

*На правах рукописи*

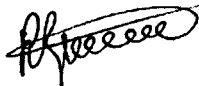
**Чернухин Владимир Иванович**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН  
С РЕГУЛИРУЕМЫМ ДАВЛЕНИЕМ НА ЗАБОЙ**

**Специальность 25.00.15  
Технология бурения и освоения скважин**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**



*Ставрополь – 2005*

Работа выполнена в ОАО «Северо-Кавказский научно-исследовательский проектный институт природных газов» (ОАО «СевКавНИПИгаз»).

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор  
**Гасумов Рамиз Алиджавад оглы**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук  
**Гераськин Вадим Георгиевич**

кандидат технических наук, доцент  
**Девятов Евгений Васильевич**

Ведущая организация

**Филиал «Тюменбургаз» ООО «Бургаз»**

Защита состоится **2 марта 2006 года в 12<sup>00</sup> часов** на заседании диссертационного совета Д 212.245.02 при Северо-Кавказском государственном техническом университете.

Адрес: 355029 г. Ставрополь, проспект Кулакова, 2.

Факс: (8652) 94-60-12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Северо-Кавказского государственного технического университета.

Автореферат разослан **31 января 2006 г.**

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.245.02,  
канд. техн. наук, доцент



Ю.А. Пуля

2006 А  
2930

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Применение традиционной технологии бурения нефтяных и газовых скважин, как правило, предполагает создание существенной репрессии на пласт с целью предупреждения проявлений, сохранения устойчивости стенок скважины и др. Использование такой технологии сопровождается снижением механической скорости проходки и ухудшением коллекторских свойств пластов. Решение указанных проблем применением форсированных режимов бурения, безглинистых буровых растворов, как правило, требует значительных капитальных вложений и не оправдывает себя с технической и экономической точки зрения, особенно при ведении буровых работ в удаленных регионах, в частности в условиях Крайнего Севера. Необходимость разведочного и эксплуатационного бурения в указанном регионе, связанная с его перспективами по запасам углеводородного сырья, обуславливает необходимость разработки и совершенствования технологий бурения, обеспечивающих поддержание необходимого минимального давления на забое.

Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является технология бурения с регулированием дифференциального давления в системе «скважина-пласт». Вариантом реализации технологии, внедряемым в настоящее время, является применение герметизированной системы циркуляции, что существенно упрощает схему промывки скважины и обеспечивает плавное регулирование давления промывочного агента на забой. Однако, применяемые для реализации технологии расчетные методы определения забойного давления несовершенны, так как слабо учитывают реологические характеристики циркулирующего бурового раствора, факт поступления газа в него. Недостатки, связанные с ограниченной работоспособностью в абразивной среде бурового раствора, присущи также наземным дросселирующим устройствам, обеспечивающим противодействие на выходе из скважины. В связи с этим совершенствование технологии бурения скважин с регулируемым давлением на забой является актуальной задачей.



**Цель работы:** разработка технологии бурения с управлением давления на забой, позволяющей повысить механическую скорость проходки и качество вскрытия продуктивных пластов.

**Основные задачи исследований:**

1. Анализ современных методов и средств контроля и управления забойным давлением.
2. Разработка методики расчета забойного давления в скважине в условиях поступления газа в циркулирующий буровой раствор.
3. Разработка метода определения реологических характеристик циркулирующего бурового раствора.
4. Разработка дросселирующего устройства для контроля устьевого давления в кольцевом пространстве скважины.
5. Опытно-промышленные испытания технологии бурения скважин с регулируемым давлением на забое.

**Научная новизна:**

1. Разработана методика расчета давления на забой скважины восходящего потока газо-жидкостной смеси, обогащенной выбуриваемым шламом.
2. Разработан метод определения реологических характеристик циркулирующего бурового раствора по давлению нагнетания при различных расходах промывочной жидкости.
3. Создан автоматический дроссель и доказана промышленными испытаниями его высокая эффективность и надежность в условиях многофазной среды циркулирующей жидкости.

Научная новизна подтверждена патентом РФ № 2185611 от 20.07.2002 г. по МПК<sup>7</sup> G 01 N 11/00, C 09 K 7/00.

**Практическая ценность.** Разработана «Временная инструкция по технологии углубления скважин, обеспечивающая гибкое регулирование давления в системе «скважина-пласт»» и создан автоматический устьевой дроссель.

**Реализация работы.** Промысловые испытания способа определения реологических характеристик бурового раствора по данным устьевой информации про-

ведены в процессе бурения 7 эксплуатационных скважин Заполярного ГНКМ, скважины № 68 Средне-Надымская, скважины №742 Уренгойская Ф. «Тюменбургаз».

Промысловые испытания дросселирующего устройства были произведены на скважине № 511 Северо-Ставропольского ПХГ ООО «Кавказтрансгаз» при разбуривании песчаной пробки и при производстве работ по формированию искусственной призабойной зоны пласта в 8 скважинах ООО «Кавказтрансгаз».

Комплексные испытания оборудования и технологии бурения с регулируемым забойным давлением проводились при вскрытии газоносных пластов на скв. Р-110 Заполярного НГКМ, скв. №12 Южно-Парусовая Ф. «Тюменбургаз».

