

03

Экспериментальное исследование влияния добавки наночастиц на фильтрационные свойства микросуспензии

© А.В. Минаков^{1,2}, Е.И. Михиенкова¹, В.А. Жигарев¹,
А.Л. Неверов¹

¹ Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

² Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: tov-andrey@yandex.ru

Поступило в Редакцию 1 февраля 2018 г.

Представлены результаты экспериментальных исследований фильтрации микросуспензий с добавками наночастиц оксида кремния через пористую среду с различной проницаемостью. Концентрация частиц в растворах варьировалась от 0.25 до 4 mass %. Размер частиц варьировался от 5 до 100 nm. Установлены зависимости фильтрационных потерь микросуспензий от концентрации и размера наночастиц, а также от проницаемости пористой среды.

DOI: 10.21883/PJTF.2018.12.46292.17232

В процессе бурения нефтяных и газовых скважин буровой раствор может уходить в породу через стенки скважины. Это явление называют фильтрационными потерями. При этом происходит потеря бурового раствора (поглощение), что увеличивает затраты на строительство скважин. Одновременно с этим фильтрационные потери бурового раствора в пласт являются одной из основных причин образования трещин и нарушения устойчивости ствола скважины. Для ликвидации этих явлений применяют разнообразные способы упрочнения стенок скважины. Как правило, используют различные дисперсные (1–100 μm) наполнители буровых растворов, которые могут проникать в породу и закупоривать ее. Однако использование в качестве наполнителей микрочастиц оказывается совершенно неэффективным в породах с низкой проницаемостью (например, Баженовская свита), где размеры пор не превышают 0.1–1 μm . В связи этим в последнее время по-

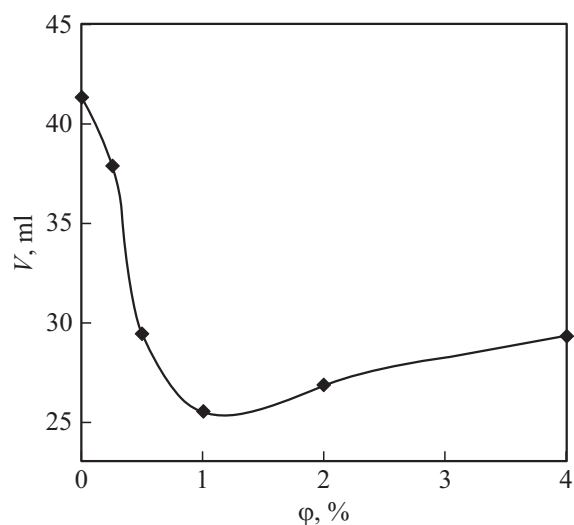


Рис. 1. Зависимость фильтрационных потерь от концентрации наночастиц.

явились исследования, в которых в качестве понизителей фильтрации используются суспензии наноразмерных частиц [1–7]. Так, в работе [4] было показано, что добавка 2 mass % наночастиц в буровой раствор обеспечивает снижение фильтрационных потерь на 22% для наночастиц Al_2O_3 и на 38% для наночастиц TiO_2 . В [5] сообщается о десятикратном уменьшении фильтрации бурового раствора после добавки 0.2 mass % наночастиц TiO_2 . Между тем имеются работы, в которых отмечается ухудшение фильтрационных свойств буровых растворов после добавления наночастиц [6,7]. Таким образом, в этой области есть еще много вопросов, требующих более детальных исследований.

В настоящей работе проведено систематическое исследование влияния концентрации и размеров наночастиц на фильтрационные свойства буровых растворов.

В качестве базовой модели бурового раствора использовалась водная суспензия глины (ПБМА, Черногорское месторождение Красноярского края) с добавкой порошка нитрида алюминия (AlN марки А180, ООО „ПЛАТИНА“) со средним размером частиц $1.2 \mu\text{m}$. Массовая концентрация частиц глины 5%. Массовая концентрация микропорошка

