

УДК 681.883.9:621.317.342

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОХОВОГО ГЕНЕРАТОРА АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ЭХОМЕТРИРОВАНИЯ СКВАЖИН

Е.А. Сикора

Томский политехнический университет

E-mail: o-sea@tpu.ru

Исследован новый альтернативный источник энергии для возбуждения зондирующего сигнала – монтажный патрон. Установлены области использования таких источников, основной из которых является скважины с низким затрубным давлением. Подтверждено, что точность измерения, в первую очередь, зависит от информативности принятого отраженного сигнала, полноты его фиксации и уровня фильтрации.

### Ключевые слова:

Эхометрирование, пороховой монтажный патрон, скважина, обработка сигналов, корреляционный анализ, спектральный анализ, время распространения волны.

### Key words:

Echolocation, powder assembly cartridge, oil well, signal processing, correlation analysis, frequency analysis, sound-wave transit time.

Извлечение нефти и газа требует организации мониторинга месторождений. Для определения уровня раздела газ-жидкость в скважинах применяются, в основном, методы эхометрирования, основанные на измерении времени прохождения звуковой волны от устья скважины до уровня и обратно [1, 2].

В России и за рубежом существует несколько фирм, массово производящих скважные уровнемеры «ЕХОМЕТЕР», «DELTA-X», «МИКОН», «КВАНТОР», «СИАМ». В приборах отечественных производителей процесс анализа графика эхосигнала (эхограммы), выделения отражений и расчета уровня полностью автоматизирован. Приборы зарубежных производителей выполняют эти функции только в интерактивном режиме с привлечением оператора.

В отечественных приборах реализована корректная регистрация эхосигнала (с помощью микрофона или датчика давления) и хорошая математическая обработка эхограмм. Но, несмотря на это, существует достаточно большая погрешность расчета уровня [3, 4], которая в некоторых случаях достигает до 50...100 м. Точность расчета уровня, а, главное, его достоверность – неотъемлемое условие правильной эксплуатации дорогостоящего подземного оборудования (насосов). Особенно это актуально в случае работы насосов при малых подпорных давлениях, создаваемых столбами затрубной жидкости до 100...150 м [5].

Существуют две основных проблемы определения уровня жидкости в межтрубном пространстве скважины [3, 5]:

1. Низкая точность оценки скорости звука в межтрубном газе исследуемой скважины.
2. Сложность распознавания временного положения отражений от уровня жидкости на эхограмме.

Остановимся на второй проблеме более подробно. Известно, что распознавание положений отраженных сигналов, в первую очередь, зависит от формы и характеристик зондирующего сигнала, излучаемого акустическим генератором (рис. 1).

На настоящем этапе акустические генераторы излучают сигналы, выпуская газ из скважины или выпуская в нее, используя автоматические (далее автомат) и ручные клапаны. Это приводит к тому, что форма и характеристики зондирующего сигнала зависят не только от затрубного давления, но и от конструкции и режима работы клапана. В связи с тем, что затрубное давление в скважинах изменяются, не удается излучать сигнал со стабильной формой и характеристиками существующими генераторами. Среди факторов, оказывающих влияние на отраженный сигнал, выделяют: конструктивное исполнение сборки насосно-компрессорных труб и обсадной колонны, изменение плотности газа по глубине, газовый фактор.

Также необходимо отметить невозможность использования выпускных клапанов в ситуации, ког-