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Третьей региональной научно – технической конференции «Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону» (г. Ставрополь, 1999 г.), Научно – технических советах по бурению ОАО «Газпром» «Обеспечение экологической безопасности при проведении буровых работ» (г. Тюмень, 1999 г.), «Совершенствование технологии бурения скважин» (г. Тюмень, 2001 г.), Третьей Международной научно – практической конференции «Проблемы добычи газа, газового конденсата, нефти» (г. Кисловодск, 2005 г.).

**Автором защищаются следующие основные положения:**

1. Способ определения реологических характеристик бурового раствора по данным нагнетания его в скважину.

2. Математическая модель восходящего потока газожидкостной смеси, обогащенной шламом.

3. Конструкция дроссельного устройства, позволяющего поддерживать при бурении заданное противодействие на выходе из кольцевого пространства герметизированной скважины.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 работ, из них один патент.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и рекомендаций, списка литературы, содержащего 52 наименования, и 6 приложений. Работа изложена на 182 страницах машинописного текста и содержит 10 рисунков и 6 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** изложены особенности современных методов контроля и управления забойным давлением в процессе бурения скважин.

*В первой части* рассмотрено влияние забойного давления, возникающего в процессе бурения скважины, на коллекторские свойства пород и на технико-экономические показатели бурения. Известно, что в процессе бурения скважин при превышении забойного давления над пластовым (репрессия) снижается скорость бурения и ухудшаются коллекторские свойства пласта. Кроме того, репрессия обуславливает образование толстой глинистой корки на стенках скважины, что провоцирует прихват бурильного инструмента.

Одним из путей повышения качества и безопасности вскрытия продуктивных пластов бурением является создание технологически рационального давления на забой скважины. В связи с этим совершенствование технологического процесса регулирования забойного давления является актуальной задачей.

*Вторая часть* посвящена анализу современных методов определения забойного давления в скважине. Развитие технологии бурения скважин сопровождается увеличением количества контролируемых параметров, характеризующих процесс бурения скважин. В частности, необходимо постоянно и достаточно точно определять величину действующего забойного давления.

Анализ отечественных и зарубежных средств контроля технологических параметров бурения показал, что в практике массового бурения отсутствует надежное устройство для измерения абсолютной величины давления на забое скважины в режиме реального времени. В большинстве случаев определение действующего забойного давления в процессе бурения скважины выполняется по расчетной схеме с использованием измерений (датчиков, лабораторных замеров) и гидродинамических расчетов. Вычисление величины гидродинамических давлений в кольцевом пространстве осуществляется в рамках составления гидравлической программы бурения скважины, которая основана на расчетах гидравлических сопротивлений в системе по заданной подаче насосов и показателям свойств буровых растворов. Сложность проведения указанных расчетов заключается в

том, что свойства буровых растворов изменяются под воздействием динамических температур и давлений. С другой стороны, большинство буровых растворов являются нестационарными по реологическому состоянию жидкостями. Исходя из этого, особый интерес представляет разработка метода замера реологических характеристик буровых растворов в реальной бурящейся скважине. В частности, с помощью экспериментальных данных расход – давление нагнетания, измеренных при промывке скважины.

*В третьей части* рассмотрены методы управления давлением в бурящейся скважине. Совершенствование способов вскрытия пластов ведется в настоящее время по нескольким направлениям, одним из которых является разработка технологии бурения с минимальной репрессией или депрессией на пласт. Основным признаком таких технологий является возможность регулирования забойного давления в определенных пределах. Наиболее рациональным способом вскрытия газоносных пластов с АВПД является технология бурения на равновесии с герметизированным устьем и дросселирующим устройством. При этом обеспечивается оперативность управления процессом бурения без существенных дополнительных затрат на изменение плотности раствора и гидравлической программы промывки скважины.

Анализ современных конструкций дросселирующих устройств показал, что большинство дросселей предназначено для ликвидации флюидопроявлений, когда прекращается углубление скважины. При бурении, когда буровой раствор насыщен шламом, указанные дроссели забиваются, что приводит к полному перекрытию проходного сечения. При этом возникают гидроудары, приводящие к осложнениям в скважине. Кроме того, в известных устройствах с ручным и дистанционным управлением не предусмотрено поддержание постоянной величины давления на устье, при изменении расхода разнородной жидкости.

Таким образом, с целью повышения технологического эффекта необходимо разработать дроссель упрощенной конструкции и методику расчета давления на этом устройстве при бурении для управления устьевым давлением. Это позволит повысить надежность контроля давления в скважине при дистанционном управ-

лении в условиях интенсивного выноса шлама и автоматически поддерживать заданное расчетное давление в герметизированной скважине в процессе бурения.

**Вторая глава** посвящена разработке аналитического метода определения забойного давления при циркуляции бурового раствора.

*В первой части* теоретически обосновывается возможность определения реологических характеристик бурового раствора в бурящейся скважине. В настоящее время в гидравлических расчетах промывки скважин принят априорный детерминированный подход к выбору реологической модели. Методики расчета, основанные на той или иной простой реологической модели (Бингама или Оствальда де Вале), применяют независимо от адекватности модели реологическому поведению конкретного раствора.

