

Changes in the Properties of a Porous Medium by Ultrasound Exposure

I. Metelev (KFU), E. Marfin* (FIC KazanSC of RAS, KFU)

Summary

In this paper, the characteristics of noise generated by a gas flow in samples of porous media are investigated. It is shown that the dependence of the maximum of the sound intensity on the filtration rate is quadratic, which means a linear dependence of the amplitude of the sound oscillations on the filtration rate. It is also shown that, at the same filtration speed, the sound intensity will be greater for those samples that have less permeability and porosity. The obtained results can be used in the formation of the theory of filtration sound formation, as well as in the interpretation of data recorded by a downhole sound level meter when conducting well logging.

Изменение свойств пористой среды при ультразвуковом воздействии

И.С. Метелёв* (КФУ), Е.А. Марфин* (ФИЦ КазНЦ РАН, КФУ)

Введение

Воздействие на призабойную зону и продуктивный пласт упругими колебаниями является одним из перспективных методов повышения нефтедобычи. Результаты многочисленных исследований, особенно в области ультразвука, свидетельствуют о влиянии упругих волн на проницаемость пористых сред (Naderi and Babadagli, 2010; Elkhoury et al., 2011; Manga et al., 2012; Dollah et al., 2018; Mardegalyamov et al., 2018). Одним из основных вопросов при реализации волнового воздействия на пласт является выбор оптимальной частоты. Существуют различные подходы в решении данной задачи. Один из таких подходов заключается в представлении о том, что наибольший эффект будет при обеспечении резонансного режима. При этом частота колебаний должна совпадать с характерными собственными частотами объекта воздействия. Собственными частотами могут быть характерные частоты колебаний, возникающие при фильтрации жидкости в исследуемой пористой среде. Сопоставление спектров фильтрационных шумов с режимами волнового воздействия на добычу нефти в процессе промысловых испытаний, представленное в работе (Marfin et al., 2015), подтверждает правомерность данного подхода.

Получить спектры фильтрационных шумов на конкретных промысловых объектах можно с использованием геофизического метода скважинной спектральной шумометрии (Maslennikova et al., 2012; Aslanyan et al., 2018). Суть метода заключается в регистрации и спектральном анализе гидродинамических шумов в скважине. Исследования в этой области были начаты с работы (McKinley et al., 1973), согласно которым источниками регистрируемых шумов в скважине могут быть: турбулентный шум потока жидкости или газа в насосно-компрессорных трубах; течение жидкости через нарушения целостности трубы; заколонные перетоки; фильтрация жидкости в пористых средах; акустическая эмиссия элементов скважины и продуктивных пластов при нагружении и деформации и др. В работе (Nikolaev and Ovchinnikov, 1992) предложен механизм звукообразования в пористой среде при фильтрации через нее жидкости. Согласно ему, поток жидкости или газа выступает инициатором звуковых колебаний широкого спектра. Упругий пористый скелет «отбирает» те колебания, частоты которых являются собственными механическими колебаниями частиц горной породы, образующих скелет коллектора. В результате этого взаимодействия происходит самосогласование механических колебаний частиц твердого скелета и частиц жидкости в коллекторах. Последующие работы (Metelev et al., 2016; Marfin et al., 2017; Mutovkin et al., 2018; Marfin et al., 2018; Sergeev et al., 2019) позволили расширить наши знания о закономерностях процесса генерации шума и взаимосвязи частот таких шумов со строением пористых сред. Настоящая работа посвящена исследованию влияния ультразвукового воздействия на проницаемость пористой среды и изучению изменений спектров фильтрационных шумов, вызванных таким воздействием.

Метод и объект исследования

Объектом исследования являлись синтетические образцы пористых сред, созданные из речного песка размером частиц 0,2-0,25 мм с добавлением 7-10% цемента М-400. Перемешивание этой смеси с добавлением небольшого количества воды для закрепления осуществлялось до получения однородной массы. Затем эта смесь помещалась в металлическую цилиндрическую трубку, где с помощью пресса с усилием 3000 кг формировался пористый образец. Через три дня после отвердевания образец подвергался экспериментальным исследованиям. Эксперименты проводились на установке, схема которой представлена на рис.1. Установка состоит из образца пористой среды 6, помещенной в герметичный корпус. Подача жидкости

осуществляется из емкости 2 через вентиль 3. При помощи компрессора 1 создается необходимый перепад давления на образце, который измеряется дифференциальным манометром 7 с погрешностью 0.5%. Воздействие упругими колебаниями на образец осуществляется с помощью ультразвукового прибора типа «Волна», состоящего из пьезоэлектрического излучателя 4 и электронного генератора 5. Этот прибор обеспечивает генерацию колебаний давления частотой 22 кГц с интенсивностью 4-10 Вт/см². Измерение расхода жидкости осуществляется с помощью электронных весов 13 погрешностью 0.005 г и электронного секундомера. Регистрация фильтрационных шумов осуществляется при помощи контактного микрофона 8, микрофонного усилителя 9 и анализатора спектра 10 на персональном компьютере 11.