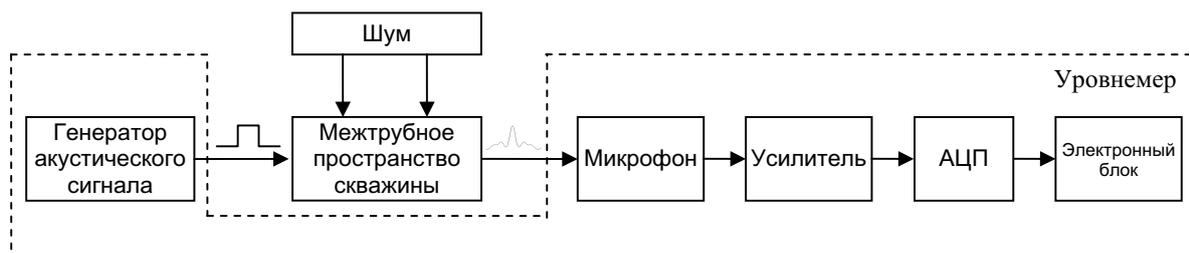
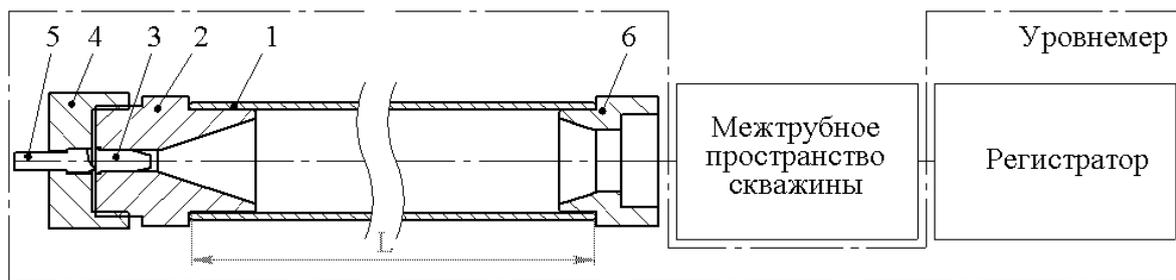


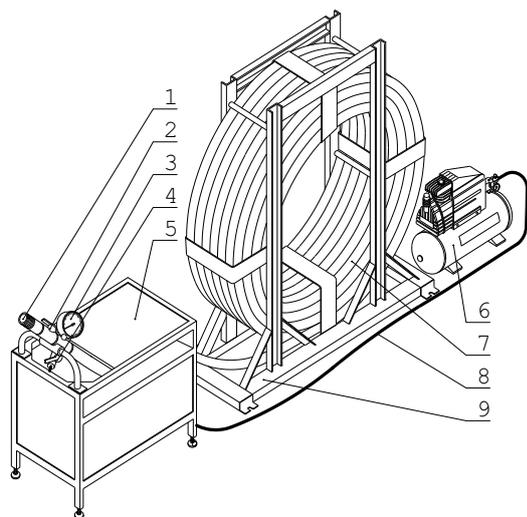
Рис. 1. Структурная схема системы эхометрирования



**Рис. 2.** Конструктивная схема порохового генератора акустического сигнала: 1) ствол-камера; 2) патронник; 3) патрон; 4) прижим; 5) боек; 6) муфта присоединительная

да затрубное давление отсутствует. В этом случае необходимо использовать впускной клапан, либо совершенно новые источники сигналов.

Актуальной является работа по исследованию новых альтернативных источников энергии для возбуждения зондирующего сигнала. В данной работе в качестве такого источника рассматриваются характеристики порохового монтажного патрона ТУ 3-795-85 (далее патрон). Монтажные патроны для порохового инструмента по степени опасности согласно ГОСТ 19433–88 относятся к классу 4, подклассу 4.1 – легковоспламеняющиеся твердые вещества, т. е. вещества и материалы, способные воспламениться от кратковременного (до 30 с) воздействия источника зажигания с низкой энергией (пламя спички, искра, тлеющие тела и т. п.). Пороховой состав является кислорододефицитным, не выделяет кислород, т. е. не может являться источником возгорания затрубного газа скважины в замкнутом объеме. В связи с этим требуются специальные исследования Ростехнадзора РФ для получения разрешения их использования на нефтяных и газовых скважинах.



**Рис. 3.** Схема испытательного стенда уровнемеров: 1) присоединительный патрубок; 2) шаровой кран отсечения волновогода; 3) манометр; 4) шаровой кран отсечения компрессора; 5) рабочий стол; 6) компрессор; 7) звуковой канал постоянного сечения, закупоренная с одного конца; 8) соединительный шланг подачи давления; 9) рама крепления волновогода

Цель работы – изучение возможности использования монтажных патронов ДЗ для возбуждения информационных сигналов для эхометрирования.

Исследования характеристик разработанного порохового генератора акустического сигнала (рис. 2) проводились на испытательном стенде (рис. 3), имитирующем участок реальной скважины.