нитрида алюминия была равна 2 mass%. Далее в приготовленную микросуспензию вводилось необходимое количество заранее приготовленной наносуспензии. Для приготовления наносуспензии использовался стандартный двухшаговый метод [8]. В качестве наночастиц в работе рассмотрены частицы оксида кремния (Aerosil). Концентрация наночастиц φ в растворах варьировалась от 0.25 до 4 mass%. Размер наночастиц d варьировался от 5 до 100 nm. Результаты измерения реологии созданных растворов представлены в работе [9]. Исследование фильтрации рассматриваемых суспензий проведено на керамических фильтрах компании OFITE. Фильтр представляет собой цилиндрический диск из прессованного песчаника диаметром 63.5 mm и высотой 6.4 mm. Средний размер пор исследуемых керамических дисков D варьировался в диапазоне от 3 до 35 μm . Такой размер пор соответствовал изменению проницаемости пористой среды фильтров от 1.35 до 14.97 darcy. Для исследования фильтрации микросуспензий был использован фильтр-пресс OFITE НРНГ 171-01. Эксперимент проводился следующим образом. В пресс-фильтр помещалось 400 ml исследуемой суспензии. Далее к суспензии прикладывалось давление 100 atm, и она фильтровалась через соответствующий керамический диск. При этом, согласно стандарту API (Американский нефтяной институт), измерялся объем отфильтрованной жидкости V за время, равное 30 min. Объем просочившейся за это время через фильтр жидкости называют фильтрационными потерями. Каждый эксперимент повторялся по три раза. Разброс данных по трем измерениям не превышает 5%.

Сначала было исследовано влияние концентрации наночастиц. Зависимость от концентрации наночастиц оксида кремния со средним размером частиц 5 nm объема суспензии, профильтрованной через керамический фильтр с размером пор 20 μm , приведена на рис. 1. Как видно, добавление наночастиц в буровой раствор значительно влияет на величину фильтрационных потерь. При этом зависимость от концентрации имеет немонотонный характер. Максимальное снижение фильтрационных потерь в 1.7 раза наблюдается для массовой концентрации наночастиц 1%. Дальнейшее увеличение концентрации наночастиц нецелесообразно, поскольку приводит к росту фильтрационных потерь, хотя и незначительному. При этом следует отметить, что добавка наночастиц оказывает влияние на структуру и толщину образующейся на поверхности фильтра корки. Для раствора без добавки наночастиц как таковой корки не образуется. На поверхности фильтра остается рыхлая глинистая масса толщиной около 1 см. Добавление

наночастиц приводит к образованию довольно плотной и однородной корки толщиной 2–3 мм. Адгезия корки к фильтру высокая. С увеличением концентрации наночастиц толщина этой корки уменьшается. В работе [3] выдвинута следующая гипотеза, объясняющая физический механизм снижения фильтрационных потерь при добавлении наночастиц в буровой раствор: при отсутствии наночастиц на поверхности фильтра образуется легкопроницаемая фильтрационная корка из микроскопических частиц стандартного понизителя фильтрации и частиц глины. Добавка наночастиц приводит к тому, что наночастицы заполняют поры в фильтрационной корке и делают ее более плотной и плохо проницаемой. Качественно результаты, полученные в нашей работе, подтверждают эту гипотезу. Однако экспериментально измерить проницаемость корок после фильтрации не представляется возможным. После высыхания они растрескиваются.

Далее было проведено исследование влияния размера наночастиц. Зависимость фильтрационных потерь для фильтра с размером пор $20\ \mu\text{m}$ от среднего размера наночастиц при концентрации 2 mass% приведена на рис. 2, а. Установлено, что размер наночастиц также оказывает значительное влияние на фильтрационные потери бурового раствора. С уменьшением размера наночастиц фильтрационные потери монотонно снижаются. При этом видно, что частицы размером крупнее 50 nm практически не оказывают никакого влияния на фильтрацию суспензии. Анализ корок, образующихся на поверхности керамических фильтров, показал, что при размерах наночастиц, меньших 40 nm, корки тонкие (2–3 мм) и относительно прочные. При размерах наночастиц, больших 50 nm, корки более толстые и рыхлые. С уменьшением размера наночастиц толщина корки в целом уменьшается.

Кроме того, впервые было исследовано влияние проницаемости фильтра на фильтрацию буровых растворов с наночастицами. Для этого была проведена серия измерений на керамических фильтрах с размером пор от 3 до $35\ \mu\text{m}$. Результаты экспериментов приведены на рис. 2, б. В качестве добавки в буровой раствор использовались наночастицы SiO_2 со средним размером 5 nm и концентрацией 2 mass%. Видно, что с увеличением размера пор фильтра закономерно возрастают фильтрационные потери как для стандартного, так и для модифицированного раствора. При этом для всех размеров пор добавка наночастиц приводит к значительному снижению фильтрационных потерь. Особенно эффективна добавка наночастиц для плохо проницаемых кернов

