

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НЕФТИ И ГАЗА им. И. М. ГУБКИНА**

На правах рукописи

УДК 622.279.5.001.42

Красновидов Евгений Юрьевич

**СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ АКУСТИКО – ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПОРИСТЫХ СРЕД И СКВАЖИН**

**Специальность: 25.00.17. – Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2005

Работа выполнена в Российском Государственном Университете нефти и газа имени И М Губкина

Научный руководитель: д т н , профессор Корогаев Ю П

Официальные оппоненты: д т н , профессор Михайлов Н Н.
к т н , Грдзелова К Л.

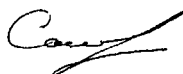
Ведущее предприятие: ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - ВНИИГАЗ»

Защита состоится «28» июне 2005 г. в 15 часов, в ауд. 731
на заседании Диссертационного Совета Д 212 200 08 при Российском
Государственном Университете нефти и газа им И М Губкина по адресу:
119991, Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, д 65

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГУ нефти и газа
им И М. Губкина

Автореферат разослан «26» мая 2005 г.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета,
д т н , профессор

 Сомов Б Е

2006-4
6925

2147864

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Эффективная разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений связаны с проблемой получения и интерпретации информации о процессе фильтрации газа в пластах. Исследование этих процессов позволило группе ученых во главе с профессором Коротаевым Ю. П. определить оптимальные энергосберегающие технологические режимы работы скважин. Эти режимы обеспечивают безаварийную работу скважин в течение всего периода разработки.

Существенное влияние на процессы разработки месторождений оказывают условия движения газа и жидкости в призабойной зоне и параметры пласта. Поэтому более точное определение режимов работы и параметров пласта и скважин является актуальной проблемой. Это требует разработки и внедрения новых методов исследования пластов и скважин, одним из которых являются акустико-гидродинамические методы.

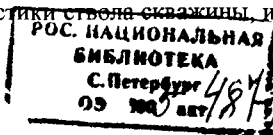
Впервые этот метод был предложен в 1964г Ю. П. Коротаевым для измерения дебитов аварийных фонтанов, а затем был применен для определения интервалов притока газа и оценки параметров пласта.

Принципиальным отличием акустико-гидродинамического метода (АГДМ) от акустического каротажа и акустического воздействия является не только то, что в первом случае создаются искусственные колебания, а во втором исследуются естественные с широкой полосой спектра, но и то, что в этом случае интенсивность естественного акустического поля существенно меньше, чем при искусственном воздействии.

Сущность АГДМ состоит в комплексном измерении гидродинамических и естественных акустических характеристик аэродинамического шума, возникающего при движении флюида в скважине и призабойной зоне пласта для определения параметров потока и пористой среды.

Применение АГДМ актуально для определения работающих интервалов на месторождениях и ПХГ, для диагностики ствола скважины, и в том числе,

3



для определения газонасыщенности при движении газожидкостных смесей в стволе скважины

Новым направлением в исследовании процессов фильтрации в пористой среде являются АГДМ исследования кернов, которые позволяют определять ряд дополнительных параметров, которые другими методами получить затруднительно

Таким образом с помощью АГДМ исследований, наряду с определением условий генерации шумов при фильтрации, выполняются высокоточные измерения гидродинамических параметров в широком диапазоне изменения скоростей фильтрации, что позволяет определить границы применимости закона Дарси и установить связь параметров акустических шумов с микроструктурой пористой среды и её макрохарактеристиками Исходя из этого, можно сказать, что акустико-гидродинамические методы исследования представляют большой научный и практический интерес

Цель диссертационной работы

Создание методики комплексных акустико-гидродинамических исследований пористых сред, основанной на использовании высокочастотного акустического сигнала в звуковом диапазоне частот, возникающего при фильтрации флюида.

Основные задачи исследований

- Проведение прецизионных экспериментальных АГДМ исследований пористых сред.
- Установление взаимозависимости между фильтрационно-емкостными свойствами пористой среды и её микроструктурой
- Усовершенствование методики проведения акустико-гидродинамических исследований на основании использования высокоточных акустических приборов
- Создание методики АГДМ исследований пористых сред и скважин
- Создание стенда для проведения АГДМ исследований кернов и прибора для проведения промысловых исследований скважин

Методы решения поставленных задач

Поставленные задачи решены путем

- проведения прецизионных экспериментальных акустико-гидродинамических исследований кернов;
- проведения прецизионных экспериментальных акустико-гидродинамических исследований течений в капиллярах, с целью создания модели течений газа в пористых средах;
- математического моделирования течений газа в капиллярах

Научная новизна работы

- Разработана математическая модель для определения гидродинамических характеристик пористых сред по данным об их микроструктуре и определения микроструктуры по данным АГДМ,
- Впервые установлена зависимость между частотной характеристикой излучаемых акустических шумов и геометрическими размерами капилляров;
- Создан прибор для промысловых исследований скважин и проведены его испытания на стенде;
- Разработаны методические рекомендации по интерпретации результатов АГДМ исследований

Практическая значимость

- Усовершенствована методика проведения прецизионных лабораторных исследований пористых сред АГДМ,
- Результаты работы могут быть использованы для уточнения фильтрационных и коллекторских свойств газоносных пород и интерпретации результатов исследований скважин;
- Данная работа используется в лабораторном практикуме и факультативных курсах по дисциплине «Физика нефтяного и газового пласта», а также при чтении лекций по разработке газовых и газоконденсатных месторождений и на курсах по повышению квалификации работников нефтяной и газовой промышленности, при УИЦ РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина.

