

Исследование распространения акустических волн в пористой среде насыщенной жидкостью с пузырьками газа¹

Ситдикова Л. Ф.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

Задачи распространения волн давления различной интенсивности в насыщенных пористых средах являются актуальными в связи с изучением эффективности временных защитных сооружений, вопросами акустического каротажа и зондирования, моделирования хаммер-эффекта при гидроразрыве пласта [1-5].

В пластовых жидкостях во многих случаях присутствует газ. Например, газожидкостная смесь в пористой среде образуется при кислотных обработках низкопроницаемых зон, при водогазовом воздействии на пласты и т.д. Поэтому представляется актуальным учитывать присутствие пузырьков газа при изучении волновых процессов в пористых средах насыщенных жидкостью.

В настоящей работе теоретически исследуются волновые процессы в пористой среде насыщенной газожидкостной смесью с учетом межфазных сил взаимодействия между скелетом пористой среды и жидкостью. Записана общая система уравнений и физических соотношений, описывающая распространение волн в пористой среде заполненной пузырьковой жидкостью. Получено дисперсионное соотношение описывающий комплексный волновой вектор от частоты, на основе которого исследована зависимость фазовой скорости и коэффициента затухания от частоты для «быстрой» и «медленной» волн. Исследована пористая среда с параметрами: средний радиус пор – $a_0 = 10^{-3}$ м, характерный размер пузырьков газа – $b_0 = 10^{-4}$ м, объемное содержание воды – $\alpha_{i0} = 0,6$, объемное содержание песчаника – $\alpha_{s0} = 0,39$, объемное содержание воздуха – $\alpha_{g0} = 0,01$

Установлено, что для низких частот ($\omega \leq \omega_R$), где ω_R – частота собственных колебаний пу-

зырьков) коэффициент затухания для «медленной» волны в пористой среде заполненной пузырьковой смесью больше чем коэффициент затухания звука в пузырьковой воде. Скорость быстрой волны для пористой среды заполненной пузырьковой смесью увеличивается в диапазоне частот $0 < \omega < 10^2 \text{с}^{-1}$ до значения скорости звука в песчанике.

Получено, что коэффициент затухания «быстрой» волны до частоты $\omega < 7 \cdot 10^5 \text{с}^{-1}$ имеет такой же вид, как для случая пористой среды, насыщенной «чистой» жидкостью, а при частоте $\omega \approx 7 \cdot 10^5 \text{с}^{-1}$ происходит резкое уменьшение коэффициента затухания, что соответствует неустойчивому состоянию системы.

Результаты расчетов позволяют оценить влияние пузырьков газа на распространение звуковых волн в пористой среде, насыщенной пузырьковой жидкостью.

Список литературы:

- [1] Biot M.A. Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid Saturated Porous Solid. I. Low Frequency Range // The Journal of the Acoustical Society of America. 1956. Vol. 28. P.168-178. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.
- [2] Ляхов Г.М. Основы динамики взрыва в грунтах и горных породах. М.: Недра, 1974. 192 с.
- [3] Городецкая Н. С. Волны в пористо-упругих насыщенных жидкостью средах // Акустический вестник. 2007. Т. 10. № 2. С. 43-63.
- [4] Гималтдинов И.К., Дмитриев В.Л., Ситдикова Л.Ф. Динамика звуковых волн в насыщенных парогазовой смесью пористых средах // Теплофизика высоких температур. 2014. Т. 52 № 4. С. 572-580.
- [5] Гималтдинов И.К., Ситдикова Л.Ф., Дмитриев В.Л., Левина Т.М., Хабеев Н.С., Song W. Отражение звуковых волн от пористого материала в случае наклонного падения // Инженерно-физический журнал. 2017. Т. 90. № 5. С. 1098-1108.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-60015