

УДК: 622.243.14

Канд. техн. наук ФИЛИМОНЕНКО Н. Т. (ДонНТУ)

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ВНУТРИСКВАЖИННОЙ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ПРОМЫВКИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ШЛАМА В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ПОТОКЕ**

Цель экспериментальных работ – проверка достоверности основных результатов теоретического анализа внутрискважинного пульсирующего циркуляционного процесса и движения твердой частицы в вертикальном пульсирующем потоке. Исследования проводились в рамках опытно-промышленной проверки работоспособности технологического оборудования для создания внутрискважинной пульсирующей промывки скважин на буровом полигоне ПТУ № 53 г. Артемовска.

При выборе контрольно-измерительной аппаратуры автор учитывал опыт экспериментальных работ с насосными установками [1], собственный опыт исследований пульсационных пневматических вытеснителей [2] и рекомендации применительно к измерению и регистрации быстропеременных величин [3]. Величина ошибок результатов измерений определялась методом, изложенным в работах [4, 5].

В ходе проверки достоверности основных результатов теоретического анализа внутрискважинного пульсирующего циркуляционного процесса устанавливалась сходимость прогнозируемой и полученной экспериментально продолжительности рабочего цикла пневматического вытеснителя.

Экспериментальные исследования включали два этапа.

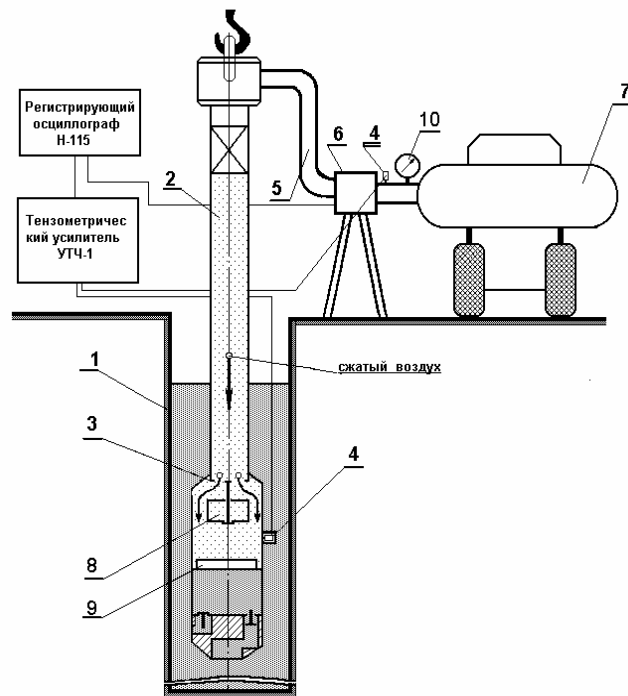
1. Осциллографирование изменения давления в вытеснительной камере на этапе вытеснения.

2. Измерение длительности активной и пассивной частей рабочего цикла пневматического вытеснителя с поверхностным воздухораспределителем в процессе бурения.

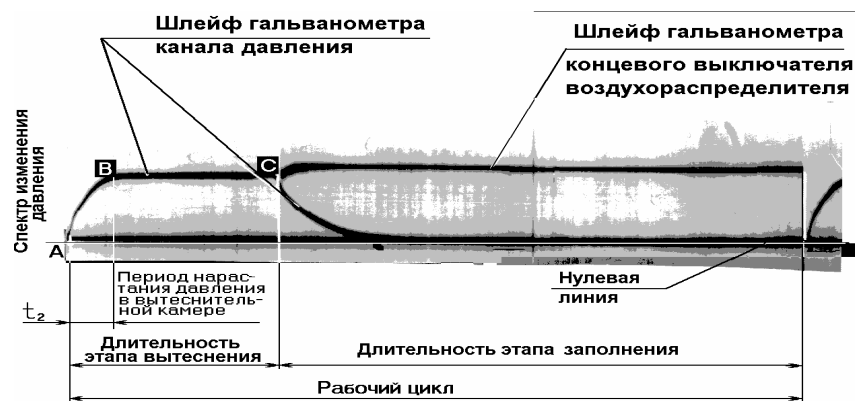
Первый этап производился вне технологического процесса бурения скважины, поскольку очень сложно передать сигнал от тензометрического датчика давления по вращающейся колонне бурильных труб.