В соавторстве был разработан способ определения средневзвешенных значений динамического напряжения сдвига  $\tau_0$  и пластической вязкости  $\eta$  буровых растворов по фактическим данным бурения с использованием методических основ традиционной реометрии. Полученные значения  $\tau_0$  и  $\eta$  используются в расчетах гидродинамических давлений в бурящихся скважинах для создания и контроля забойного давления. В предлагаемом способе значения  $\tau_0$  и  $\eta$  рассматриваются как характеристики «рабочего тела» (циркулирующего раствора) в гидродинамической системе (скважине). Поэтому полученные значения  $\tau_0$  и  $\eta$  можно считать аргументами функции коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda = f(\tau_0 \text{ и } \eta)$  гидродинамической системы, а не константами в реологическом уравнении, отражающем «поведение» жидкости при деформации. Использование фактической устьевой информации при промывке скважины, когда долото находится непосредственно на забое, позволяет решить обратную задачу, т.е. определить величины средневзвешенных  $\tau_0$  и  $\eta$  с учетом реальных термобарических условий и геометрических особенностей (конструкция скважины и бурильной колонны) по всей глубине скважины.

Создание страгивающих усилий непосредственно в скважине путем циркуляции бурового раствора при переменных расходах позволяет графическим мето-

дом определить величину давления  $P_{он}$ , которое пропорционально сумме давлений, необходимых для начала течения бурового раствора в бурильных трубах и кольцевом пространстве скважины. С этой целью используют зависимость давления нагнетания, как сумму гидравлических потерь давления в трубах и кольцевом пространстве скважины за вычетом потерь давления на долоте, от расхода бурового раствора  $P_n = f(Q)$ , полученную по результатам фактических замеров при разных режимах промывки скважины (рисунок 1). Рисунок 1 отображает графическое представление зависимости давления нагнетания от расхода раствора  $P_n = f(Q^m)$  качественно, а не количественно. Значение показателя степени  $m$  определяется экспериментально. Начальный участок кривой должен иметь степень нелинейности  $m < 1$ , средний участок должен быть линейным, правый участок кривой должен иметь степень нелинейности  $m \geq 1$ , как это следует из классических иллюстраций поведения жидкости Шведова-Бингама.

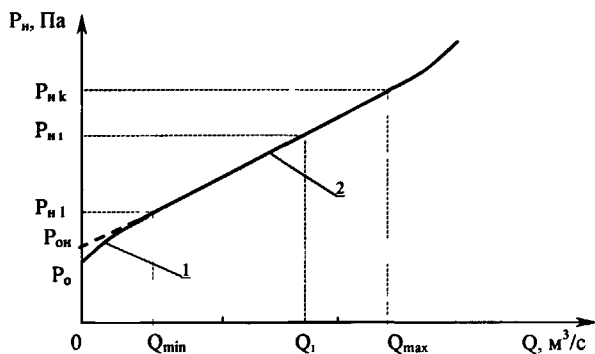


Рисунок 1 - Графическое представление зависимости давления нагнетания от расхода бурового раствора

Экстраполируя линейный участок до пересечения с координатной осью давления нагнетания, получим точку пересечения  $P_{он}$ , которая соответствует давлению пропорциональному давлению  $P_0$ . Физический смысл  $P_0$  следует из упрощенного варианта модели Шведова-Бингама и характеризует динамическое на-

пряжение сдвига системы, т.е. минимальное напряжение, которое необходимо приложить к вязкопластичной жидкости, чтобы она могла рассматриваться, как бингамовское вязкопластичное тело. Т.е. является условной величиной, получаемой в результате экстраполяции кривой  $P = f(Q)$  до пересечения с осью ординат (давлений).

В результате соответствующих подстановок и преобразований получены выражения для определения средневзвешенного значения

динамического напряжения сдвига бурового раствора

$$\tau_o = \frac{3 \cdot P_{он} (R_2 - R_1)}{8 \cdot L \cdot \left( \frac{R_2 - R_1}{R} + \frac{9}{8} \right)}, \quad (1)$$

где  $P_{он}$  – фиктивное давление при  $Q=0$ , определяемое графическим методом, Па;  $R_2, R_1, R$  – средневзвешенные по длине радиус скважины, наружный и внутренний радиусы буровых труб, соответственно, м;  $L$  – длина буровых труб, м;

пластической вязкости бурового раствора

$$\eta = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k \left( \frac{P_{ни} - P_{он}}{Q_i \cdot 4 \cdot L \left( \frac{2}{R^4} + \frac{3}{(R_2 - R_1)^3 (R_2 + R_1)} \right)} \right), \quad (2)$$

где  $P_{ни}$  – давление нагнетания за вычетом потерь давления на долоте при  $i$ -м установленном режиме промывки скважины, Па;  $Q_i$  – расход бурового раствора при  $i$  – м режиме промывки скважины, м<sup>3</sup>/с, где  $i = 1, \dots, k$ .