Для генерации импульсов в трубе испытательного стенда, длиной 100 м, нагнеталось давление 1...7 атм с шагом 2 атм. Зондирующий импульс генерировался в стволе-камере длиной  $L=600$  мм посредством патрона с энергией порохового заряда 960 Дж. Регистрация колебаний производилась пьезодатчиком, далее сигнал усиливался, оцифровывался и передавался на компьютер (рис. 4).

Основной характеристикой любого сигнала является длительность (рис. 5), которая определяет мгновенную мощность сигнала. Длительность сигнала порохового генератора на порядок меньше, чем длительность сигнала, полученного с помощью управляемого скоростного автоматического клапана, это обусловлено принципом работы источника.

Форма излучаемого сигнала напрямую зависит от принципа его возбуждения. Для автоматического клапана (рис. 5, а) характерен синусоидальный сигнал: «провал» характеризуется открытием клапана и сбросом газа в атмосферу, «всплеск» – закрытием клапана и резким локальным ростом давления. Для монтажного патрона (рис. 5, б) характерен импульсный сигнал, при высоких давлениях он обогащается высокочастотной составляющей, обусловленной колебаниями в стволе-камере, распространяющимися с взрывной скоростью.

Для определения ширины спектра эхограмм и диапазона частот, в пределах которого сосредоточена основная мощность сигнала, был проведен спектральный анализ – быстрое преобразование Фурье, что позволило оценить основные и шумовые составляющие сигналов. Проведенный анализ (рис. 6) показал, что пороховой генератор формирует широкополосный сигнал, при многократном отражении спектр такого сигнала меняется незначительно, основная частота стабильна, чего нельзя сказать о сигнале, полученном при использовании автоматического клапана. Волновой канал стенда обладает собственной частотой, поэтому спектры сигналов, распространяющихся по скважине,