Для того чтобы произвести осциллографирование изменения давления в вытеснительной камере на этапе вытеснения и измерить длительность активной и пассивной частей рабочего цикла пневматического вытеснителя с поверхностным воздухораспределителем в скважину 1 (рис.1) на бурильных трубах 2 опускался вытеснительный цилиндр 3 с предварительно оттарированным тензометрическим датчиком давления 4, помещенным в специальный кожух с целью избежания его ударов о стенки скважины. От тензометрического датчика сигнал поступал на тензометрический усилитель УТЧ-1, усиливался и регистрировался на фотопленке с помощью осциллографа Н-115.

Момент начала подачи воздуха от компрессора 7 в нагнетательную линию 5 фиксировался с помощью концевого выключателя, кнопка которого взаимодействовала с рукояткой ручного воздухораспределителя 6. При подаче воздуха в нагнетательную линию питание на гальванометр тензометрического осциллографа не подавалось (шлейф этого гальванометра совмещен с нулевой линией). При переключении воздухораспределителя на выхлоп, его рукоятка взаимодействовала с кнопкой концевого выключателя, который замыкал цепь питания гальванометра. Одна из полученных осциллограмм приведена на рис. 2.



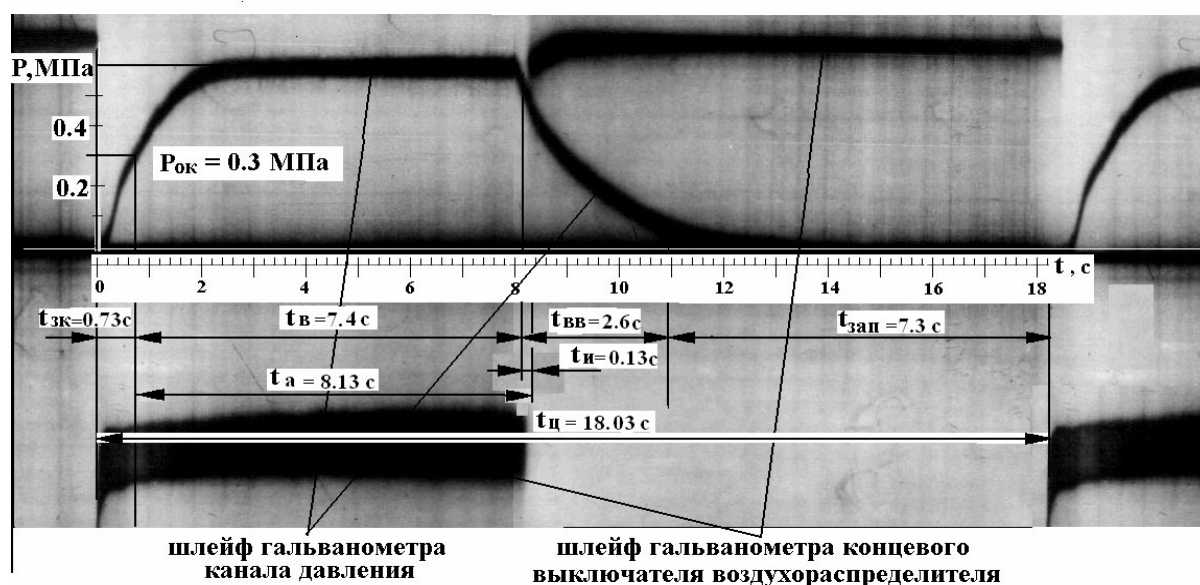
**Рис. 1.** Схема «буровой снаряд-скважина» при осциллографировании изменения давления в вытеснительной камере. 1 – скважина, 2 – буровые трубы, 3 – вытеснительный цилиндр, 4 - тензометрический датчик давления, 5 – нагнетательная линия, 6 – воздушораспределитель, 7 – компрессор, 8 – верхний поплавок, 9 – нижний поплавок, 10 - манометр



**Рис. 2.** Осциллограмма изменения давления в вытеснительной камере пневматического вытеснителя с воздушораспределителем, установленным на поверхности

По полученным осциллограммам проводилась оценка соизмеримости длительности нарастания давления в вытеснительной камере с этапом вытеснения в целом. В результате доказана некорректность допущения постоянства давления воздуха в вытеснительной камере на данном этапе применительно к вытеснителю с поверхностным воздушораспределителем.