Апробация работы

Основные положения работы докладывались на конференциях и семинарах

- На Второй Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности России, РГУ нефти и газа им И М Губкина, г. Москва, 1997г
- На Третьей Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности России, РГУ нефти и газа им И М Губкина, г Москва, 1999г
- На международной конференции «Актуальные проблемы и новые технологии освоения месторождений природных газов в XXI веке»,
- п Ямбург, 2002г
- На Пятой Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности России, РГУ нефти и газа им И М Губкина, г Москва, 2003г.
- На шестой научно-технической конференции, посвященной 75-летию Российского Государственного Университета нефти и газа им И М Губкина, Москва, 2005г.
- На научном семинаре кафедры Разработки и эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений РГУ нефти и газа им И М Губкина (1998-2004гг)

Публикации

По результатам исследований опубликовано 5 печатных работ

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложения Текст диссертации изложен на 171 страницах и содержит 65 рисунков и 37 таблиц Библиографический список использованной литературы состоит из 169 наименований

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, профессору Коротяеву Ю П и ведущему научному сотруднику Иванову Д И за помощь в процессе работы над диссертацией, а так же профессору Басниеву К С и профессору Сомову Б Е. за поддержку и ценные советы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследований, а также освещены методы решения поставленных задач и научная новизна

В первой главе диссертационной работы выполнен обзор ранее проведенных исследований пористых сред и скважин акустико-гидродинамическими методами.

Акустико-гидродинамические методы исследования первоначально создавались для измерения дебитов аварийных скважин, а затем были применены для глубинных исследований скважин. Впоследствии эти методы стали использоваться для исследования пористых сред.

Отличительной особенностью акустико-гидродинамического метода исследования (АГДМ) от акустического каротажа и акустического воздействия на пласт является то, что в первом случае создаются искусственные колебания, а во втором исследуются естественные акустические шумы в широком диапазоне частот, и в этом случае интенсивность естественного акустического поля существенно меньше, чем при искусственном воздействии. Интенсивность естественного акустического поля применительно к условиям работы скважины и призабойной зоны пласта значительно меньше 1 Вт/м^2 и уменьшается с ростом давления, в то время, как при акустических воздействиях на пласт мощность излучения более 1 кВт/м^2 , а при акустическом каротаже составляет около $0,1 \text{ кВт/м}^2$.

В связи с отсутствием в достаточном объеме соответствующей аппаратуры АГДМ имеет пока ограниченное применение. Длительное время исследования по указанным направлениям волновых технологий проводятся ВНИГРИ, ВНИИнефтью, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, ВНИИГазом, ВНИИЯГТ и др. Однако на данном этапе требуется дальнейшее развитие основных закономерностей распространения акустических полей в пористых средах применительно к разработке газовых и газоконденсатных месторождений. Сложность проблем теоретического и практического

характера обусловлена также нелинейным воздействием упругого поля на горные породы

Задачи акустики движущейся среды наиболее фундаментально решаются у Н Н Андреева и И Г Русанова. Общая теория аэродинамической акустики рассмотрена в работах Д И Блохинцева и Лайтхилла. Вопросам образования акустического поля в скважине и пористой среде посвящены исследования Ю П Коротаяева, Е Ф Афанасьева, М А Бабалова, К Л Грдзеловой, Ю И Боролина, А П Иванчука и др. Эксперименты по возникновению акустических шумов в идеальном грунте проводились Г П Юсуповым

Результаты практического применения акустических методов для определения скорости потока в скважинах показаны в работах Р МакКинли, М Бовер, С Рамбле, Л Бритт, Н Слейн, И Келли

Применение АГДМ исследования скважин и пористых сред значительно расширяет возможности получения дополнительной информации о параметрах пластов и скважин, а также возможность использования этой информации для контроля технического состояния скважин и разработки месторождения в целом. Экспериментальные исследования по этому вопросу на скважинах различных месторождений выполнены К Л Грдзеловой, Л Б Габелко, О В Ермолкиным, С П Сибиревым, В.Ф Семененко и А Епифановым. А в исследованиях пористых сред принимали участие К Л Грдзелова, Л Б Габелко, А П Иванчук, Д И Иванов, Н И Родичев

Проведя анализ этих исследований было выяснено, что для успешного применения АГДМ необходимо провести углубленные лабораторные исследования на кернах, позволяющие устанавливать зависимости параметров акустических шумов, возникающих в процессе фильтрации (их интенсивности и спектрального состава) с микроструктурой пористой среды и её макрохарактеристиками. Таким образом в процессе АГД исследованийряду с определением условий генерации шумов при фильтрации и распространения акустических волн в пористых средах надо выполнять высокоточные измерения гидродинамических параметров в широком

диапазоне изменения скоростей фильтрации, чтобы надежно определять границы применимости закона фильтрации Дарси

Во второй главе рассмотрены результаты исследования взаимозависимостей между параметрами пористой среды и характеристиками ее микроструктуры.

В первом приближении фильтрацию газа в газоносных породах можно рассматривать как движение вязкой сжимаемой жидкости описываемое уравнениями Навье-Стокса в пространстве, представляющем собой поры, заключенные между зернами породы и связующим их материалом. Однако установить зависимость между фильтрационными параметрами пористой среды и геометрическими характеристиками ее структуры на основании решения указанных уравнений практически невозможно. Это обусловлено чрезвычайной сложностью и случайным характером конфигурации порового пространства, что делает невозможным задание граничных условий. Поэтому при исследовании пористая среда рассматривается в виде некоторой модельной среды имеющей упорядоченную структуру.

Наиболее удобно представлять пористую структуру в виде пучка (набора) извилистых трубок различных диаметров, которые соответствуют размерам пережимов поровых каналов. В этом случае для выполнения расчетов можно использовать уравнения трубной гидравлики, для которой хорошо разработана полуэмпирическая теория.