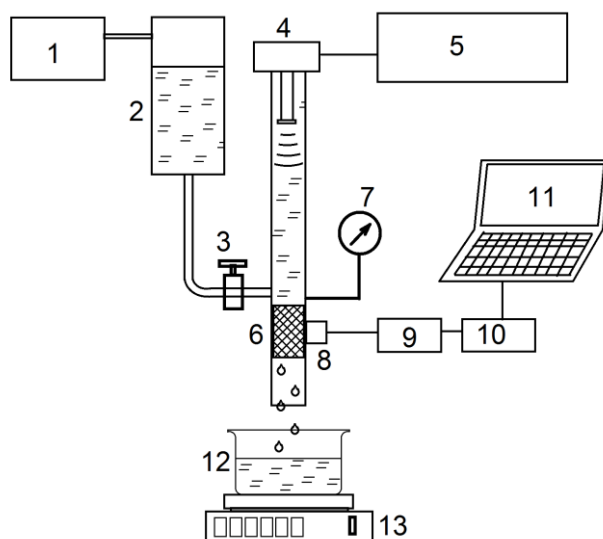


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки для исследования пористой среды при ультразвуковом воздействии.

Экспериментальные исследования проводились в следующем порядке. Вначале установка и пористый образец насыщается фильтрующей жидкостью, в нашем случае водой. Затем в заполненной жидкостью емкости 2 при помощи компрессора 1 поднималось давление. При открытии вентиля 3 начинался процесс фильтрации с одновременной регистрацией фильтрационных шумов. Вытекающая из образца жидкость собирается в емкости 12 и на электронных весах измеряется ее масса и фиксируется время. По закону Дарси определяется коэффициент проницаемости. Далее осуществляется ультразвуковое воздействие. Аналогичным образом по временной зависимости накопленной жидкости определяется проницаемость при волновом воздействии. После прекращения воздействия повторно измеряется проницаемость пористого образца и одновременной записью фильтрационных шумов. Затем изменяется интенсивность воздействия и перепад давления для получения большего числа экспериментальных точек.

Результаты

Экспериментальные исследования установили, что проницаемость созданных пористых образцов находилась в диапазоне 180-245 мД. При этом спектры фильтрационных шумов имели схожий характер со спектрами, полученными в ранее проведенных исследованиях (Metelev et al., 2016; Marfin et al., 2017). В этих спектрах выделяются характерные частоты, которые фиксировались для каждого образца. После ультразвуковой обработки на максимальной интенсивности воздействия проницаемости на всех образцах снизились (рис.2а), что может быть объяснено высвобождением под действием ультразвука мелких частиц цемента и закупоркой ими проточных каналов. Дальнейшая обработка ультразвуком на меньшей интенсивности привела к увеличению проницаемости пористых образцов. После

прекращения воздействия проницаемость снизилась, но тем не менее оказалась больше, была в начале до воздействия, проявляя тем самым эффект последействия. Таким образом, результаты исследований также подтверждают предыдущих работ (Mardegalyamov at al., 2018) о том, что наибольшее увеличение проницаемости происходит в процессе волнового воздействия. Полученные данные говорят о том, что больший эффект акустического воздействия на промысле будет проявлять в режиме непрерывного воздействия.

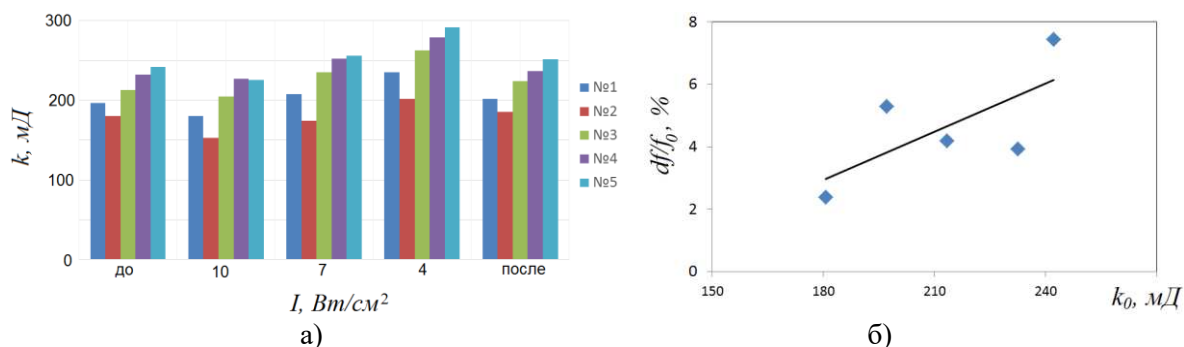


Рисунок 2. Изменение проницаемости (а) и относительной частоты фильтрационных шумов (б) при ультразвуковом воздействии.