На рис. 3 приведена одна из осциллограмм изменения давления в вытеснительной камере пневматического вытеснителя с воздушораспределителем, установленным на поверхности, в течение рабочего цикла, полученная в ходе бурения с внутрискважинной пульсирующей промывкой.



**Рис.3.** Оциллограмма изменения давления в вытеснительной камере пневматического вытеснителя с воздухораспределителем, установленным на поверхности, в течение рабочего цикла

Тензометрический датчик в этом случае находился вне скважины и располагался в нагнетательной сети рядом с манометром. Работы проводились в полигонных условиях при глубине скважины 40 м. Исходные данные: породоразрушающий инструмент - твердосплавная коронка диаметром 112 мм; длина колонковой трубы 4,5 м; длина шламовой трубы 1,5 м; длина вытеснительной камеры 2 м; длина колонны бурильных труб под вытеснительной камерой 10 м; длина колонны бурильных труб над вытеснительной камерой 23,5 м; наружный диаметр пневматического вытеснителя, шламовой и колонковой труб =108 мм; заглубление вытеснительной камеры под уровень жидкости в скважине 20 м. Уровень жидкости в скважине - подвижный. Параметры очистного агента: плотность восходящего потока равна  $1090 \text{ кг/м}^3$ ; структурная вязкость  $0,004 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; динамическое напряжение сдвига  $0,5 \text{ Па}$ . Породы на забое – Часов-ярские глины. Параметры, характеризующие неньютоновские характеристики жидкости, определялись на месте с помощью прибора ВСН.

Используемое технологическое оборудование: буровая установка УКБ-5П (буровой станок СКБ-5). Сжатый воздух подавался компрессором, обеспечивающим давление и подачу соответственно  $0,3 \text{ МПа}$  и  $9 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Бурильные трубы СБТМ-50.

В табл. 1 приведена оценка сходимости прогнозируемой по разработанной автором методике [6] и полученной экспериментально продолжительности этапов рабочего цикла пневматического вытеснителя с поверхностным воздухораспределителем.

Процент расхождения прогнозируемой и полученной экспериментально продолжительности этапа рабочего цикла пневматического вытеснителя с поверхностным воздухораспределителем не превышает допустимого при инженерных расчетах.

Таким образом, в ходе эксперимента установлена достаточная сходимость прогнозируемой и полученной экспериментально продолжительности рабочего цикла пневматического вытеснителя с поверхностным воздухораспределителем, что подтверждает достоверность результатов теоретического анализа внутрискважинного пульсирующего циркуляционного процесса.

Табл. 1. Оценка сходимости прогнозируемой и полученной экспериментально продолжительностью этапов рабочего цикла пневматического вытеснителя с поверхностным воздухораспределителем.

Наименование параметра	Рассчитанная величина параметра	Измеренная величина параметра	Процент расхождения
Заполнение колонны бурильных труб сжатым воздухом до момента открытия нагнетательного клапана $t_{зк}$ , с.	0,75	0,73	2,7
Время вытеснения промывочной жидкости $t_g$ , с.	7,70	7,40	3,9
Время движения промывочной жидкости по инерции $t_u$ , с.	0,13	Не измерялось	–
Время выхлопа сжатого воздуха из колонны бурильных труб $t_{вв}$ , с.	2,40	2,60	7,7
Время заполнения вытеснительной камеры $t_{зам}$ , с.	6,80	7,30	7,3

Подтверждением основных результатов анализа движения твердой частицы в вертикальном пульсирующем потоке является доказательство, путем проведения эксперимента, справедливости выражения (1), определяющего граничный эквивалентный диаметр частицы шлама, которая, реверсивно двигаясь, не продвигается вверх в пульсирующем восходящем потоке, создаваемом пневматическим вытеснителем с конкретными параметрами рабочего цикла.

$$\delta = \frac{\rho_{ж}^a \left[ \frac{S_1(l_{ш} + l_k)Z}{S_2 t_u - S_1 t_a} \right]^2}{k^2 (\rho_n - \rho_{ж}^a)} \quad (1)$$

где  $S_1$  – площадь кольцевого сечения интервала "забой – верхний торец наружной шламовой трубы";  $S_2$  – площадь кольцевого сечения затрубного пространства над верхним торцом наружной шламовой трубы;  $\rho_n$ ,  $\rho_{ж}^a$  – плотности соответственно шлама и восходящего потока жидкости;  $k$  – коэффициент формы частицы (если частицы имеют сферическую форму, то  $k = 5,0$ ; для несферической формы частицы  $k = 3,0-4,0$  [7]),  $l_{ш}$ ,  $l_k$  – длины соответственно колонковой и шламовой труб;  $t_u$  и  $t_a$  – продолжительности соответственно рабочего цикла пневматического вытеснителя и его активной части.

