

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УХТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

УДК 622.24.01

Логачёв Юрий Леонидович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ  
РЕЖИМА ПРОМЫВКИ ПРИ РОТОРНОМ БУРЕНИИ  
ГИДРОМОНИТОРНЫМИ ДОЛОТАМИ

Специальность 05.15.10 "Бурение скважин"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ухта 2000

Работа выполнена в Ухтинском государственном  
техническом университете (УГТУ)

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник,  
член-корреспондент РАЕН Осипов П.Ф.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Варламов Евгений Петрович  
кандидат технических наук  
Скрябин Георгий Филишович

Ведущее предприятие: Филиал ВНИИгаза "СеверНИПИгаз".

Защита состоится "29" июня 2000 г. в 9 часов на заседании  
диссертационного совета К 064.83.02 при Ухтинском государственном техни-  
ческом университете по адресу: 169400, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомай-  
ская, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ухтинского государ-  
ственного технического университета.

Автореферат разослан "27" мая 2000 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат технических наук, доцент

*Уляшева*

Н.М. Уляшева

И131.111.303.2,0

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы.

Исследованию затопленных струй и вопросов эффективного применения гидромониторной промывки в бурении посвящены работы И.К. Бикбулатова, А.А. Босенко, Е.П. Варламова, А.М. Гусмана, Н.А. Жидовцева, Ф.И. Железнякова, А.В. Зубарева, А.К. Козодоя, П.И. Коряпаева, Е.Г. Леонова, В.И. Исаева, М.Р. Мавлютова, И.Б. Малкина, А.Х. Мирзаджанзаде, Б.И. Мительмана, П.Ф. Осилова, А.М. Свалова, В.В. Симонова, Б.Н. Снова, В.И. Ткаченко, В.С. Федорова, Билстайна, Бобо, Лингена, Пекарека, Питмена, Финстра, Эдвардса, Эккеля и др.

В данной работе предпринята попытка обобщения и развития известных исследований в области применения струйной промывки для разработки методики проектирования оптимального режима промывки при бурении гидромониторными шарошечными долотами и более эффективного применения энергии струй.

Исследования выполнены в рамках госбюджетных и хоздоговорных тем Ухтинского индустриального института с 1991 по 1999 г.г.

### Цель и задачи исследования.

Целью работы является изучение механизма очистки забоя от выбуренной породы гидромониторными струями и разработка, на этой основе, методики проектирования оптимальных режимов промывки скважины, обеспечивающей эффективное использование энергии струй для повышения показателей работы гидромониторных долот.

Для достижения поставленной цели требуется решение следующих конкретных задач:

- \* исследование гидравлических потерь в элементах промывочных систем долот при формировании гидромониторных струй;
- \* исследование влияния параметров струи на фильтрационные процессы на забое скважины, обоснование технологического критерия струйной

промывки забоя скважины;

- \* разработка методики проектирования оптимальных режимов промывки скважины и программного продукта для ее реализации;
- \* определение условий эффективного применения гидромониторных долот;
- \* исследование и разработка способов и технических средств интенсификации процессов разрушения и очистки забоя;

**Методы исследований.** Поставленные задачи решались с использованием комплекса исследований, включающего анализ и обобщение данных, опубликованных в отечественной и зарубежной литературе по методам совершенствования режимов промывки скважины; аналитические исследования влияния гидравлических характеристик элементов промывочного узла на величину перепада давления на долоте; аналитические исследования влияния различных технологических и технических факторов на фильтрационные процессы на забое скважины с решением задач с применением ПЭВМ; промысловые исследования.

**Научная новизна** выполненной работы заключается в новом методическом подходе к проектированию промывки забоя скважины при бурении гидромониторными долотами, основанном на использовании нового критерия промывки, количественно зависящего, в отличие от известных, от дифференциального давления:

- аналитическим путем получено качественное решение задачи влияния асимметричности струй, приближения насадок к забою, перепада давления на долоте и скорости вращения долота на скорость фильтрации жидкости через площадь забоя;
- обоснован новый критерий гидромониторной промывки забоя, зависящий от дифференциального давления и осевого давления струи на забой, названный “эффективным давлением струи” ( $p_{эф}$ );
- расчетным путем доказано, что оптимальному режиму промывки по мак-

симуму критерия  $p_{эф}$  всегда соответствует максимум скорости обратной фильтрации, ответственной за очистку забоя скважины;

- дана количественная оценка влиянием конструктивных параметров струи на перепад давления на долоте и стесненности струй в межшарошечном пространстве на выбор диаметров долотных насадок;

- разработана методика расчета оптимальных режимов промывки скважины при бурении гидромониторными долотами и компьютерная программа для ее реализации.

### **Защищаемые положения:**

1. Использование критерия гидромониторной промывки “эффективное давление струи”, зависящего от дифференциального давления на забой и осевого давления струи, обеспечивает оценку технологических условий применения гидромониторных долот и ожидаемых результатов от струйной промывки, а проектирование промывки по максимуму этого критерия обеспечивает полное использование потенциальных возможностей гидромониторных струй в конкретных геолого-технологических условиях бурения скважины.

