

Модель ансамбля внутрипоровых резонаторов для описания спектра акустического излучения при фильтрации газа через образцы горных пород

Научный руководитель – Михайлов Дмитрий Николаевич

Иванова Эльвира Алексеевна

Студент (магистр)

Московский физико-технический институт, Москва, Россия

E-mail: iwanowa.elya@yandex.ru

Акустические шумы, генерируемые течением флюидов в образцах горных пород, активно изучаются последние десятилетия [1,3]. Существуют разные модели их генерации и формирования спектра.

Экспериментальные данные [1,3] свидетельствуют, что основной частотный диапазон акустического шума слабо зависит от скорости фильтрации и определяется структурой породы. В литературе данный эффект объясняется резонансом колебаний частиц породы [3] или формированием стоячих волн в поровых каналах [1].

В данной работе предполагается, что акустический шум генерируется микровихрями, формирующимися в порах при фильтрации флюида. Численные расчеты на COMSOL Multiphysics показали, что микровихри начинают генерироваться при числах Рейнольдса в порах от 1 до 10.

Также представлена новая модель описывающая поровое пространство как систему взаимосвязанных тел и горлышек пор, т.е. резонаторов Гельмгольца. Спектр акустических шумов соответствует собственным частотам данной системы. Учтены потери энергии за счет вязкого трения в горлышках резонаторов (приближение течения Пуазейля).

Представлены расчеты спектра собственных частот для образца известняка Indiana Limestone. По результатам рентгеновской микротомографии образца, распределение пор по размерам аппроксимируется (рис. 1) нормальным распределением с параметрами $\sigma^2 = 4655$, $\mu = 232$ мкм. По данному распределению генерируются радиусы тела и горлышек резонатора. Среднее число горлышек на одну пору, определяется координационным числом данной породы.

После создания ансамбля резонаторов, для моделирования смещения флюида в горлышке каждого резонатора записывается линейное дифференциальное уравнение второго порядка. Итоговая система уравнений описывает набор затухающих колебаний с собственными частотами, определяемыми соответствующим характеристическим уравнением [2].

Расчеты проводились для ансамбля резонаторов, состоящего из 1390 пор и 1580 горлышек. Результаты представлены в виде гистограммы распределения числа собственных частот (рис. 2) на каждые 5 кГц, показывающей, что больше всего частот генерируется в диапазоне 5-40 кГц. Также приведен анализ чувствительности спектра колебаний к параметрам распределения пор по размерам.

Работа выполнена в Московском научно-исследовательском центре Шлюмберже. Автор выражает благодарность научному руководителю Михайлову Д.Н. за полезные рекомендации, Бурухину А.А., Жарниковой А.В. и Рыжикову Н.И. за помощь при анализе экспериментальных данных, а также Якимчуку И.В. и Аношиной Н.А. за обработку рентгеновской микротомографии.

Источники и литература

- 1) Красновидов Е.Ю. Создание методики акустико-гидродинамических исследований пористых сред и скважин. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2005.

- 2) Мигулин В.В. и др. Основы теории колебаний. Москва «Наука». 1978.
- 3) Metelev I.S., Marfin E.A., Gaifutdinov R.R. 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.

Иллюстрации

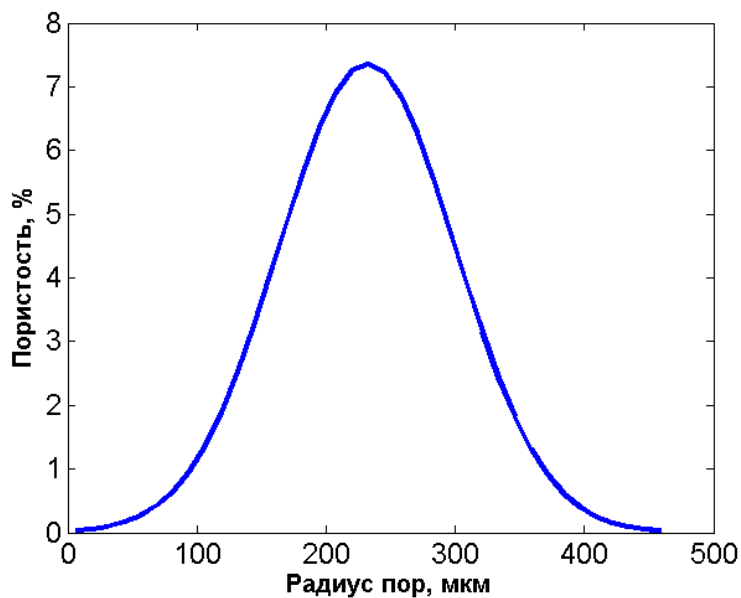


Рис. 1. Распределение пор по размерам в образце известняка Indiana limestone.

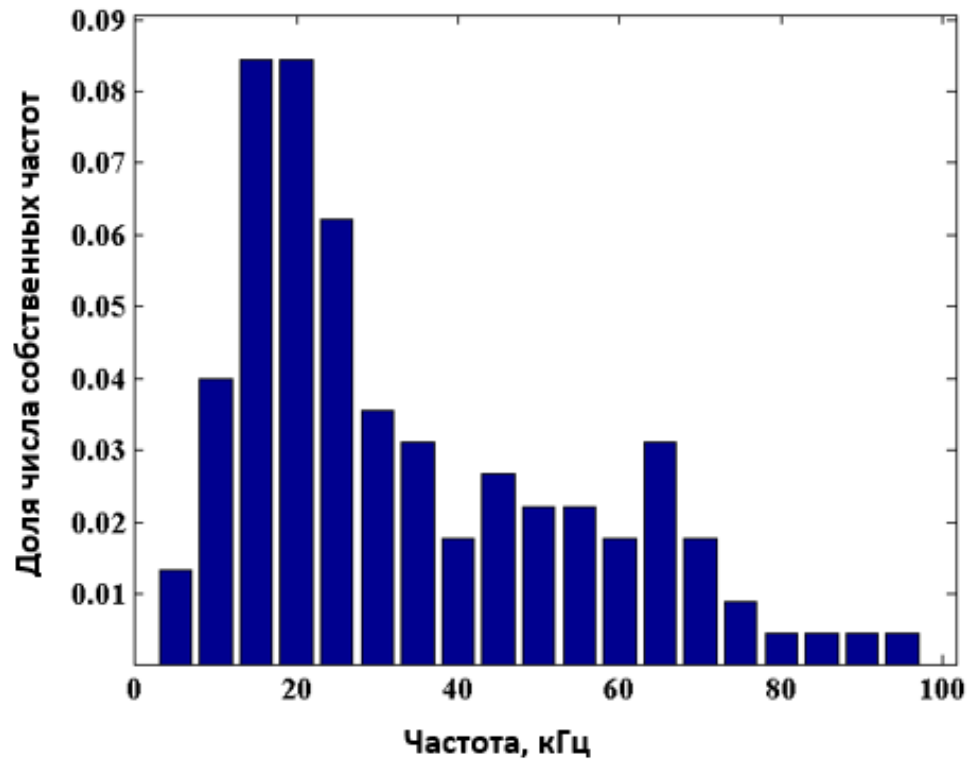


Рис. 2. Гистограмма распределения числа частот, приходящихся на каждые 5 кГц.