При проектировании и эксплуатации газовых месторождений коллекторские и фильтрационные свойства пород, как правило, определяются на основании интегральных характеристик, связанных со средними размерами каналов пористой среды или диаметром образующих скелет породы частиц. Основными показателями этих свойств являются пористость и проницаемость.

Прямой зависимости между проницаемостью и пористостью не существует, однако ее можно выразить через средний гипотетический размер пор. Если пористую среду представить в виде системы прямых цилиндрических трубок одинакового радиуса R и длиной L , и

воспользоваться законом Пуазейля, совместно с законом фильтрации Дарси усредненный радиус пор можно определить по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{8k}{m}} \quad (1)$$

где R- радиус пор, k- коэффициент проницаемости, m- коэффициент пористости

Для реальных пористых сред вводится структурный коэффициент - характеризующий отличительные особенности строения порового пространства. Таким образом, для реальных гранулярных пористых сред, усредненный гипотетический диаметр поровых каналов может быть рассчитан по формуле

$$d = 5,72 \sqrt{0,5035 \frac{k}{m^{2,1}}} \quad (2)$$

где d- диаметр пор, k- коэффициент проницаемости, m- пористость

Справедливость этой формулы проверялась в данной работе для ряда кернов путем сравнения результатов расчетов с данными ртутной порометрии, полученные результаты приведены в таблице 1

Таблица 1 Расчетные значения средних диаметров пор

N керна	к мд	m %	d max. мкм	d ср мкм
45-180	53,50	22,5	16,0	142,2
7-73	0,07	5,8	0,4	21,3
7-205	4,50	16,4	8,0	57,5
2973	270,00	16,1	200,0	453,8

Как видно из этой таблицы, результаты расчетов по формуле (2) дают для средних диаметров завышенные значения, превышающие максимальные диаметры пор, полученные методом ртутной порометрии. С учетом этого, формула (2) была скорректирована и получена новая формула, позволяющая получить более точные результаты для рассматриваемой группы кернов:

$$d = 5,6 \sqrt{0,05 \frac{k}{m^{0,8}}} \quad (3)$$

Если пористость исследуемого образца неизвестна, то ее можно определить с использованием этой формулы, если известны результаты

гидродинамических исследований, хотя бы для одного из режимов фильтрации. Далее был разработан алгоритм выполнения таких расчетов, результаты которых, для ряда кернов, приведены в таблице 2.

Таблица 2 Зависимость фильтрационных параметров от средних диаметров пор

№ керна	K мд.	m %	d мкм.	n шт.	v м/с
7-73	0.07	3.3	1.30	10639772	0.392
7-205	4.41	11.5	6.25	738159	0.800
45-180	38.81	21.0	14.57	161422	0.636
2973	270.57	12.1	47.96	4710	0.113

Анализ результатов расчетов показывает, что значения средних диаметров пор вычисленных по формуле (3) и, соответствующие значения пористости, могут служить для оценки их истинных значений лишь для тех образцов породы, у которых размер эффективных пор не менее 5 мкм. Для образцов с малыми диаметрами пор расхождения получаются весьма существенные и расчеты должны выполняться по другим зависимостям.

Важным параметром для задания оптимальных, энергосберегающих режимов эксплуатации газовых скважин является критический расход газа через единицу площади или критическое число Рейнольдса соответствующие верхней границе применимости закона Дарси. Эти величины определялись экспериментально акустико-гидродинамическими методами для группы кернов с различной проницаемостью. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 Зависимость критических параметров от проницаемости

№ п.п.	№ керна	K мд.	Re _{кр}	Q _{кр} см ³ /с	grad P _{кр} Мпа/м
1	7-73	0.070	0.803	5.514	39.600
2	7-205	4.413	1.263	18.090	7.250
3	45-180	38.812	0.870	17.119	1.000
4	2973	270.570	0.507	0.957	0.010

Проанализировав полученные данные можно сказать, что взаимосвязь между основными интегральными характеристиками пористых сред, определяющими их коллекторские и фильтрационные свойства такие как, пористость, проницаемость, критическое число Рейнольдса и усредненными размерами пор носит оценочный характер. Точность получаемых таким

методом результатов может изменяться в широких пределах в зависимости от конкретного случая. И для более точного определения коллекторских и фильтрационных свойств образцов пород необходимо использовать математическую модель, учитывающую реальное распределение пор по размерам.

В данной работе ставится задача определения зависимости между распределением пор по размерам и фильтрационными свойствами породы. Предполагается создать математическую модель, позволяющую определять основные фильтрационные характеристики образца по данным о распределении пор по размерам. С помощью этой модели для исследуемого образца расчетным путем возможно определить закон фильтрации, изменение гидродинамических параметров на различных режимах фильтрации и оценивать эффективность работы различных групп пор.

В третьей главе диссертационной работы рассмотрены общие закономерности возникновения акустико-гидродинамических шумов при фильтрации газа, конструкция стенда для проведения исследований кернов АГДМ, методика проведения экспериментов и методика обработки результатов, математическая модель для определения гидродинамических параметров кернов по данным об их микроструктуре.

В основе исследования пористых сред акустическим способом лежит теория аэродинамического шумообразования, созданная Лайтхиллом. Эта теория изучает взаимосвязь между газогидродинамическими параметрами струи газа или жидкости и акустическими характеристиками шума.

Основной вывод работ Лайтхилла заключается в том, что при движении свободного потока жидкости или газа источником шума является турбулентность. Эти теоретические выводы были подтверждены экспериментально рядом исследователей. Проведен ряд экспериментов, установлены закономерности возникновения и изменения акустических шумов при различных режимах фильтрации газа в различных образцах пористых сред. Показано, что для всех исследованных образцов пористых сред какие-либо акустические шумы отсутствуют при скоростях фильтрации

меньших некоторого критического значения. При превышении скоростью фильтрации этого критического значения наблюдается появление акустических шумов, в относительно узком частотном диапазоне.

