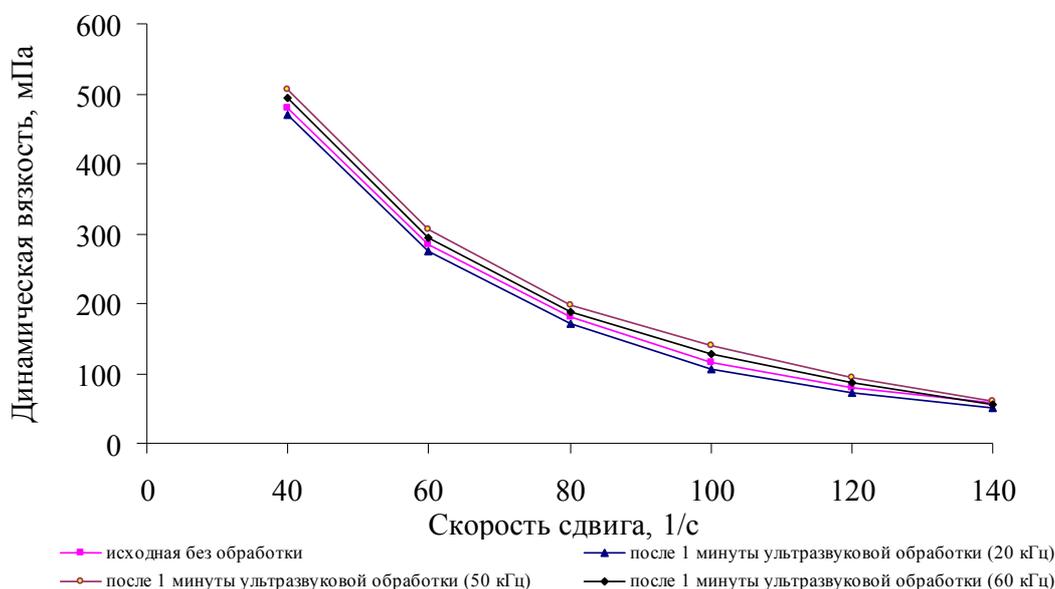
Диспергированные частички глины перераспределяются таким образом, что молекулярные связи, действующие между ними, усиливаются. Диспергирование замедляется, образуется ПКС. Начинается процесс укрупнения частиц или так называемой автоагглю-

ляции, что ведет к повышению показателей условной вязкости.

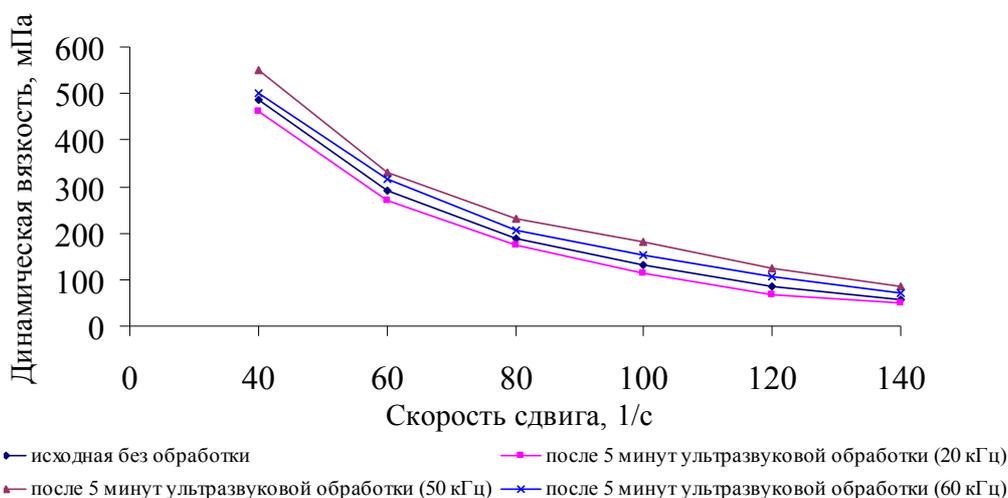
Дальнейшая агрегация частиц ускоряется явлением реопексией за счет ультразвукового облучения. Существует определенная близость между реопексией, тиксотропным восстановлением и дилатансией (или квазидилатансией) [2].

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.



**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

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 (см. рис. 1, 2) не линейны, не подчиняются закону Ньютона и описываются экспоненциальной зависимостью  $y = ae^{bx}$ , без разрывов, а также дифференцируемы во всем исследуемом интервале частот ультразвукового поля.

Водно-глинистые суспензии зырянского бентонита являются структурируемыми тиксотропными системами [5, 6]. Под влиянием УЗП частицы бентонита участвуют в относительном броуновском (или колебательном) движении, что позволяет осуществить переход структурированной системы в бесструктурную, либо в слабо структурированную систему. При этом ультразвуковая обработка водно-глинистых суспензий зырянского бентонита позволяет получить суспензии не только с более низкой вязкостью, но и значительно менее устойчивые к приложенной нагрузке [7].

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 сопровождается 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. Полученные экспериментальные данные и зависимости подтверждают, что в исследуемом интервале частот водные коллоидные растворы зырянского бентонита после их обработки ультразвуковым полем являются тиксотропными системами.