Следует обратить внимание, что в действительности существуют смешанные режимы движения бурового раствора в отдельных элементах циркуляционной системы. Тогда снятые показания зависимости давления нагнетания от расхода бурового раствора можно аппроксимировать зависимостью вида

$$P_n = AQ^2 + BQ + C. \quad (3)$$

Свободный член квадратичного уравнения несет физический смысл условного давления начала течения бурового раствора в соответствии с общепринятыми в буровой гидравлике допущениями при рассмотрении начала движения жид-

кости Шведова-Бингама. В этом случае численное значение  $P_{0n}$  в аппроксимированном уравнении равно значению коэффициента «С».

Для описания течения жидкостей, не обладающих пластическими свойствами (предельное напряжение  $\tau_0 = 0$ ), чаще всего пользуются моделью Оствальда де Вала с двумя реологическими параметрами: касательное напряжения и пластическая вязкость, которые зависят от индекса консистенции  $K$ , показателя поведения  $n$  и скорости деформации  $\dot{\gamma}$ .

Для определения констант  $K$  и  $n$  используются данные замеров давления нагнетания в бурильных трубах и расхода промывочной жидкости при двух разных режимах промывки скважины

$$n = \frac{\lg(P_{н2} / P_{н1})}{\lg(Q_2 / Q_1)}, \quad (4)$$

$$K = \left( \frac{\pi \cdot n}{3n + 1} \right)^n \frac{R^{3n+1}}{2 \cdot L(A + 1)} \cdot \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \frac{P_{mi}}{Q_i^n}, \quad (5)$$

$$\text{при этом } A = \frac{1}{2} \left( \frac{2(R_2 + R_1)(3n + 1)}{(2n + 1) \cdot R} \cdot \left( \frac{R_2 - R_1}{2 \cdot R} \right)^{\frac{2n+1}{n}} \right)^{-n}, \quad (6)$$

где  $P_{н1}$ ,  $P_{н2}$  – давление нагнетания при первом и втором режиме промывки скважины, соответственно, Па;  $Q_1$  и  $Q_2$  – расход бурового раствора, м<sup>3</sup>/с.

Таким образом, последовательность технологических операций для определения значений средневзвешенных динамического напряжения сдвига и пластической вязкости бурового раствора по данным устьевой информации следующая:

- останавливается механическое бурение;
- скважина промывается с переменным расходом бурового раствора с одно-временным фиксированием давления нагнетания;
- по данным замеров строят график зависимости давления нагнетания бурового раствора за вычетом потерь давления на долоте, определяемых расчетами, от расхода;

- графическим методом определяют величину давления  $P_{он}$ ;
- определяют значения средневзвешенных динамического напряжения сдвига и пластической вязкости по соответствующим математическим формулам (1)-(6).

Во второй части рассмотрена методика расчета забойного давления в условиях поступления газа в циркулирующий буровой раствор.

Газожидкостная смесь восходящего потока рассматривается как однородный флюид, у которого объемное содержание газа, плотность, вязкость и другие параметры являются переменными величинами, зависящими от давления, температуры вдоль кольцевого канала скважины. Изменение давления по глубине скважины определяется из уравнения баланса механической энергии, в котором потери давления на трение рассчитываются исходя из выбранной реологической модели

$$\frac{dP}{dh} = \rho_{см} \cdot g + \frac{4 \cdot \tau}{d_3} - \rho_{см} \cdot W_{см} \cdot \frac{d \cdot W_{см}}{dh}, \quad (7)$$

при этом

$$\rho_{см} = \frac{\rho_{ж} + \alpha \cdot \rho_{г0} + \rho_{ш} \cdot \delta_{ш}}{1 + \frac{(\alpha - r(T) \cdot P) \cdot P_0 \cdot z \cdot T}{P \cdot z_0 \cdot T_0} + \delta_{ш}}, \quad (8)$$

где  $\rho_{см}$  - плотность газожидкостной смеси,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\tau$  - касательное напряжение (Па);  $d_3$  - гидравлический диаметр кольцевого канала;  $W_{см}$  - скорость движения смеси, м/с;  $\rho_{ж}$  - плотность раствора,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\alpha$  - степень аэрации,  $\alpha = \frac{Q_{г0}}{Q_{ж}}$ ;  $\rho_{г0}$  - плотность газа при нормальных условиях,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{ш}$  - плотность частиц шлама,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\delta_{ш}$  - объемное содержание шлама (0,04±0,05 от расхода жидкости);  $r(T)$  - коэффициент растворимости;  $\bar{P}$  - относительное рабочее давление,  $\bar{P} = \frac{P}{P_0}$ ;  $P_0$  - атмосферное давление, МПа;  $z_0 = 1$ ,  $z$  - коэффициент сжимаемости газа в нормальных и рабочих условиях, соответственно;  $T_0, T$  - температура нормальная и в рабочих условиях, соответственно, К.

В результате соответствующих математических преобразований получены выражения, определяющие потери давления на единицу длины вдоль ствола скважины. На базе полученных выражений разработан алгоритм расчета для произвольно выбранного сечения кольцевого канала на глубине  $h$  с давлением  $P$ . Получены численные решения для определения динамической и статической составляющих забойного давления газожидкостной смеси, обогащенной шламом.

