

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН В ВЫСОКОПРОНИЦАЕМОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Губайдуллин А.А., Болдырева О.Ю., Дудко Д.Н.

*Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН
625026, Тюмень, Россия*

Численно исследованы особенности волн, распространяющихся в высокопроницаемом цилиндрическом волноводе в пористой среде. Исследование выполнено в рамках модели двухфазной пористой среды, с использованием численного метода Лакса-Вендроффа. Изучено влияние соотношения проницаемостей внутри полости и окружающей пористой среды, а также частоты сигнала на эволюцию волны давления внутри полости.

Представленные на Рис.1 результаты получены для расчетной области $0 \leq z \leq 2\text{ м}$, $0 \leq r \leq r_w + 1\text{ м}$, $r_w = 0.1\text{ м}$, при этом область $r > r_w$ заполнена основной пористой средой (ПС1), а часть цилиндрической полости $z > 0.1\text{ м}$, $0 \leq r \leq r_w$, заполнена пористой средой с более высокой проницаемостью (ПС2).

Возмущение конечной длительности создавалось источником жидкости, расположенным внутри полости при $0 \leq r \leq r_s = 0.04\text{ м}$, $0 \leq z \leq z_s = 0.04\text{ м}$. Материал скелета пористой среды – кварц, жидкость – вода. Рассмотрен случай открытых пор на границе пористой среды и жидкости, а также на границе ПС1 и ПС2.

Основные параметры, принятые в расчетах, следующие: для ПС1 пористость 0.3, характерный размер зерен пористой среды 0.1 мм, проницаемость $4.3 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$; для ПС2 пористость 0.4, характерный размер зерен пористой среды 0.2 мм, проницаемость $2.7 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$.

На рисунках показано изменение давления жидкости на оси полости при $r = 0$, $z = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 \text{ м}$, для волны сжатия (основная частота около 0.5 кГц) и для осциллирующих импульсов основной частоты 1 кГц и 3кГц. Видно, что распространение волны сжатия отличается значительным искажением формы – расплыванием и затуханием. Для осциллирующих импульсов затухание также заметно, но форма сигнала практически не изменяется. Анализ расчетных данных свидетельствует о том, что высокочастотные сигналы затухают существенно сильнее, чем низкочастотные, и распространяются почти без дисперсии.

На основе расчетных данных получены оценки скорости и затухания сигнала при его распространении в волноводе в широком частотном диапазоне. Показано, что повышение частоты исходного сигнала приводит к увеличению скорости и усилению затухания импульса. С увеличением проницаемости волновода увеличивается скорость распространения и уменьшается затухание волн, уменьшается глубина проникновения возмущений в окружающее пространство.

Проведено сравнение со случаем распространения волн в заполненной жидкостью цилиндрической полости в пористой среде. В отличие от этого случая, волна в пористом волноводе содержит две моды: деформационную и фильтрационную. В предельном случае, при увеличении проницаемости пористой среды внутри волновода, кривые давления совпадают с соответствующими зависимостями для волновода, заполненного жидкостью.

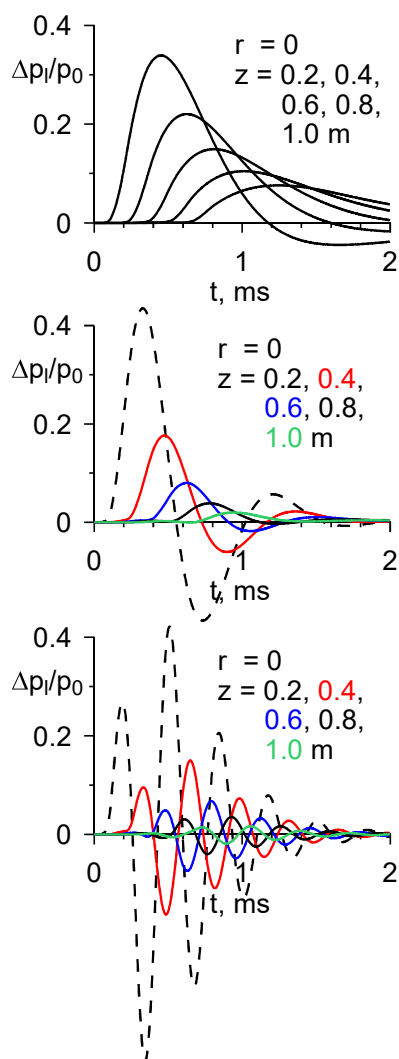


Рис. 1. Изменение давления в жидкости в высокопроницаемом цилиндрическом волноводе при распространении волны сжатия (основная частота около 0.5 кГц, сверху) и осциллирующих импульсов основной частоты 1 кГц (в центре) и 3кГц (внизу).

Результаты исследования могут быть использованы при интерпретации данных геофизических исследований скважин.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных Академий наук на 2013-2020 годы (проект No. АААА-А17-117030610130-1).