

УДК 532.133

DOI 10.18101/2306-2363-2018-2-3-45-49

СДВИГОВЫЕ ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА БУРОВОГО РАСТВОРА (БЕНТОНИТА)

© **Макарова Дагзама Николаевна**

научный сотрудник,

Институт физического материаловедения СО РАН

670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

E-mail: dagzama@mail.ru

© **Есипов Игорь Борисович**

доктор физико-математических наук, профессор,

Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина

119991, г. Москва, Ленинский пр., 65

E-mail: igor.esipov@mail.ru

В работе экспериментально исследован комплексный модуль упругости бурового раствора бентонита марки ПБМВ на ротационном реометре. Получены зависимости комплексного модуля сдвига от времени, амплитуды деформации и температуры. Полученные результаты дают основу для определения характеристик медленной кинетики вязкоупругих модулей исследованной среды и определить процесс медленной релаксации комплексного параметра нелинейности, соответствующего уравнению состояния вязкоупругой среды.

Ключевые слова: буровые растворы; бентонит; модуль сдвига; реология; амплитуда; деформация; вязкоупругость.

Вязкоупругими свойствами обладает широкий класс жидкостей, меняющих свою вязкость при изменении сдвиговых напряжений, например, растворы полимеров, биологические жидкости, среды с дисперсной фазой, нефть. Знание о характере нелинейного взаимодействия упругих волн представляется существенным для развития представлений о процессах, сопровождающих применение современных акустических технологий для интенсификации динамических процессов в вязкоупругих жидкостях. Разведка месторождения полезных ископаемых, нефти, газа, подземных вод и глубинных геологических исследований связана с бурением скважин различной глубины. Для эффективного, экономичного и безопасного процесса бурения используются буровые растворы. Буровой раствор — сложная многокомпонентная дисперсная система суспензионных и аэрированных жидкостей применяемых для промывки скважин в процессе бурения. Он удаляет выбуренную породу из скважины, предотвращает осыпи, обвалы, создает противодействие пороговому давлению, охлаждает и смазывает буровые инструменты. В зависимости от местных геологических условий и способов бурения применяются различные по составу буровые растворы. На практике широко используется в качестве бурового раствора бентонит.

В работе приводятся результаты экспериментального исследования комплексного модуля сдвига бентонита (бурового раствора). Бентонит является коллоидной суспензией минеральной глины в воде. При концентрации в несколько процентов электростатическое и Ван-дер-Ваальсово взаимодействие приводит к

образованию тиксотропического геля. При этом резко изменяются реологические параметры коллоидной суспензии. Такие свойства бентонита делают его важным компонентом буровых растворов, фармацевтических продуктов, производства бумаги и пр. Эффективность применения буровых растворов зависит в основном от их реологических свойств: вязкость, модуль сдвига, статическое напряжение сдвига, а также структурная однородность, тиксотропность, плотность и водоотдача. В этой связи возникает проблема знания поведения бентонита в различных условиях. Нами проведено исследование релаксационных свойств бентонита наиболее типичной концентрации 10% в широком диапазоне частот (0.05-1 Гц) и амплитуд гармонического воздействия.

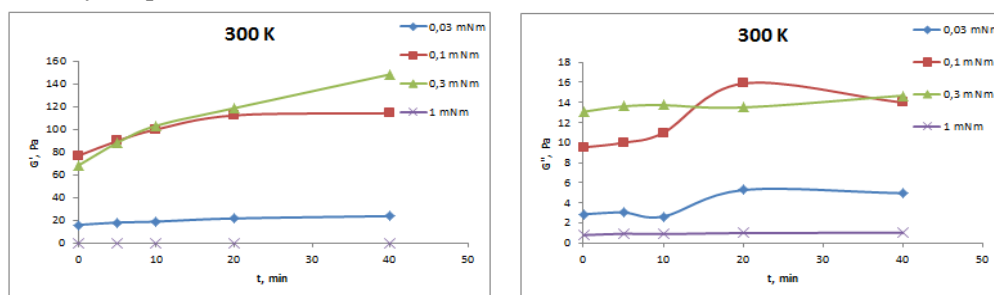


Рис. 1. Зависимости G' и G'' от времени при температуре 300 К для модели бурового раствора ПБМВ при разных моментах вращения.

В упругих средах напряжение сдвига σ пропорционально сдвиговой деформации ϵ , в вязких жидкостях величина σ будет пропорциональна скорости сдвиговой деформации $\dot{\epsilon}$.