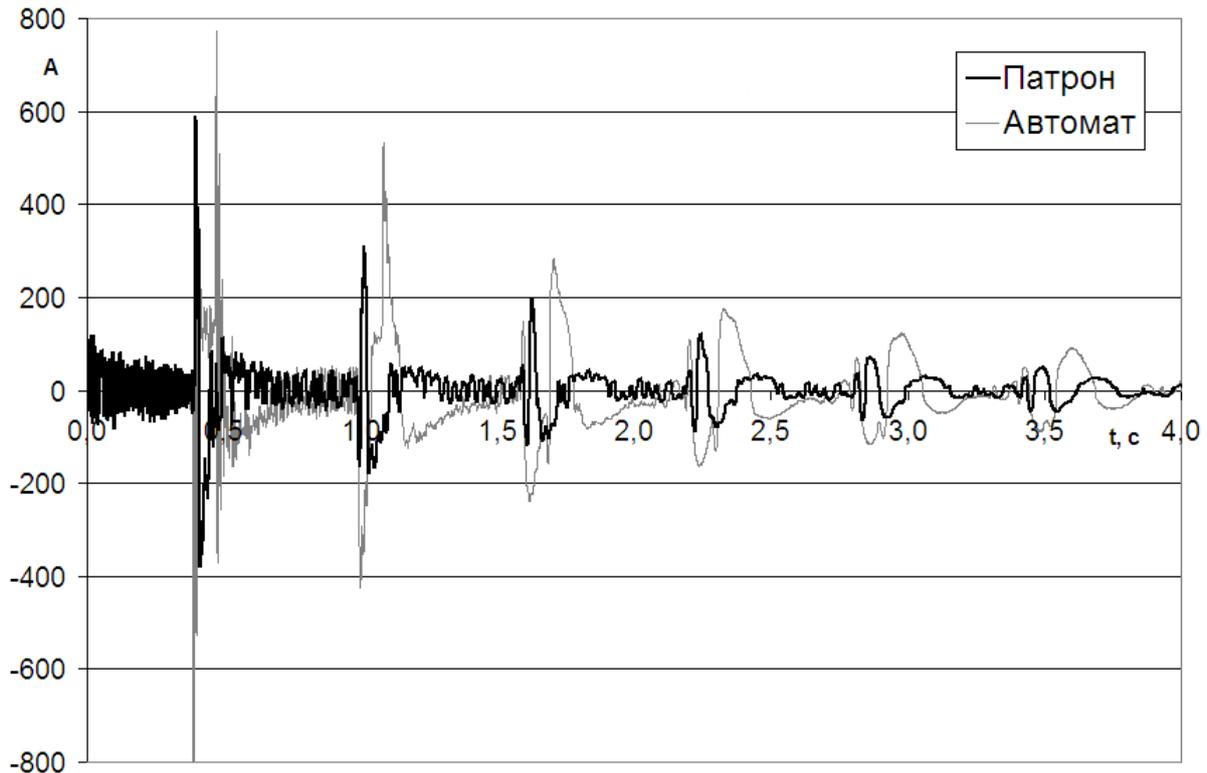


Рис. 4. Эхограммы, полученные на испытательном стенде при давлении 3 атм

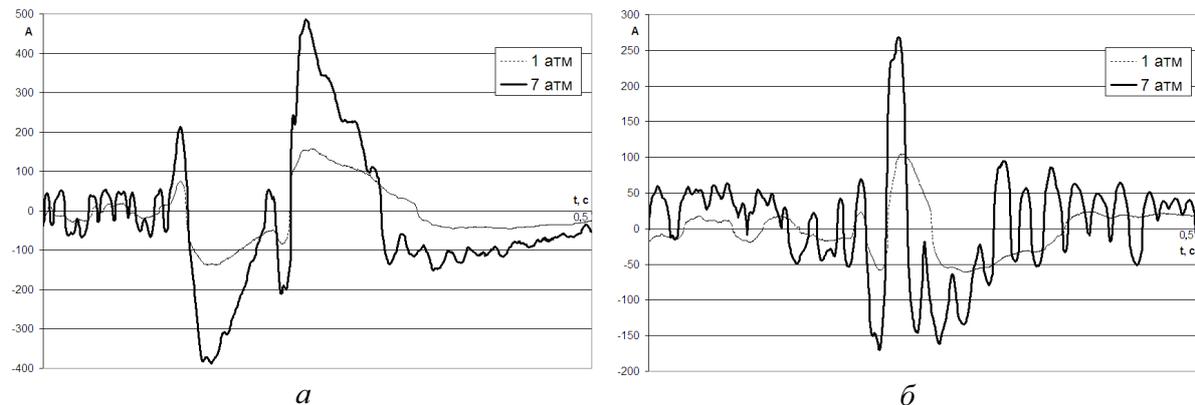


Рис. 5. Акустические сигналы уровнемеров-эхолотов с различными генераторами: а) автоматический клапан (длительность открытия 0,05 с); б) патрон

трансформируются – их энергия перераспределяется, основная частота, близкая к собственной частоте стенда, изменяется: для патрона – с 6 на 4 Гц; для автомата – с 2 на 4 Гц. Остальные частоты в сигналах затухают, что видно по спектрам четвертых отражений.

Для оценки точности распознавания временного положения отражений проведен корреляционный анализ эхограмм (рис. 7). В ходе анализа было установлено, что автокорреляционная функция эхограммы, полученной с помощью порохового генератора, компактнее, чем для эхограммы, полученной с помощью автоматического клапана. Из вышесказанного следует, что применение для эхометрирования патронов позволит повысить точность временного распознавания уровня.

Для оценки точности распознавания временного положения отражения на эхограмме были проведены измерения ширины главных максимумов, соответствующих отражениям от конца трубы, на уровне 70 % от величины их амплитуды [7]. Полученные данные представлены в табл. 1.

Из полученных данных видно, что уже на третьем максимуме корреляционной функции происходит стабилизация его ширины, по которой можно сделать вывод об относительной точности эхометрирования с использованием различных источников сигналов. Установлено, что применение сигналов порохового источника, характеризующихся меньшей шириной максимумов, позволяет увеличить точность измерения разделов газ-жидкость в нефтяных и газовых скважинах методом эхометрирования как минимум в два раза.