Получены диаграммы зависимостей приведенного общего статического и динамического давления в кольцевом пространстве  $P^*$  (разности давлений от забоя до устья) от степени аэрации  $\alpha$ . Безразмерное отношение

$$P^* = \frac{(P_{заб} - P_y) \alpha}{(P_{заб} - P_y)_{\alpha=0}} = \frac{\Delta P(\alpha)}{\Delta P(\alpha=0)} \quad (9)$$

представлено в диапазоне реальных технологических параметров: давление на устье  $0,1 \text{ МПа} \leq P_y \leq 0,5 \text{ МПа}$ , расходов жидкости от  $0,005 \text{ м}^3/\text{с} \leq Q_{ж} \leq 0,03 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Для оперативного определения забойного давления при заданной степени аэрации  $\alpha$  достаточно определить сумму статического и динамического давления для жидкости, то есть  $\Delta P(\alpha=0)$  по зависимостям, применяемым в буровой гидравлике с учетом реальных условий промывки скважины согласно разработанного метода, описанного в первой части второй главы. Тогда при задаваемых значениях  $P_y$  и  $Q_{ж}$  на рабочем графике  $P^*(\alpha)$  определяется значение  $P^*$  и вычисляется забойное давление  $P_{заб}$

$$P_{заб} = P_y - P^*(\alpha) \cdot \Delta P(\alpha=0). \quad (10)$$

Обратная задача, когда по требуемой величине  $P_{заб}$  следует найти соответствующее давление на устье, решается подбором  $P_y$ , для которого выполняется равенство

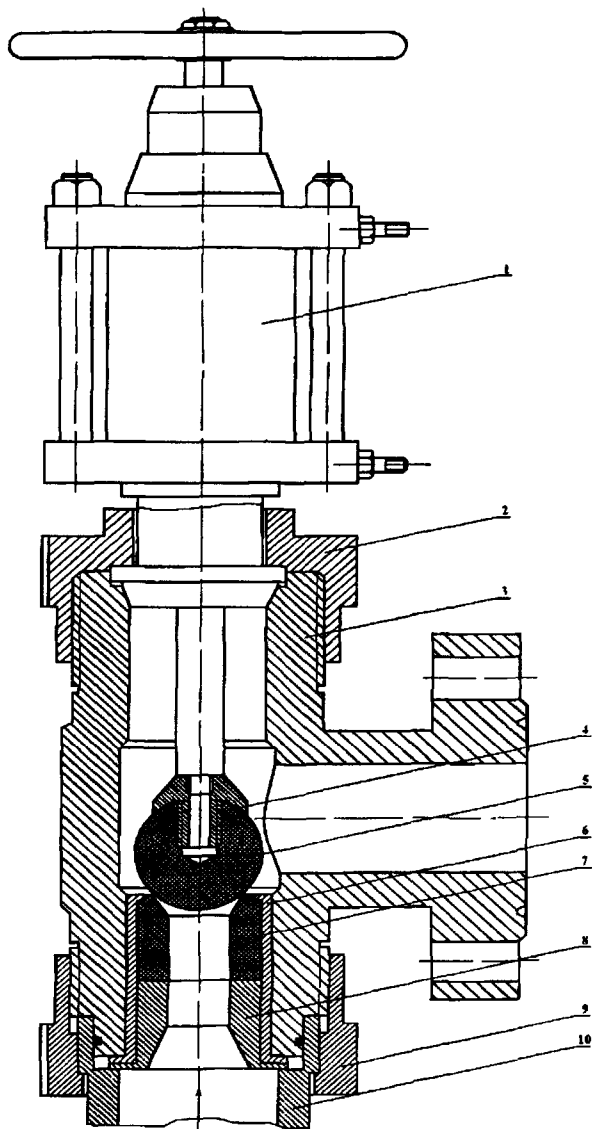
$$P_y = P_{заб} - P^*(\alpha) \cdot \Delta P(\alpha=0). \quad (11)$$

**Третья глава** посвящена разработке метода регулирования давления на забое при бурении скважины.

В первой части приведена конструкция дросселирующего устройства для управления устьевым давлением (рисунок 2). Комплектация нового устройства из узлов и деталей манифольда МПБ 2 – 80х35 и задвижки с гидравлическим управлением ЗМГ-80х35 позволила сохранить основные параметры и надежность на уровне требований, предъявляемых к обвязке противовибросового оборудования и избежать необходимости изменения конструкции последней. Оригинальное решение, отличающее предложенную конструкцию от известных дросселей, заключается в устройстве запорного узла из резиновых шара и седла. Степень открытия узла определяется величиной сопротивления выходящего из скважины потока и задается давлением управления. Система пневматического управления обеспечивает плавность регулирования противоавдавления. Легкоразборная конструкция устройства позволяет оперативно заменять элементы запорной пары. В случае образования шламовой пробки резиновый шар под действием возрастающего перепада давления перемещается, увеличивая зазор в дроссельной паре, и шламовая пробка продавливается потоком бурового раствора в выкидную линию. После самоочистки устройства дроссельная пара автоматически возвращается в рабочее положение. Таким образом, исключается закупорка дросселя шламовой пробкой и необходимость остановки бурения для очистки.