Пусть деформация изменяется по гармоническому закону $\epsilon(t) = \epsilon_0 e^{i\omega t}$, где ϵ_0 — амплитуда гармонических колебаний деформации и ω — частота осцилляций. Объединяя вклады упругой и вязкой составляющих, запишем уравнение состояния для вязкоупругой среды при осциллирующих деформациях в виде

$$\sigma(t) = G'\epsilon + \mu\dot{\epsilon} = (G' + i\omega\mu)\epsilon = (G' + iG'')\epsilon \quad (1)$$

где G' — модуль упругости, характеризует упругую часть модуля сдвига, а G'' — модуль потерь, μ — вязкость. G'' определяет вязкую часть модуля сдвига. Вместе они составляют комплексный модуль сдвига $G^* = G' + iG''$

Исследования реологических характеристик бентонита выполнялись на ротационном реометре с использованием системы «конус–плоскость» [1-4]. Угол между образующей конуса и плоскостью измерений составлял 5° , диаметр конуса 36 мм. Сущность ротационной вискозиметрии состоит в установлении связи между крутящим моментом и углом вращения одной из измерительных поверхностей. Затем полученные значения крутящего момента и угла вращения пересчитываются в измеряемые значения вязкоупругих модулей сдвига G' , G'' . Система, состоящая из осциллирующего конуса и плоскости, обеспечивает постоянство деформации исследуемого образца по всему объему. В самом деле: величина смещения среды растет пропорционально расстоянию от оси вращения конуса, и толщина слоя деформируемой жидкости возрастает таким же образом. Благодаря использованию системы конус–плоскость все элементы среды в про-

цессе измерений испытывали одинаковые деформации. Нами получено, что буровой раствор ПБМВ меняет свои упругий и вязкий модули сдвига во времени. На рис. 1 показаны зависимости упругого модуля G' и модуля потерь G'' от времени при разных моментах вращения при $T = 300$ К.

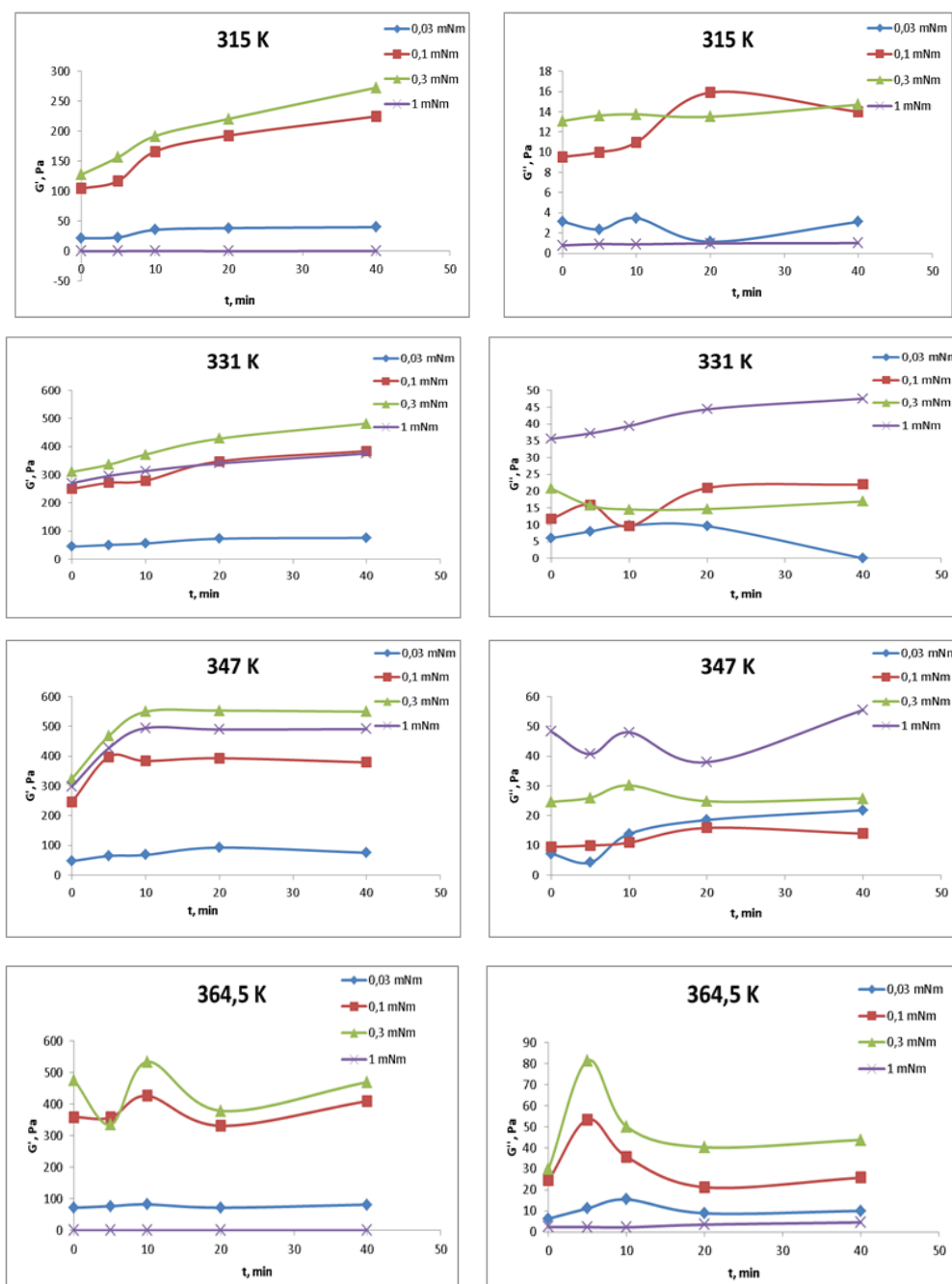


Рис. 2. Зависимости G' и G'' от времени для модели бурового раствора ПБМВ при разных температурах