Далее, по мере увеличения скорости фильтрации, спектральный состав шумов расширяется, причем преимущественно в сторону более высоких частот. Наряду с акустическими измеряются и гидродинамические параметры на соответствующих режимах фильтрации. Конструкция стенда для АГДМ исследований показана на рисунке 1. В процессе проведения исследований АГДМ давление и расходы газа изменяются в широких пределах. Для обеспечения высокой точности измерений предусмотрена возможность подключения различных типов измерительных приборов. Разработаны специальные приборы для измерения малых расходов газа ($<10\text{см}^3/\text{с}$), которые могут подключаться вместо газового счетчика - 17.

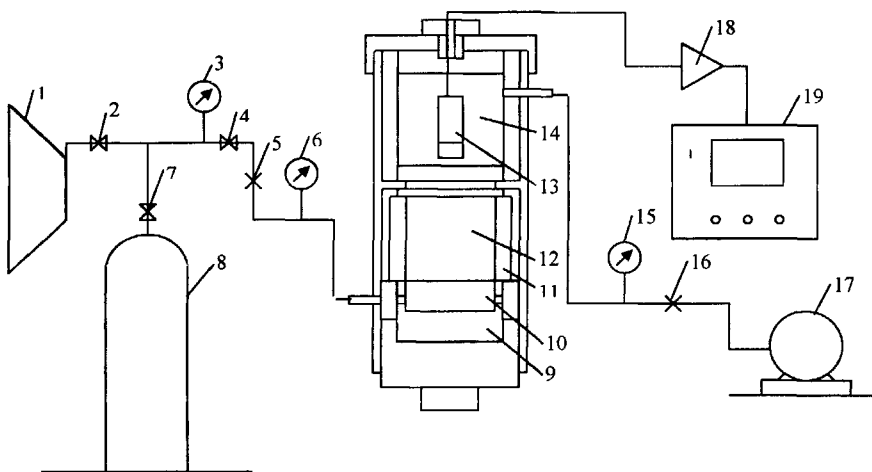


Рис 1 Схема стенда для проведения АГД исследований кернов

1-компрессор; 2,4,7-вентили, 3,6,15-манометры; 5,16-регулирующие вентили; 8-рециввер, 9-камера, 10,14-акустические фильтры; 11-кернодержатель, 12-кern; 13-микрофон; 17-измеритель расхода; 18-широкополосный усилитель; 19-анализатор спектра

Измерения производились следующим образом. С помощью вентиля -5 плавно повышается давление в первой камере - 9 до определенного значения. Когда оно стабилизируется производятся измерения на установившемся режиме давлений в камере до и после образца, манометрами - 6 и - 15, а также расхода газа измерителем - 17. На этом же режиме, если есть акустические шумы, то их спектральный состав фиксируется с помощью анализатора спектра - 19. Затем давление газа в камере - 9 снова повышается и аналогично производятся измерения на новом режиме.

Результаты, полученные при исследовании АГДМ одного из кернов показаны на рисунке 2. На этом рисунке приведены зависимости интенсивности акустических шумов от расхода газа - Q и спектральный анализ шумов для режима соответствующего началу их возникновения, а также зависимость отражающая изменения гидродинамических параметров при различных режимах фильтрации.

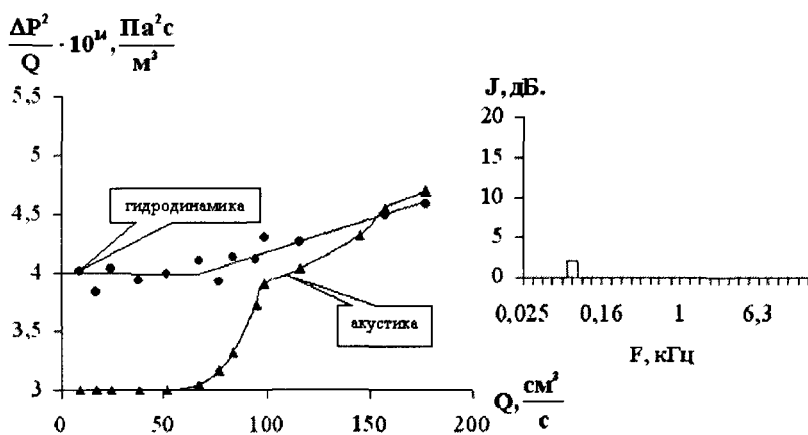


Рис 2 Фильтрация газа через керн №26/114(2)

Значение критической скорости фильтрации, при превышении которой наблюдалось возникновение шумов, различно для разных образцов пористых сред и совпадает с критическим расходом газа соответствующим верхнему пределу справедливости закона Дарси. Причем воспроизводимость значения $Q_{кр}$ при определении его АГДМ выше чем при определении его только

гидродинамическими методами. При повторных исследованиях одного и того же образца пористой среды гидродинамическими методами разброс в значениях $Q_{кр}$ может достигать двух и более раз. При определении $Q_{кр}$ акустическими методами разброс значений не превышает 10%.

Вид спектральной характеристики возникающих акустических шумов и закономерности его изменения при увеличении скорости фильтрации индивидуален для каждого образца пористой среды. Эти характеристики хорошо воспроизводятся при повторении экспериментов, что позволяет сделать вывод о взаимозависимости вида спектральной характеристики и закономерности ее изменения с микроструктурой пористой среды и режимами фильтрации. Спектральные характеристики шумов одного из ядер для различных режимов фильтрации показаны на рисунке 3.