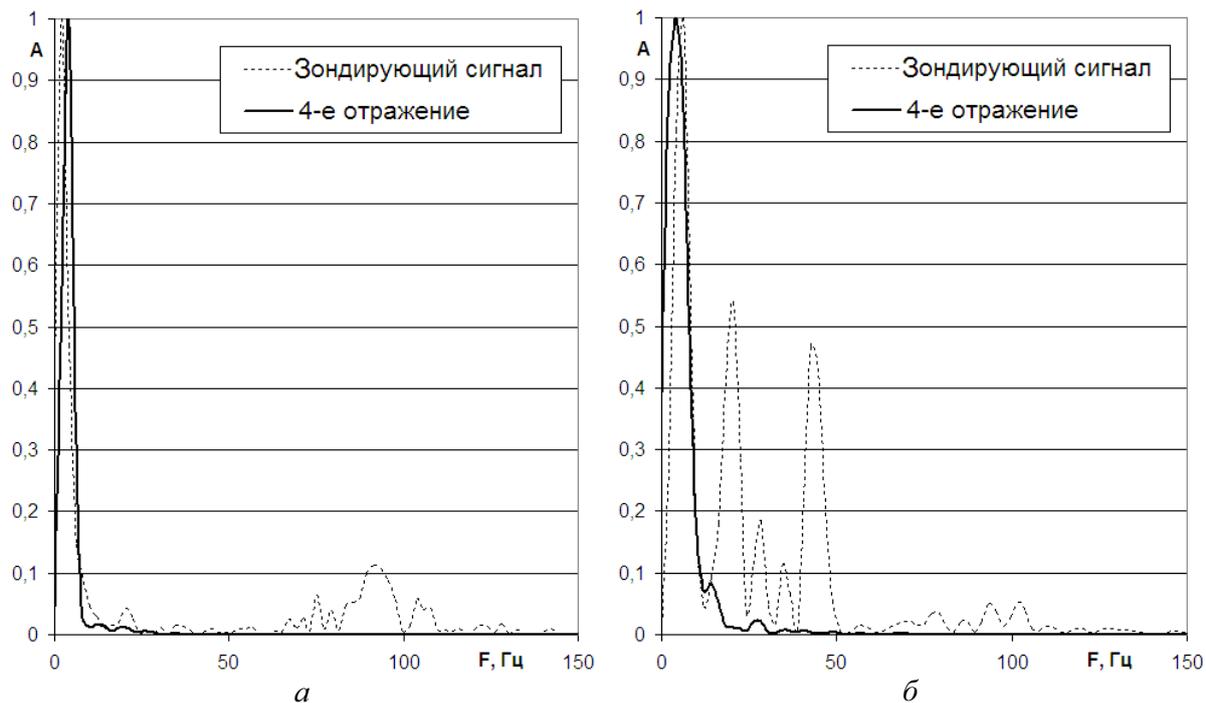


Рис. 6. Спектрограммы участков эхограмм (давление 3 атм), полученных при использовании различных генераторов: а) автоматический клапан (длительность открытия 0,05 с); б) патрон