Во второй части описаны стендовые испытания дросселирующего устройства, имеющие целью:

- определение зависимости требуемого перепада давления на дросселе от управляющего давления;
- определение соответствия дросселя требованиям конструкторской документации;
- определение работоспособности дросселя при прокачке через него бурового раствора, обогащенного крупнообломочным шламом;
- установление пригодности дросселя к эксплуатации в промышленных условиях.



1-гидравлический цилиндр; 2,9 - накидная гайка; 3 - тройник;  
 4 - металлическая опора, 5 - резиновый шар, 6 - металлический стакан;  
 7 - резиновая втулка; 8 - стальная втулка; 10 - линия.

Рисунок 2 - Дроселирующее устройство для регулирования устьевого давления

Испытания были проведены на специальном стенде, включающем насос 9МГР, емкость для ввода обломков горной породы и дроссель, последовательно соединенные трубами. Система управления дросселем включала в себя воздушный баллон, редуктор. Давление нагнетания контролировалось непосредственно на насосе и перед дросселем. В качестве искусственного шлама использовалась мраморная крошка с размером частиц 5-10 мм.

Методика проведения стендовых испытаний предусматривала выполнение следующих операций:

- опрессовку соединений нагнетательной линии и дросселя в открытом и закрытом состояниях на давление 12 МПа;

- прокачку технической воды с мраморной крошкой через дроссель с производительностью от 5 до 25 дм<sup>3</sup>/с (ступенями по 5 дм<sup>3</sup>/с) при давлении до 10 МПа.

В течение прокачки шламовой пульпы через дроссель контролировались степень износа дроссельной пары, объемы прокачанной жидкости, величины давлений перед дросселем и в системе управления им. Регрессионный анализ полученных значений «перепад давления на дросселе - величина управляющего давления» (рисунок 3), позволил получить соотношение управляющего давления к дросселируемому в виде:

$$\Delta P_D = 2,02 \cdot P_{упр} + 0,03, \quad (12)$$

где  $\Delta P_D$  - перепад давления на дросселе, МПа;  $P_{упр}$  - величина управляющего давления, МПа.

В указанной зависимости коэффициент при управляющем давлении имеет физический смысл коэффициента редуцирования, в то время как свободный член характеризует давление, необходимое для начального открытия дросселя. Он обусловлен наличием сил трения в уплотнениях а также точностью изготовления и сборки сопрягаемых деталей.

Проведенные испытания показали, что дроссель позволяет эффективно регулировать величину давления на выходе из герметизированной скважины, а ресурс запорного узла обеспечивает работоспособность устройства в течение одного долбления.

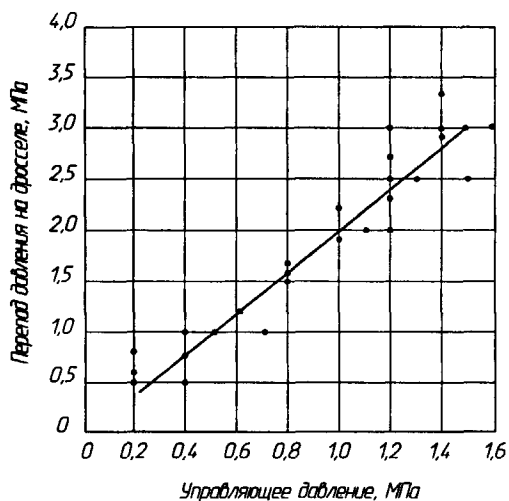


Рисунок 3 - Зависимость перепада давления на дросселе от управляющего давления

В третьей части описана методика определения необходимого перепада давления на дросселирующем устройстве при бурении. Как уже отмечалось, регулирование забойного давления путем создания избыточного давления на устье скважины является наиболее оптимальным вариантом. Полученное в результате специальных испытаний дросселя, выражение взаимосвязи между управляющим давлением в пневматической системе дросселя и технологически необходимым давлением на устье скважины (12) позволяет оперативно реализовать любой алгоритм управления устьевым давлением в процессе бурения. Полученные в диссертации решения позволяют поддерживать заданное забойное давление, используя следующую зависимость

$$P_y = P_{пл} \cdot \kappa_B - P^* \cdot (P_{ст} + P_{зд})_{\alpha=0}, \quad (13)$$

где  $P_y$  - технологически необходимое давление на устье скважины, регулируемое дросселем, численно равно перепаду давления на нем, МПа;  $P_{пл}$  - пластовое давление, МПа;  $\kappa_B$  - коэффициент, учитывающий безопасное превышение забой-

ного давления над пластовым, определяемый «Правилами безопасности в нефтяной и газовой промышленности»;  $P^*$  - приведенное общее статическое и гидродинамическое давление в кольцевом пространстве, определяемое по полученным графикам зависимости  $P^*(\alpha)$ ;  $(P_{cm} + P_{zd})_{\alpha=0}$  - сумма статического и динамического давления в кольцевом пространстве, при его заполнении буровым раствором с нулевым газосодержанием, МПа. Уравнение (13) решается методом подбора.