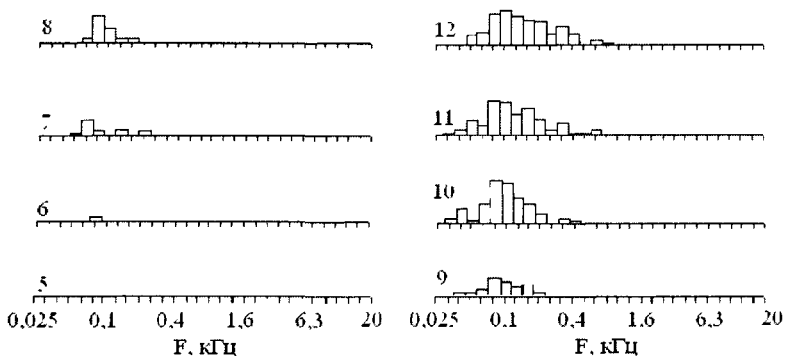


Рис 3 Спектральные характеристики шумов ядра № 26/114(2)

При теоретическом исследовании зависимости гидродинамических параметров и закономерностей распространения звуковых волн в пористых средах от геометрических характеристик пор, представим поры в образце в виде совокупности каналов различных диаметров, длин и конфигураций.

Длина исследуемого образца - L , однако длины отдельных каналов L_1, L_2 и т.д. за счет извилистости могут быть существенно больше. Учитывая, что диаметры пор существенно меньше их длины, их можно рассматривать как «очень» узкие трубы. Известно, что распространение акустических волн в

таких каналах не зависит от того, прямая их ось или изогнутая, во всех случаях параметры волны постоянны по всему сечению, зависят только от одной координаты - расстояния, отсчитываемого вдоль оси трубы. Скорость волн, отсчитываемая вдоль оси трубы с жесткими стенками равна скорости звука в неограниченной среде.

Распространение звука в таких каналах описывается одномерным волновым уравнением

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} * \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = 0 \quad (4)$$

где P - давление звуковой волны, x - координата, отсчитываемая вдоль оси канала, c - скорость звука, t - время

Если волны распространяются в конечных отрезках трубы (поры), закрытой абсолютно жесткими или абсолютно мягкими поверхностями, то в такой трубе возможны только стоячие волны, и притом только определенных дисперсных частот, которые называются собственными частотами.

В канале с одной абсолютно жесткой и другой абсолютно мягкой торцевой поверхностью, на одном конце должна быть пучность, а на втором - узел давлений. Поэтому на длине канала должно укладываться нечетное число четвертей длины волны.

При акустических исследованиях пористых сред акустические импедансы для каждой поры естественно не известны, однако если известна собственная частота f , то длина соответствующих пор может быть определена по следующей формуле с точностью до $1/8$ длины звуковой волны.

$$L_1 = \frac{3c}{8f} \quad (5)$$

где c - скорость звука, f - собственная частота.

Для нахождения искомых зависимостей и исследования изменения спектральной характеристики шумов от микроструктуры пористой среды и режима фильтрации были проведены исследования АГДМ на имитационных моделях - представляющих из себя металлические цилиндры в которые герметично устанавливались один или несколько капилляров различных

диаметров и длин. Эти цилиндры с капиллярами вставлялись в испытательный стенд, вместо керна, и проводились их исследования АГДМ.

По полученным результатам измерений строились две кривые, отображающие зависимости изменения перепада давления ΔP и величины $\Delta P^2/Q$ от расхода газа Q . Кроме того измерялись интенсивность и спектральный состав шумов, возникающих при течении газа. Помимо зависимости изменения перепада давления от расхода газа, полученной экспериментально, аналогичная зависимость строилась расчетным путем. Входящие в уравнение коэффициенты подбирались эмпирически с целью минимизации расхождений между результатами полученными экспериментально и из теоретических расчетов. Аналогично уточнялись диаметр капилляра, величина местного сопротивления и зависимость изменения коэффициента гидравлического сопротивления от режима течения газа в капилляре. Эти данные сопоставлялись с параметрами возникающих акустических шумов, что позволило установить зависимость интенсивности шума и его спектральной характеристики от геометрических характеристик капилляра и режима течения газа.

Для расчета основных гидродинамических параметров при течении газа в капиллярах используются известные уравнения трубной гидравлики. Экспериментально полученные значения и результаты расчетов показаны на рисунке 4.

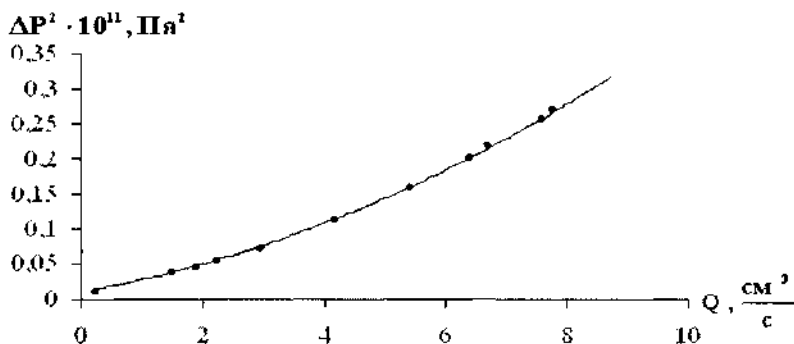


Рис. 4 Индикаторная кривая, полученная при фильтрации через капилляр

Точки построены по результатам экспериментов, а кривая построена в соответствии с проведенными расчетами. Обработка результатов выполнялась также в координатах $\Delta P^2/Q$ от Q , что позволяет сопоставлять полученные результаты с данными гидродинамических исследований кернов. Результаты показаны на рисунке 5.