В лабораторных условиях провести такой эксперимент очень сложно, поэтому он проводился в условиях бурового полигона.

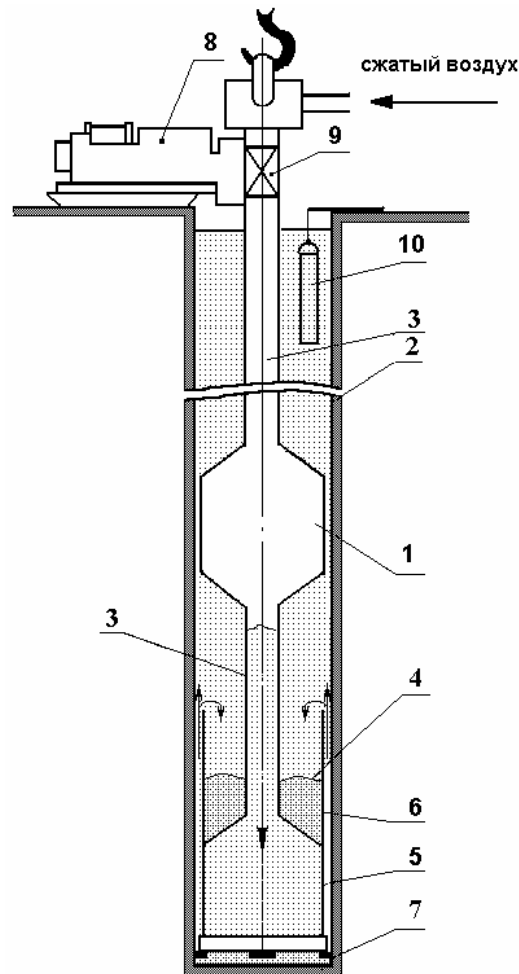
Методика проведения эксперимента следующая.

1. Применительно к конкретным параметрам схемы «буровой снаряд-скважина», а так же рабочего и очистного агента рассчитывалась активная часть и общая продолжительность рабочего цикла погружного пневматического вытеснителя. По формуле (1) определялся граничный эквивалентный диаметр частицы шлама. Такая частица не должна продвигаться вверх.

2. В скважину сбрасывалась проба твердых частиц, которые были получены из плавленого базальта после его дробления и просеивания на сите до размера фракции, который незначительно превышал граничный диаметр. Тогда, если выражение (1) справедливо, в восходящем пульсирующем потоке не должны присутствовать фракции из находящейся в скважине пробы. Плавленый базальт имеет черный цвет, поэтому его легко заметить в пробе шлама.

3. После работы пневматического вытеснителя в верхнюю часть столба жидкости опускалась капсула 10 (рис. 4) для сбора пробы жидкости, и собранная жидкость проверялась на наличие в ней фракций частиц из находящейся в скважине пробы. Причем делалось это быстро, чтобы не восстановилась структура жидкости.

4. Из скважины извлекался буровой снаряд и проверялось содержимое наружной шламовой трубы.
5. Делался вывод.



**Рис. 4.** Схема бурового снаряда при проведении эксперимента. 1 – пневматический вытеснитель, 2 – скважина, 3. – колонна буровых труб, 4 – твердые частицы, 5 – колонковая труба, 6 - шламовая труба, 7 – породоразрушающий инструмент, 8 – буровой станок, 9 - ведущая буровая труба, 10 – капсула для сбора пробы жидкости.

Во время проведения эксперимента буровой снаряд не ставился на забой, а находился в нескольких сантиметрах от него. Это делалось с целью предотвращения измельчения твердых частиц на забое при вращении бурового снаряда.

Схема бурового снаряда при проведении эксперимента показана на рис 4.