Оперативное регулирование давления на забой скважины способствует обнаружению и оценке продуктивных пластов при бурении, а также повышению качества вскрытия продуктивного пласта.

**В четвертой главе** представлены результаты промысловых испытаний технологии бурения с регулируемым давлением на забой скважины.

Промысловые испытания способа определения реологических характеристик бурового раствора по данным устьевой информации проведены в процессе бурения 7 эксплуатационных скважин Заполярного ГНКМ, скважины № 68 Средне-Надымская, скважины №742 Уренгойская Ф. «Тюменбургаз», в интервалах как продуктивных, так и непродуктивных пластов. С целью выявления соответствия коэффициентов гидравлических сопротивлений, вычисленных по значениям  $\tau_0$  и  $\eta$  (предлагаемый способ),  $\tau_0^3$  и  $\eta^3$  (эмпирические формулы),  $\tau_{0 \text{ лаб}}$  и  $\eta_{\text{лаб}}$  (лабораторные замеры), реальным значениям были проведены расчеты гидравлических потерь давления при циркуляции раствора по известной методике и сопоставлены с фактическими замерами давления нагнетания на насосах. Погрешность при расчете давления нагнетания раствора с реологическими характеристиками, вычисленными по предполагаемому способу, не превышает 7 %.

Промысловые испытания дросселирующего устройства были произведены на скважине № 511 Северо-Ставропольского ПХГ ООО «Кавказтрансгаз» при разбуривании песчаной пробки. При удалении глинисто-песчаной пробки до уровня перфорационных отверстий начался приток газа в скважину. Устьевое давление в затрубном пространстве повысилось до 3,5 МПа. За счет резкого роста скорости восходящего потока наблюдались залповые выбросы глинисто-

песчанистого твердого вещества. При этом перекрытие проходного канала и дроссельно-запорного узла разработанного устройства шламовой пробкой не наблюдалось. Удаление последних 5 м глинисто-песчаной пробки производилось с использованием энергии пластовых газов, обеспечивающих вынос твердых частиц на поверхность, т.е. обеспечивалась самоочистка забоя. Режим работы газовой скважины регулировался дросселирующим устройством, из которого шламогазовая смесь выбрасывалась в амбар. Давления управления устройством в процессе осуществления указанной операции составляло 0,8 МПа. Ревизия дросселирующего устройства после завершения операции и демонтажа наземного оборудования показала, что внутренние поверхности устройства не имеют следов износа, а запорно-дросселирующий узел работоспособен.

Следует также отметить положительный опыт применения дросселирующего устройства при производстве работ по формированию искусственной призабойной зоны пласта в 8 скважинах ООО «Кавказтрансгаз». Не наблюдались повреждения запорно-дросселирующей пары при давлениях до 5,4 МПа. Дальнейший рост давления вызывал частичные повреждения запорного шара, работающего в жестких условиях высокоабразивного газо-цементного потока. Дросселирующее устройство сохраняло свою работоспособность при увеличении значения дросселируемого давления до 13 МПа. По результатам проведенных промысловых испытаний дросселирующее устройство было признано работоспособным в условиях пропуска через него абразивных газо-жидкостного и газового потоков и рекомендовано для включения в наземную систему управления устьевым давлением на выходе из скважины для бурения с регулируемым забойным давлением.

Промысловые комплексные испытания технологии бурения с регулируемым забойным давлением проводились при вскрытии газоносных пластов на скв. Р-110 Заполярного НГКМ, скв. №12 Южно-Парусовая Ф. «Тюменбургаз».

Анализ результатов бурения этих скважин показал:

- высокую надежность герметизирующего оборудования, способность совместно герметизировать бурильные трубы и стандартную четырехгранную ведущую трубу;

- дроссель с пультом дистанционного управления позволяет плавно регулировать давление от 0 до 13 МПа, обеспечивая автоматический пропуск шлама размером до 55 мм без изменения давления на устье более 10 %;
- технология бурения позволяет контролировать текущие пластовые и забойные давления и безопасно проводить технологические операции (бурение, наращивание инструмента) с содержанием газа в буровом растворе более 50 %;
- технология бурения позволяет качественно и безопасно вести буровые работы в равной степени при использовании винтового забойного двигателя и при роторном бурении;
- технология бурения позволяет получить ответ о характере флюида и продуктивности вскрытого пласта;
- возможность включения данной технологии в проектно-сметную документацию при строительстве скважин.

**В заключении** излагаются основные выводы:

1. Установлены основные пути совершенствования и развития технологии бурения в условиях регулирования давления на забой: за счет уточнения методов определения забойного давления в скважине при циркуляции бурового раствора и за счет совершенствования наземного дросселирующего устройства, регулирующего противодавление на выходе из кольцевого пространства скважины.

2. Разработан на уровне изобретения метод определения реологических характеристик бурового раствора, циркулирующего в скважине, основанный на расчете параметров уравнения гидравлических сопротивлений, замеренных в реальной скважине при различных расходах.