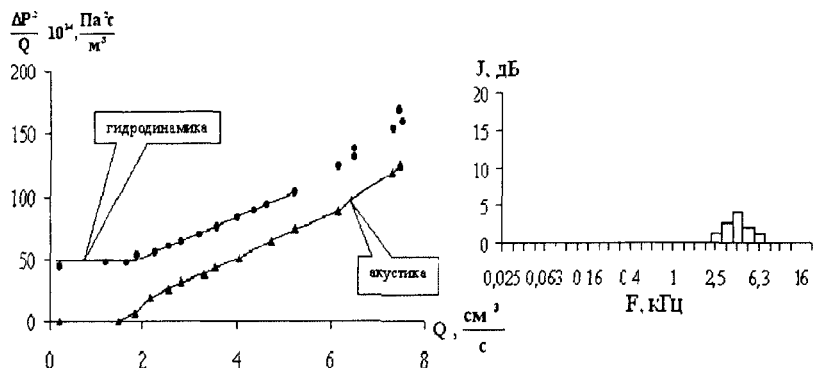


Рис 5 Обработка результатов исследований фильтрации газа через капилляр

При относительно малых расходах газа, меньших критического $Q < Q_{кр}$, график представляет собой прямую с малым углом наклона, близкую к горизонтальной, при $Q \geq Q_{кр}$ наклон прямой существенно увеличивается. При расходах газа соответствующих скоростям, приближающимся к звуковым, график становится нелинейным, круто уходящим вверх.

На рисунке 5 показан также график, отображающий зависимость изменения интенсивности возникающих акустических шумов от расхода газа и спектральный состав шумов на режиме близком к критическому. Для установления зависимости между геометрическими размерами капилляров, режимом течения и характеристиками возникающих акустических шумов, производились их измерения и частотный анализ.

При разработке математической модели истинное распределение пор по размерам заменялось на дискретный набор групп пор. Можно считать, что поры в каждой группе имеют одинаковые диаметры, различные для разных групп. Таким образом пористую среду представим в виде совокупности

групп пор, каждая из которых содержит изогнутые цилиндрические трубки определенного для данной группы диаметра - d_i и длины - L_i . Пример такого распределения пор на группы по размерам показан на рисунке 6

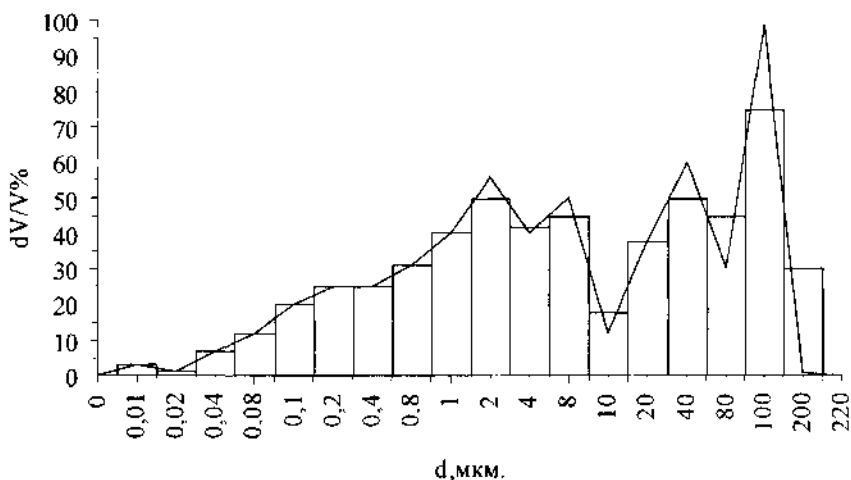


Рис 6 Кривая распределения диаметров пор по размерам с разбиением на группы

Расчеты выполнялись на основе стандартных уравнений трубной гидравлики и эмпирически подобранных зависимостей

Общий расход газа через образец на каждом режиме определялся как сумма расходов через каждую группу пор на этом режиме

В соответствии с разработанной математической моделью, создана программа для расчетов на ЭВМ гидродинамических параметров фильтрации газа в пористых средах. По этой программе выполнен расчет гидродинамических параметров для кернов, поровый состав одного из них представлен на рисунке 6. График зависимости $\Delta P^2/Q$ от Q , иллюстрирующий закон фильтрации, показан на рисунке 7. Анализ результатов расчетов фильтрации газа по данной математической модели позволяет получить зависимости относительных расходов газа через группы пор различных диаметров на различных режимах. Одна из этих зависимостей показана на рисунке 8.

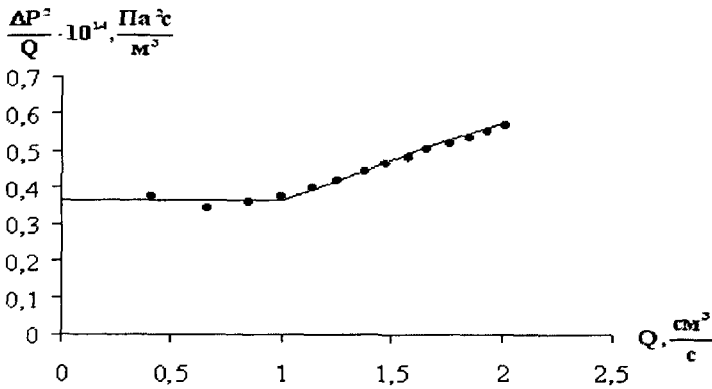


Рис 7 Результаты расчетов гидродинамических параметров фильтрации газа по данным моделирования