Видно, что упругий модуль монотонно возрастает со временем при малых амплитудах гармонического возмущения. При этом упругий модуль G' . Это свидетельствует о том, что исследованная среда обладает свойством упругого тела. С ростом амплитуды возмущений упругость среды падает существенно быстрее, чем потери среды, что свидетельствует о жидком состоянии бентонита в этих условиях. Исследован процесс медленной кинетики упругого модуля и модуля потерь в зависимости от температуры (рис. 2). Видно, что с увеличением температуры как упругий G' , так и модуль потерь G'' увеличиваются.

Последние теоретические и экспериментальные исследования коллоидных суспензий [4–8] и буровых растворов [9–11] показывают сильную зависимость их реологических параметров от концентрации нановключений.

Полученные результаты дают основу для определения характеристик медленной кинетики вязкоупругих модулей исследованной среды и определить процесс медленной релаксации комплексного параметра нелинейности, соответствующего уравнению состояния вязкоупругой среды.

Литература

1. Гришаев В. В., Есипов И. Б., Миронов М. А. Медленная релаксация вязкоупругих модулей нефти // Изв. РАН. Серия физическая. 2015. Т. 79, № 10. С. 1456–1460.
2. Есипов И. Б., Зозуля О. М., Миронов М. А. Медленная кинетика нелинейности вязкоупругих свойств нефти при сдвиговых колебаниях // Акустический журнал. 2014. Т. 60, № 2. Р. 166–172.
3. Миронов М. А., Шеломихина И. А., Зозуля О. М., Есипов И. Б. Медленная кинетика вязкоупругих свойств нефти при низкочастотных сдвиговых колебаниях // Акустический журнал. 2012. Т. 58, № 1. С. 132–140.
4. Рудяк В. Я., Белкин А. А. Моделирование коэффициентов переноса наножидкостей // Наносистемы: физика, химия, математика. 2010. № 1(1). С. 156–177.
5. Рудяк В. Я., Белкин А. А., Егоров В. В. Об эффективной вязкости наносуспензий // Журнал технической физики. 2013. № 39 (17). С. 53–60.
6. Dembelova T. S., Makarova D. N., Badmaev B. B., Damdinov B. B. Shear elasticity of thin layers of colloid suspensions of nanoparticles // Conf. Programme and Book of Abstracts of the XVI-th Intern. Conf. Surface Forces. Kazan. 2018. P. 45.
7. Макарова Д. Н., Дембелова Т. С., Бадмаев Б. Б., Гулгенов Ч. Ж. Исследование коллоидных суспензий наночастиц акустическим резонансным методом // Новые материалы. 2018. С. 254–256.
8. Бадмаев Б. Б., Дембелова Т. С., Макарова Д. Н., Гулгенов Ч. Ж. Сдвиговая упругость и прочность структуры жидкости на примере диэтиленгликоля // ЖТФ. 2017. Т. 87, № 1. С. 18–21.
9. Samsuri A., Hamzah A. Water based mud lifting capacity improvement by multiwall carbon nanotubes additive // J. of Petroleum and Gas Engineering. 2011. № 2 (5). P. 99–107.
10. Ismail A. R., Rashid N. M., Jaafar M. Z., Sulaiman W. R., Buyang N. A. Effect of nanomaterial on the rheology of drilling fluids // J. of Applied Sciences. 2014. № 14 (12). P. 1192–1197.
11. Redden J. Advanced fluid systems aim to stabilize well bores // Minimize nonproductive time. The American oil & gas reporter. 2009. № 52 (8). P. 58–65.

SHEAR VISCOELASTIC PROPERTIES OF DRILLING MUD (BENTONITE)

Dagzama N. Makarova

researcher

Institute of Physical Materials Science SB RAS

6 Sakhyanova Str., Ulan-Ude, 670047, Russia

E-mail: dagzama@mail.ru

Igor B. Esipov

Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor

National University of Oil and Gas after I.M. Gubkin

65, Leninsky pr., Moscow, 119991, Russia

E-mail: igor.esipov@mail.ru

The complex modulus of elasticity of pbmv grade bentonite drilling mud on a rotational rheometer is experimentally investigated. The dependences of the complex shear modulus on time, strain amplitude, and temperature are obtained. The obtained results provide a basis for determining the characteristics of the slow kinetics of viscoelastic modules of the investigated medium and determine the process of slow relaxation of the complex nonlinearity parameter corresponding to the equation of state of the viscoelastic medium.

Keywords: drilling fluids, bentonite, shear modulus, rheology, amplitude, deformation, viscoelasticity.