3. Разработана математическая модель движения газожидкостной смеси со шламом по кольцевому пространству скважины. Предложены расчетные зависимости для определения забойного давления при различных значениях устьевого давления и газосодержания потока.

4. Разработана и успешно апробирована в промысловых условиях конструкция дросселирующего устройства, обеспечивающего автоматическое поддер-

жания заданного противодавления в выходящем из скважины потоке бурового раствора, содержащем шлам.

5. Экономический эффект от внедрения разработки составил 1,5 млн. рублей в ценах 2000 г.

**Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Тагиров, К.М. Технология бурения с промывкой пеной в зонах поглощения на месторождениях Тенги – Кудук [Текст] / К.М. Тагиров, В.И. Нифантов, А.Ф. Яшин, Ю.Н. Луценко, В.И. Чернухин, Р.А. Гасумов, В.Н. Пестерева // Строительство газовых и газоконденсатных скважин: сб. научн. тр. / ООО «ВНИИгаз». – М.: ООО «ВНИИгаз», 1992. – С. 89 – 95.

2. Тагиров, К.М. Технология крепления скважин, пробуренных в условиях депрессии на пласт [Текст] / К.М. Тагиров, Р.А. Гасумов, С.Б. Бекетов, В.И. Чернухин // ВУЗовская наука – Северо-Кавказскому региону: материалы III региональной научн. - техн. конф./СевКавГТУ.– Ставрополь: СевКавГТУ, 1999. – С. 19.

3. Гасумов, Р.А. Влияние свойств пены на гидростатическое давление, создаваемое ее столбом [Текст] / Р.А. Гасумов, В.З. Минликаев, В.И. Чернухин, С.Б. Бекетов, Н.Б. Козлов // Геология, бурение и разработка газовых и газоконденсатных месторождений и ПХГ: сб. научн. тр. / ОАО «СевКавНИПИгаз». – Вып. 32 (2000). – Ставрополь: ОАО «СевКавНИПИгаз», 2000. – С. 85 - 95.

4. Тагиров, К.М. Технология бурения скважин в условиях депрессии в системе «скважина – пласт» с использованием герметизированной системы циркуляции [Текст] / К.М. Тагиров, В.И. Нифантов, С.А. Акопов, А.С. Сатаев, А.Н. Гноевых, А.А. Рябоконе, В.И. Кишин, В.И. Чернухин // Обеспечение экологической безопасности при проведении буровых работ: материалы Научн. – техн. совета ОАО «Газпром» (Тюмень, сентябрь 1999 г.). – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2000. – С. 28 – 37.

5. Пат. 2185611 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 N 11/00, C 09 K 7/00. Способ определения реологических характеристик бурового раствора в процессе бурения [Текст] / Тагиров К.М., Кулигин А.В., Чернухин В.И., Подшибякин В.В.,

Нифантов В.И., Димитриади Ю.К.; заявитель и патентообладатель ОАО «СевКавНИПИгаз», ОАО «Газпром». - № 2000124055/03; заявл. 19.09.2000; опубл. 20.07.02, Бюл. № 20 (I ч.).

6. Тагиров, К.М. Бурение на депрессии на пенах при аномально низких пластовых давлениях с использованием выхлопных газов дизельных моторов вместо воздуха или азота [Текст] / К.М. Тагиров, Р.А. Гасумов, В.И. Чернухин // Геология, бурение и разработка газовых и газоконденсатных месторождений и ПХГ: сб. научн. тр. / ОАО «СевКавНИПИгаз». – Вып. 37 (2002). – Ставрополь: ОАО «СевКавНИПИгаз», 2002. – С. 146 – 158.

7. Чернухин, В.И. Определение реологических параметров бурового раствора по данным бурения [Текст] / В.И. Чернухин, А.В. Кулигин, Ю.К. Димитриади // Геология, бурение и разработка газовых и газоконденсатных месторождений и ПХГ: сб. научн. тр. / ОАО «СевКавНИПИгаз». – Вып. 37 (2002). – Ставрополь: ОАО «СевКавНИПИгаз», 2002. – С. 272 – 276.

8. Чернухин, В.И. Дросселирующее устройство для управления устьевым давлением [Текст] / В.И. Чернухин // Проблемы добычи газа, газового конденсата, нефти: сб. докл. междунар. научн. - практ. конф. (Кисловодск, 24-28 окт. 2005 г.) / ОАО «СевКавНИПИгаз». – Ставрополь: РИО ОАО «СевКавНИПИгаз», 2005. – С. 201 – 208.

Лицензия сер. ЛР №72-18 от 24.01.2000 г.

Подписано к печати 27.01.2006 г.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. л. 0,92. Печать офсетная. Бумага 80 г/м<sup>2</sup>.

Заказ 23. Тираж 100 экз.

**Северо-Кавказский научно-исследовательский  
проектный институт природных газов  
(ОАО «СевКавНИПИгаз»)  
Ставрополь, 355035, ул. Ленина, 419**

---

**Отпечатано с готового оригинал-макета  
в Рекламно-издательском отделе  
ОАО «СевКавНИПИгаз»**

---

2006A  
2930

**R-2930**