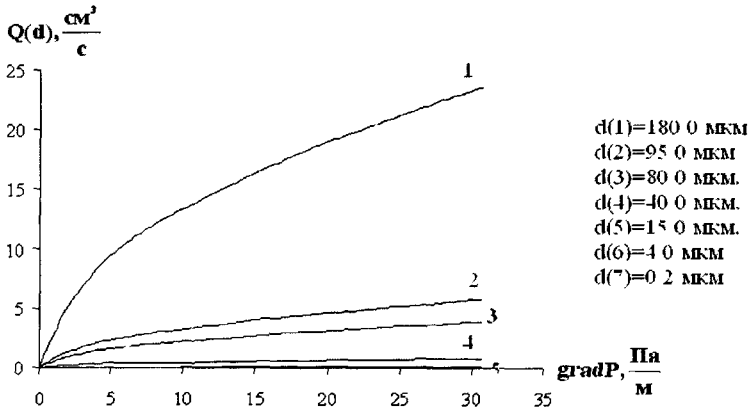


Рис 8 Зависимость относительных расходов газа через группы пор различных диаметров на различных режимах

В четвертой главе освещен вопрос создания и испытания глубинного акустического прибора

Описываемая аппаратура для комплексного АГДМ исследования скважин разработана на кафедре РиЭГиГКМ совместно с лабораторией Геофизических информационно измерительных систем РГУ нефти и газа им

И М Губкина В разработке аппаратуры принимали участие Моисеенко А С , Ивапов Д И , Вальков Ю А , Горохов А В и Красновидов Е Ю

Применение аппаратуры АГДМ на практике позволяет определить интервалы притока газа и жидкости, вынос твердых частиц из призабойной зоны скважины, дебит скважины отдельно по газу и жидкости, а так же дебит газа и жидкости из перфорационных отверстий, зоны межпластовых перетоков газа и утечки в местах дефекта колонны. Преимущество метода заключается в высокой чувствительности и эффективной работе в осложненных условиях при загрязнении скважины. Недостатком ее освоения, а так же при выносе пластовой жидкости. Метод АГДМ также позволяет устанавливать максимально допустимые дебиты газовых скважин и вести их эксплуатацию без разрушения призабойной зоны. Для работы с глубинным шумомером пригодны стандартные геофизические станции. В приборе установлен датчик для получения информации в ультразвуковом и низкочастотном диапазонах. На рисунке 9 приведена блок-схема скважинного шумомера с наземной измерительной панелью.

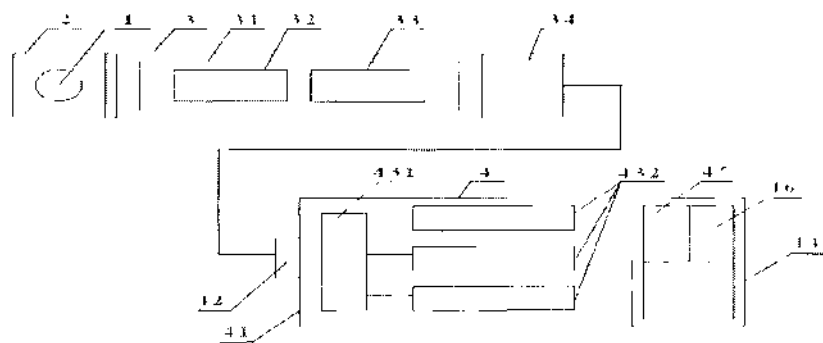


Рис 9. Блок-схема скважинного прибора с наземной панелью

1-пьезокерамический датчик, 2-фонарь датчика, 3-скважинный глубинный прибор, 3.1-защитный металлический корпус, 3.2-шасси, 3.3-монтажные платы, 3.4-кабельная головка, 4-наземная измерительно-преобразовательная панель, 4.1-корпус, 4.2-штекерные входы-выходы, 4.3- монтажные платы, 4.4-блок коммутации, 4.5,4.6-стрелочные приборы

Находясь в стволе работающей скважины, чувствительный элемент шумомера фиксирует звуковое излучение, создаваемое потоком газа. На выходе пьезодатчика появляется электрический сигнал, поступающий в электронный блок предварительного усиления и далее по кабелю на поверхность. Области с наиболее развитой турбулентностью генерируют звук большей интенсивности. Поэтому против газоотдающих интервалов сигналы, вырабатываемые датчиком, имеют большую амплитуду.

Шумограмма записывается на фоторегистратор и магнитную ленту и впоследствии может быть воспроизведена в лабораторных условиях. Принимая площадь всех аномалий шума за единицу и вычисляя долю площади каждой аномалии от суммарной, можно оценить дебит скважины из каждого работающего пропластка в соотношении, равном соотношению площадей аномалий.

Изготовленный прибор прошел испытания, результаты которых приведены в работе.

В заключении обобщаются результаты выполненной работы и приводятся основные выводы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Расчеты по определению фильтрационных характеристик пористых сред в зависимости от усредненных диаметров поровых каналов показали, что такой подход, в ряде случаев, является слишком грубым приближением, не отображающим реальной картины фильтрации.
2. Более достоверными являются результаты, получаемые на основании расчетов выполненных с учетом порового состава исследуемых образцов. Поровый состав может быть определен методом ртутной порометрии, либо в результате АГДМ исследований.
3. В работе установлены зависимости между фильтрационными параметрами пористой среды и ее поровым составом. Для установления связи между гидродинамическими и акустическими параметрами экспериментально исследовалось течение газа в капиллярах, имитирующее фильтрацию газа в пористых средах. В результатах

сопоставления экспериментально полученных и расчетных значений параметров течения газа в капиллярах были получены эмпирические выражения, описывающие эти процессы. Для различных капилляров была установлена зависимость между частотной характеристикой излучаемых акустических шумов и геометрическими размерами капилляров.