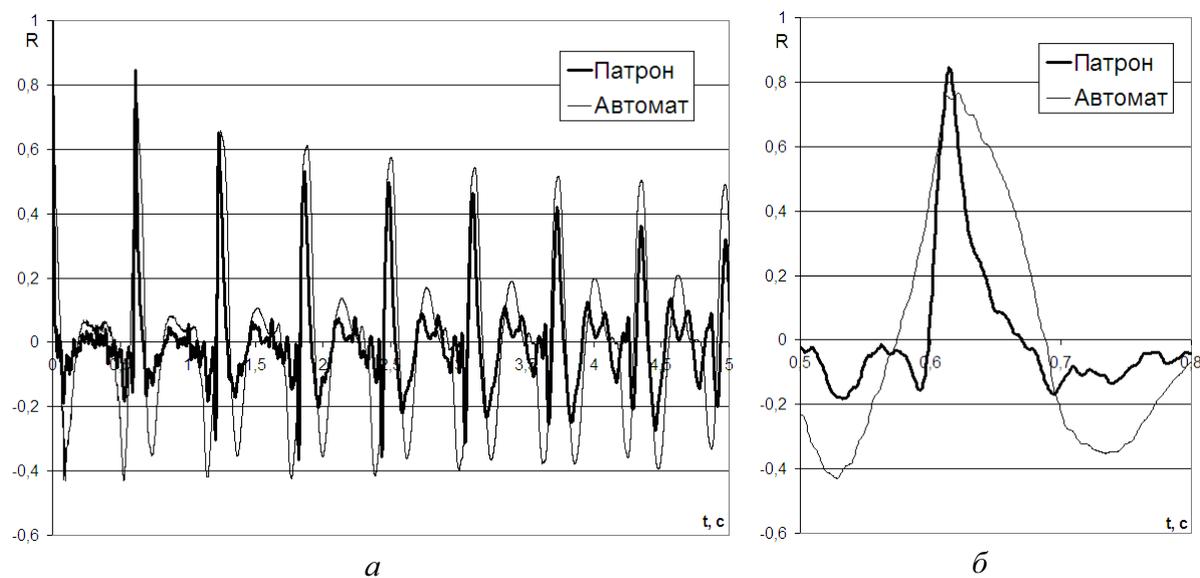


Рис. 7. Автокорреляционные функции эхограмм для разных генераторов на интервалах времени: а) 0...5; б) 0,5...0,8 с

Таблица 1. Ширины главных максимумов корреляционной функции эхограмм (ошибка определения уровня)

Источник	Ширина максимума, с					Ошибка определения уровня, м				
	1	2	3	4	5	100	200	300	400	500
Патрон	0,013	0,025	0,036	0,035	0,033	3,9	7,5	10,8	10,5	9,9
Автомат (0,05 с)	0,049	0,066	0,069	0,067	0,065	14,7	19,8	20,7	20,1	19,5

Расчетные и экспериментальные значения характеристик генерируемых сигналов приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Расчетные и экспериментальные значения характеристик генерируемых сигналов при давлении 3 атм

№ п/п	Характеристика	Патрон	Автомат (0,05 с)
1	Длительность сигнала, с	0,1	0,35
2	Ширина спектра (диапазон частот), Гц	46 (2...48)	7 (1...8)
3	База сигнала	4,6	2,45
4	Динамический диапазон, Б	1,0987	1,2954
5	Объем сигнала	5,05	3,17
6	Энергетические характеристики, у. е.	–	–
6.1	Мгновенная мощность	600	770
6.2	Средняя мощность	50	20
6.3	Энергия	1245	8770

Из таблицы видно, что сигнал пороховой источника информативнее, обладает большей шириной спектра, базой и объемом, при условии, что его энергия на порядок ниже сигнала применяемых автоматических выпускных клапанов. В ходе исследований было установлено, что характеристики высоко импульсного широкополосного сигнала ста-

бильны для диапазона затрубного давления 1...8 атм, чего нельзя сказать о сигнале выпускного источника. Сигнал порохового источника практически не содержит шумовой составляющей, поэтому его энергетика определяется только информационной составляющей.

#### Выводы

1. Изучена возможность использования альтернативного источника энергии на основе порохового генератора для возбуждения зондирующего сигнала при исследовании нефтедобывающих скважин.
2. Показано, что сигнал, полученный при помощи порохового источника энергии, обладает большей информативностью, об этом свидетельствует диапазон частот в излучаемом сигнале, в 7 раз превышающий диапазон сигнала выпускного клапана.
3. Установлено, что корреляционная функция сигнала порохового источника в 2 раза компактнее применяемых выпускных клапанов, благодаря чему все максимумы четко выделяются, в 2 раза снижается ошибка определения уровня раздела газ-жидкость.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фурдуев В.В. Прикладная акустика. – СПб.: Стройиздат, 1986. – 512 с.
2. Кайно Г. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. – М.: Мир, 1990. – 652 с.
3. Заворотко Ю.М. Методика и техника геофизических исследований скважин. – М.: Недра, 1974. – 293 с.
4. Гришин Ю.П., Ипатов В.П., Казаринов Ю.М. Радиотехнические системы. – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
5. Крец В.Г. Нефтегазопромысловое оборудование. – Томск: Изд-во ТПУ, 1998. – 184 с.
6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 1988. – 446 с.
7. Бендат Дж., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа. – М.: Мир, 1983. – 312 с.

Поступила 19.05.2010 г.