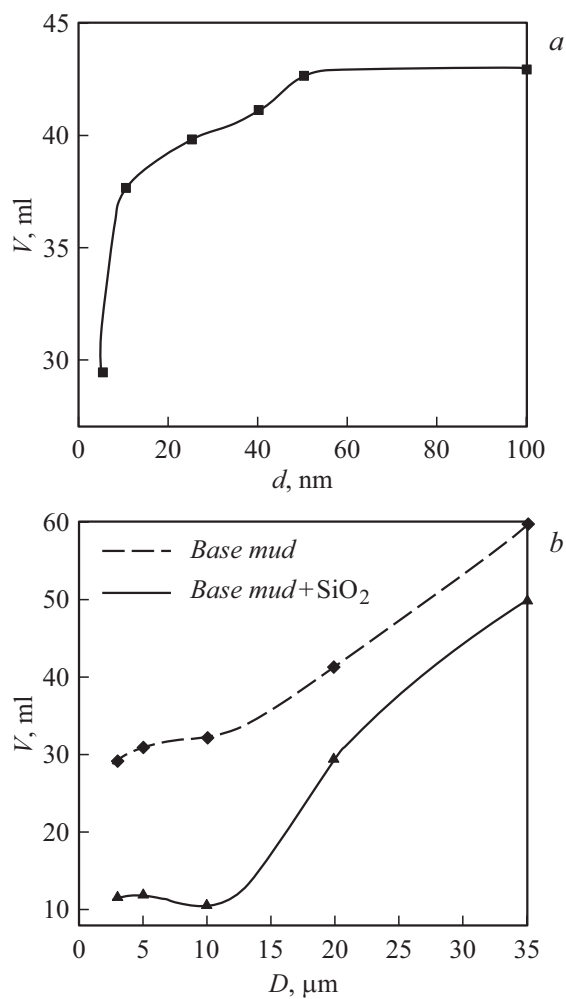


Рис. 2. Зависимость фильтрационных потерь от среднего размера наночастиц (а) и от размера пор керамических фильтров (б).

с размерами пор меньше $10 \mu\text{m}$. Здесь было получено практически трехкратное уменьшение скорости фильтрации по сравнению с базо-

вым раствором. Кроме того, в этой области фильтрационные потери модифицированного раствора слабо зависят от проницаемости породы. Это очень важно для практического применения. Анализ показал, что на поверхности плохо проницаемых фильтров образуется очень плотная корка толщиной 1–2 мм. С увеличением размера пор эффективность добавки наночастиц снижается. Так, для пор со средним размером 35 мкм снижение фильтрационных потерь составляет около 30%, что также можно считать хорошим результатом.

Таким образом, в работе проведено систематическое исследование влияния добавки наночастиц на фильтрационные потери буровых растворов на водной основе. Показано, что добавление наночастиц в буровой раствор значительно снижает фильтрационные потери даже при малых концентрациях. При этом указанное влияние зависит не только от концентрации, но и от размера наночастиц и наиболее существенно для пород с низкой проницаемостью. Это открывает широкие перспективы применения наночастиц для управления фильтрационными характеристиками буровых растворов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-79-20218.

Список литературы

- [1] Евдокимов И.Н. „Наножидкости“ и „умные жидкости“ в технологиях разработки нефтегазовых месторождений. М.: Недра, 2016. 247 с.
- [2] Ragab A.M.S., Noah A. // Petroleum Technol. Development J. 2014. V. 4. N 2. P. 75–88.
- [3] Contreras O., Hareland G., Husein M., Nygaard R., Alsaba M. // Proc. of SPE Deepwater Drilling and Completions Conf. Texas, USA, 2014. SPE-170263-MS. P. 1–24.
- [4] Ismail A.R., Seong T.C., Buang N.A., Sulaiman W.R.W. // Proc. of 5th Int. Seminar on energy and environmental science & technology. Palembang, Indonesia, 2014. P. 43–47.
- [5] Haider F., Surip N. // Int. J. Sci. Eng. Res. 2016. V. 7. Iss. 10. P. 1489–1497.
- [6] Riveland F.A. Master's thesis. Norwegian University of Science and Technology, 2013. 79 p.
- [7] Dhiman P. Master's thesis. University of Alaska Fairbanks, 2016. 78 p.
- [8] Рудяк В.Я., Минаков А.В., Пряжников М.И. // Письма в ЖТФ. 2016. Т. 42. В. 24. С. 9–16.
- [9] Минаков А.В., Мищенко Е.И., Неверов А.Л., Бурюкин Ф.А. // Письма в ЖТФ. 2018. Т. 44. В. 9. С. 3–11.