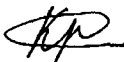
4. Использование данных ртутной порометрии о распределении пор по размерам и результатов акустико-гидродинамических исследований кернов и капилляров позволили создать математическую модель, устанавливающую зависимость между поровым составом образца и его фильтрационными свойствами.
5. Разработаны алгоритм и программа для выполнения расчетов параметров пористых сред на ЭВМ, на основании данных о распределении пор по размерам. Математическая модель позволяет определять закономерность изменения гидродинамического сопротивления на разных режимах фильтрации и оценивать эффективность работы групп пор различных диаметров. Расчетным путем можно также определять проницаемость, макрошероховатость и критическое число Рейнольдса.
6. Полученные в работе результаты могут быть использованы для уточнения фильтрационных и коллекторских свойств газоносных пород и интерпретации данных, получаемых при экспериментальных исследованиях скважин акустико-гидродинамическими методами.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Красновидов Е. Ю. Акустико-гидродинамические исследования кернов. М., Нефть и газ, 1997 г., материалы Второй Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности России «Новые технологии в газовой промышленности»

- 2 Красновидов Е Ю Акустико-гидродинамические исследования пористых сред М, Нефть и газ, 1999 г, материалы Третьей Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности России «Новые технологии в газовой промышленности»
- 3 Коротяев Ю П, Иванов Д И, Красновидов Е Ю Исследование фильтрации газа в пористых средах М, «Газовая промышленность», № 6, 1999
- 4 Красновидов Е Ю Акустико-гидродинамические исследования пористых сред М, Нефть и газ, 2003 г, материалы Пятой Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности России «Новые технологии в газовой промышленности»
- 5 Красновидов Е Ю Акустико-гидродинамические исследования пористых сред М, Нефть и газ, 2005 г, материалы шестой научно-технической конференции, посвященной 75-летию Российского Государственного Университета нефти и газа им И М Губкина. «Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России»

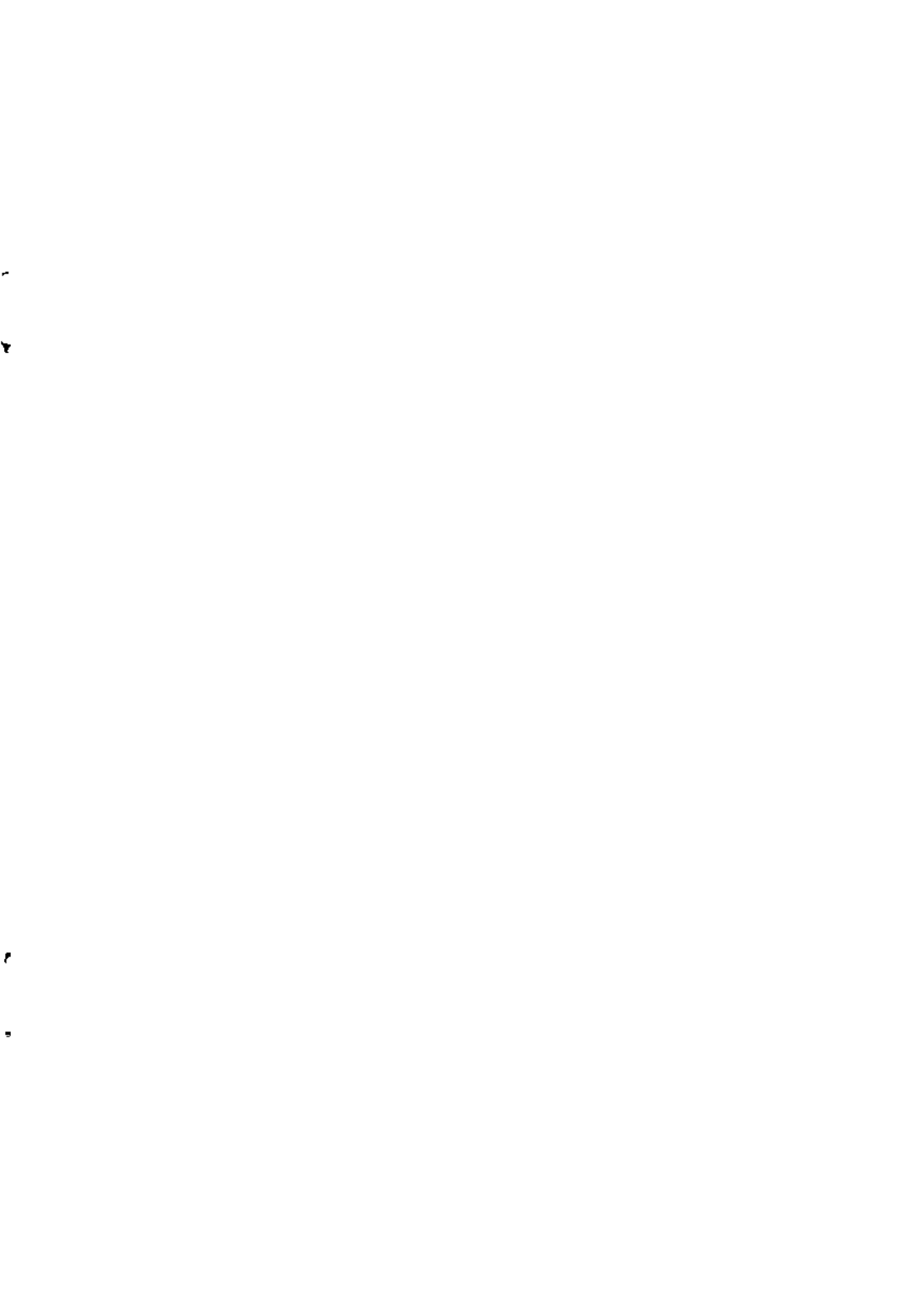
Соискатель
Тел раб 930-92-26



Красновидов Е Ю.

Для заметок

Для заметок



#12171

РНБ Русский фонд

2006-4

6925

Заказ № 919 Подписано в печать 17 05 05 Тираж 100 экз Уст. п. л. 0,92

ООО "Цифровичок", тел (095) 797-75-76
www.cfr.ru