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.

4. В результате ультразвукового воздействия полем 50, 60 кГц на водно-глинистые суспензии зырянского бентонита в течение 1, 5 мин 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. Шапов, Н.А. Волновые процессы в технологии приготовления буровых растворов / Н.А. Шапов, В.Ю. Артамонов // *Электронный научный журнал «Нефтегазовое производство»*. – 2013. – № 3. – С. 56–65.

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.: Ин-т компьютер. исследований; Науч.-издат. центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. – 780 с.

5. Овчинников, П.Ф. Реология тиксотропных систем / П.Ф. Овчинников, Н.Н. Круг-

лицкий, Н.В. Михайлов. – Киев: Наукова Думка, 1972. – 120 с.

6. Влияние углекислого реагента на вязкость водно-глинистых суспензий для песчано-глинистых смесей / Н.А. Кидалов, Н.А. Осипова, А.В. Князева, М.П. Токарь // Литейное производство. – 2013. – № 9. – С. 27–29.

7. Князева, А.С. Разработка и промышленное применение бентонитовых водно-глинистых суспензий улучшенной технологичности для производства стального литья: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / Анна Сергеевна Князева; ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. – 138 с.

**Антошкина Елизавета Григорьевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; antoshkinaeg@susu.ru.

**Смолко Виталий Анатольевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; smolkova@susu.ru.

*Поступила в редакцию 8 апреля 2017 г.*

DOI: 10.14529/met170204

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

**E.G. Antoshkina**, antoshkinaeg@susu.ru,

**V.A. Smolko**, smolkova@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article considers the influence of the frequency and time of the ultrasonic treatment on the viscosity of the bentonite suspensions. The object of the study is the bentonite clay of Zyryansk deposit; on the basis of it water-clay suspensions were prepared. The suspensions were examined for conditional viscosity, which was determined by the viscometer VZ-2 and for the dynamic viscosity which was determined by using the rotary viscometer Brookfield Rheo V 2.8. In processing the dispersion system is divided into four zones: the zone of active dispersion of the solid phase, the transitional zone, wave and hydrodynamic coagulation zone and sustainable structural and rheological equilibrium state of the solid solution phase. It has been shown that the treatment of clay suspensions by the ultrasonic treatment depending on the time and processing power causes both dispersant and aggregated action. It is established that the water-bentonite clay suspensions are the thixotropic non-Newtonian fluids with pseudoplastic flow. The ultrasonic treatment during 15 minutes leads to the decrease in the relative viscosity of the suspensions by reason of formation of the periodic colloidal structures, after which the process of the autocoagulation begins. The ultrasonic treatment by field of 20 kHz during 1, 5 minutes leads to the decrease in the dynamic viscosity of the suspensions by reason of dispersion of the particles. The ultrasonic treatment by field of 50, 60 kHz during 1, 5 minutes leads to the increase in the dynamic viscosity of the suspensions by reason of coagulation of the particles. It is established that the stability of the activated coagulation system to mechanical

stress is considerably smaller than the original bentonite clays that allows to realize for more uniform distribution of the clay minerals over the surface of the quartz sand and provides increasing the number of the cohesive and adhesive contacts and improving the physical and mechanical properties of the mixtures in forming.

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

### References

1. Shamov N.A., Artamonov V.Yu. [Wave Processes Technology of Preparation of Drilling Fluids]. *Neftgazovoe proizvodstvo*, 2013, no. 3. Available at: <http://ogbus.ru> (accessed 8 April 2017)
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* [Structures Formation in Silicate Dispersions]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1989. 184 p.
4. Ganiev R.F., Ukrainskiy L.E. *Nelineynaya volnovaya mekhanika i tekhnologiya. Volnovye i kolebatel'nye yavleniya v osnove vysokikh tekhnologiy* [Nonlinear Wave Mechanics and Technology. Wave and Vibrational Phenomena in the High-Tech]. Moscow, Institute of Computer Science; Regular and Chaotic Dynamics Publ., 2011. 780 p.
5. Ovchinnikov P.F., Kruglitskiy N.N., Mikhailov N.V. *Reologiya tiksotropnykh sistem* [Rheology of Thixotropic Systems]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1972. 120 p.
6. Kidalov N.A., Osipova O.N., Knyazeva A.V., Turner M.P., [Effect of an Alkali-Based Reagent on the Viscosity of Water-Clay Suspensions for Sandy-Clay Mixtures]. *Liteynoe proizvodstvo*, 2013, no. 9, pp. 27–29. (in Russ.)
7. Knyazeva A.S. *Razrabotka i promyshlennoe primeneniye bentonitovykh vodno-glinistykh suspenziy uluchshennoj tekhnologichnosti dlya proizvodstva stal'nogo lit'ya*. Kand. Diss. [Development and Industrial Application of Bentonite Water-Clay Suspensions of Improved Processability for the Production of Steel Castings. Cand. Diss.]. Nizhny Novgorod, 2014. 138 p.

*Received 8 April 2017*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

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». – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 34–40. DOI: 10.14529/met170204

### FOR CITATION

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*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 34–40. (in Russ.) DOI: 10.14529/met170204