Исследования спектров фильтрационных показывают, что вид спектра у образцов до и после обработки сохраняется при смещении характерных частот в сторону увеличения. На рис. 2б показано относительное увеличение характерных частот после ультразвуковой обработки. Из полученных данных видно, что чем больше начальная проницаемость пористого образца, тем больше смещаются в сторону увеличения характерные частоты.

Выводы

Экспериментальными исследованиями установлено, что ультразвуковое воздействие приводит вначале к снижению, а затем к увеличению проницаемости пористой среды. Исследование спектров шумов, возникающих в пористых средах при фильтрации через них жидкости, показало, что изменение проницаемости пористой среды под действием ультразвука сопровождается также увеличением характерных частот спектра. Причем, чем больше начальная проницаемость керна, тем больше увеличение частоты фильтрационных шумов.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№18-08-01047, 16-29-15118) и Правительства Республики Татарстан (проект №18-48-160001).

Список литературы / References

1. Aslanyan, I.Yu., Minakhmetova, R.N., Trusov, A.V., Lutfullin, A.A., Habibrahanov, A.G., Afljatunov, R.R., Habipov, R.M. [2018] Proppant backflow zones determination by spectral noise logging. *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry*, **5**, 68-71.
2. Dollah, A., Rashid, Z.Z., Othman, N.H., Hussein, S.N.C.M., Yusuf, S.M. and Japperi, N.S. [2018] Effects of ultrasonic waves during waterflooding for enhanced oil recovery. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, **7** (3), 232-236.
3. Elkhoury, J.E., Niemeijer A., Brodskyd, E.E. and Marone, C. [2011] Laboratory observations of permeability enhancement by fluid pressure oscillation of in situ fractured rock. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **116**, B02311.

4. Manga, M., Beresnev, I., Brodsky, E.E., Elkhoury, J.E., Elsworth, D., Ingebritsen, S.E., Mays, D.C. and Wang, C.-Y. [2012] Changes in permeability caused by transient stresses: Field observations, experiments, and mechanisms. *Reviews of Geophysics*, **50**, 2, RG2004.
5. Mardegalyamov, M.M., Marfin, E.A. and Vetoshko, R.A. [2018] Change in permeability of a porous medium at ultrasonic action. *Saint Petersburg 2018: Innovations in Geosciences & Time for Breakthrough*. Doi: 10.3997/2214-4609.201800258.
6. Marfin E.A., Gaifutdinov, R.R. and Metelev I.S. [2018] Investigation of the intensity of acoustic emission during gas filtration through porous media. *Geomodel 2018*. Doi: 10.3997/2214-4609.201802405
7. Marfin, E.A., Abdrashitov, A.A., Metelev, I.S. and Kirpichnikova, T.A. [2017] Spectral characteristics of acoustic emission in porous media. *Engineering Geophysics 2017*. DOI: 10.3997/2214-4609.201700401
8. Marfin, E.A., Kravtsov, Y.I., Abdrashitov, A.A. and Metelev, I.S. [2015] Intensification of oil production under vibration impact on the producing formation. *Geomodel 2015 - 17th Scientific-Practical Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development*, 116-120. Doi: 10.3997/2214-4609.201413912.
9. Maslennikova, Yu.S., Bochkarev, V.V., Savinkov, A.V. and Davydov, D.A. [2012] Spectral noise logging data processing technology. *Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition 2012*, **4**, 2617-2628.
10. McKinley, R.M., Bower, F.M. and Rumble, R.C. [1973] Structure and interpretation of noise from flow behind cemented casing. *Journal of Petroleum Technology*, **25**, 329-338.
11. Meletev, I.S., Marfin, E.A. and Gaifutdinov, R.R. [2016] The use of spectral sound meter in the study of the physical properties of oil and gas reservoirs. *12th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2016*, 359-366. Doi: 10.3997/2214-4609.20160033.
12. Mutovkin, N.V., Mikhailov, D.N. and Sofronov I.L. [2018] Analysis of modeling of acoustic fields excited by the flow noise in the formation inflow zones. *Geomodel 2018*. Doi: 10.3997/2214-4609.201802388.
13. Naderi, K. and Babadagli, T. [2010] Influence of intensity and frequency of ultrasonic waves on capillary interaction and oil recovery from different rock types. *Ultrasonics Sonochemistry*, **17** (3), 500-508.
14. Nikolaev, S.A. and Ovchinnikov, M.N. [1992] Sound generation by a filtrational flow in porous media. *Akusticheskij Zhurnal*, **38** (1), 114-118.
15. Sergeev, S., Ryzhikov, N. and Mikhailov, D. [2019] Laboratory investigation of sound induced by gas flow in porous media. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **172**, 654-661.