Применительно к рабочему циклу, показанному на рис. 3, граничный эквивалентный диаметр твердой частицы, рассчитанный по формуле (1) равен  $8,23 \cdot 10^{-5}$  м. Это очень мелкая фракция. Сита для получения такой фракции отсутствуют. Плотность частицы принималась равной  $2500 \text{ кг/м}^3$  (плотность базальта находится в пределах от  $2220$  до  $2850 \text{ кг/м}^3$ ).

С целью увеличения граничного эквивалентного диаметра частиц были изменены параметры расчетной схемы. Уменьшена глубина заглубления вытеснительной камеры под уровень жидкости с  $20$  до  $12$  м. Увеличено давление сжатого воздуха в нагнетательной сети с  $0,3$  до  $0,5$  МПа. Уменьшено время заполнения вытеснительной камеры  $t_{зан}$  с  $7,3$  до  $3,7$  с. В результате продолжительность этапов рабочего цикла пневматического вытеснителя изменилась и стала следующая:

$t_g = 2,57$  с,  $t_u = 0,33$  с (этот параметр рассчитывался),  $t_{\text{вс}} = 3,1$  с. Общая продолжительность рабочего цикла  $t_{\text{ц}}$  уменьшилась и стала 10,43 с.

Применительно к новым параметрам рабочего цикла граничный эквивалентный диаметр твердой частицы, рассчитанный по формуле (1), равен 0,00024 м. Исходя из этого, проба фракций твердых частиц готовилась с использованием сита с ячейкой 0,0001 м. Такие частицы не должны присутствовать в восходящем потоке при работе пневматического вытеснителя с вышеназванными параметрами рабочего цикла. Анализ содержимого капсулы после работы пневматического вытеснителя подтвердил это. Твердые частицы из плавленного базальта собирались в наружной шламовой трубе.

Таким образом экспериментально доказана справедливость выражения (1), определяющего граничный эквивалентный диаметр частицы шлама, которая, реверсивно двигаясь, не продвигается вверх в пульсирующем восходящем потоке, создаваемом пневматическим вытеснителем с конкретными параметрами рабочего цикла.

#### Выводы

1. Установлен характер изменения давления в вытеснительной камере пневматического вытеснителя с поверхностным воздухораспределителем на этапе вытеснения жидкости. В результате доказана некорректность допущения постоянства давления воздуха в вытеснительной камере на данном этапе.

2. Подтверждена сходимости прогнозируемой и полученной экспериментально продолжительности рабочего цикла пневматического вытеснителя с поверхностным воздухораспределителем. Процент расхождения прогнозируемой и полученной экспериментально продолжительности этапа рабочего цикла пневматического вытеснителя с поверхностным воздухораспределителем не превышает допустимого при инженерных расчетах. Тем самым подтверждается достоверность прогноза параметров рабочего цикла пневматического вытеснителя.

3. Доказана справедливость выражения (1), определяющего граничный эквивалентный диаметр частицы шлама.

4. Подтверждена возможность применения призабойной пульсирующей промывки скважины с малым столбом жидкости с помощью пневматических вытеснителей с поверхностным воздухораспределителем.

#### Библиографический список

1. *Ротте А.Э.* Испытания насосных установок. -М.:Недра, 1967. – 158 с.
2. *Филимоненко Н.Т., Пилипец В.И., Жебаленко А.Ф.* О влиянии динамики столба жидкости в скважине на подачу пульсационного насоса. // Сб. Техника и технология бурения разведочных скважин. - Вып.9. – Свердловск, 1986. – с. 57–59.
3. Тензометрия в машиностроении. /Под общей редакцией Макаровой Р.А. и др.. – М.: Машиностроение, 1975. – 287 с.
4. *Румшинский Л.З., Смирнов С.Н.* Методы обработки результатов эксперимента. М.:1973. – 162 с.
5. *Тимошенко Г.М., Зима П.Ф.* Теория инженерного эксперимента. -Донецк, ДПИ, 1987. – 64 с.
6. *Филимоненко Н.Т., Комарь П.Л.* К вопросу прогнозирования интенсивности призабойной пульсирующей промывки применительно к неньютоновской жидкости. // Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. – 1993.– Вып 16, с.40–49.
7. *Ивачев Л.М.* Промывочные жидкости в разведочном бурении. -М.: Недра, 1975. – 215 с.

© Филимоненко Н. Т., 2006