2. Применение комплекса способов, устройств и методов интенсификации гидромониторной промывки, включающего в себя применение асимметричных струй, приближение их к забою, использование разноразмерных насадок и выбор диаметра насадок с учетом вписываемости струй в межшарошечное пространство, обеспечивает увеличение интенсивности гидромониторной промывки и глубины эффективного применения гидромониторных долот.

3. Применение методики расчета параметров промывки забоя, учитывающей влияние конструктивных параметров промывочных узлов на перепад давления на гидромониторном долоте, обеспечивает существенное увеличение точности расчета критериев и параметров промывки скважины, а использование рекомендаций по модернизации промывочных узлов долот обеспечивают эффективное использование забойной гидравлической мощности и способов интенсификации.

фикации промывки забоя скважины.

### **Практическая ценность.**

– определены резервы повышения показателей работы гидромониторных долот при бурении скважин в конкретных (заданных) геолого-технологических условиях за счет определения и применения оптимальных параметров промывки скважины;

– разработаны методика расчета и выбора оптимальных режимов промывки скважины при бурении гидромониторными долотами и реализующая ее компьютерная программа, которая используется для подготовки исходных данных для программы определения оптимальных режимов бурения;

– разработан комплекс способов и технических средств, обеспечивающих увеличение глубины эффективного применения гидромониторных долот, включающий: применение оптимальных компоновок бурильной колонны; минимизацию плотности и реологических параметров бурового раствора; приближение насадок к забою; использование разноразмерных насадок в сочетании с нормированным приближением насадок к забою; применение насадок, формирующих асимметричные струи;

– разработаны предложения по конструктивному совершенствованию промывочных узлов гидромониторных долот с целью повышения их гидравлических характеристик.

### **Внедрение результатов работы.**

С применением разработанной математической модели бурения и реализующих ее компьютерных программы составлены и внедрены оптимизированные регламенты углубления разведочных скважин на Восточно-Возейюской и Восточно-Усинской площадях Республики Коми, обеспечившие повышение технико-экономических показателей бурения с экономическим эффектом 385 тыс. руб. (в ценах 1984 г.).

Результаты исследований внедрены в учебный процесс:

– при чтении профилирующих курсов на кафедре бурения Ухтинского государственного технического университета (УГТУ);

– при подготовке методических указаний: “Гидравлические расчеты при бурении скважин” - Ухта, 1990, “Гидравлические расчеты в бурении”, часть I - Ухта, 1996, “Математическая модель оптимизации режимов бурения шарошечными долотами” - Ухта, 1997.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на ряде конференций, семинаров, технологических совещаний, в том числе: на Всесоюзной научно-технической конференции ВНТО (г. Пермь, 1991); на технологических семинарах и совещаниях по глубокому бурению (г.г. Ухта, Печора, Усинск, 1984-1992; на Всероссийской научно-технической конференции РАО “Газпром” “Проблемы развития газодобывающей и газотранспортной систем отрасли и их роль в энергетике Северо-Западного региона России” (г. Ухта, 1995); на международной конференции “Проблемы освоения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции” (г. Ухта, 1998); на научно-техническом совете ОАО “Волгабурмаш” (г. Самара, 1998 г.); на 2-й региональной научно-практической конференции “Актуальные проблемы геологии нефти и газа”. (Кремсовские чтения. Ухта, 1999); на межкафедральном семинаре Ухтинского государственного технического университета (г. Ухта, 2000).

### **Публикации.**

Содержание диссертации изложено в 10 публикациях, в том числе: 9 статьях в научных журналах и других изданиях и в 1 авторском свидетельстве на изобретения.

### **Объем и структура диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, выводов, библиографии из 148 наименований работ, содержит 152 страниц машинописного текста, в том числе: 45 рисунков, 7 таблиц и 1 приложения.

Автор испытывает чувство неизменной и глубокой благодарности к тем,

кто советом, личным участием или организационно помогал ему в проведении исследований и обсуждении результатов: Р.Г. Ахмадеву, В.Ф. Бусласву, И.К. Быкову, Ю.М. Гержбергу, В.И. Зелепукишу, С.В. Каменских, В.Т. Лукьянову, Г.С. Скрыбину, Н.М. Уляшовой и многим другим.

### Содержание работы

**Во введении** обоснована актуальность и методы исследований, цель, основные задачи, научная новизна, защищаемые положения, практическая ценность и апробация работы.

**В первой главе** выполнен анализ современного состояния теории и практики проектирования гидромониторной промывки при бурении шарошечным долотами.

Впервые влияние промывки на забой на работу долот оценили Федоров В.С. и Бадалов Р.А. более 40 лет назад. До сих пор активно применяются их рекомендации по минимально необходимому расходу, связанному с площадью забоя. Практика бурения в Западной Сибири выдвинула задачу оптимизации расхода бурового раствора по критерию полное гидродинамическое на забой с учетом влияния "утяжеления" восходящего потока выбуренной породой в условиях бурения с высокими (свыше 10...15 м/ч) механическими скоростями.

Интенсивные и наиболее полные исследования гидромониторной промывки проведены В.С. Козодоев А.К. и в дальнейшем его аспирантами и сотрудниками А.А. Босенко, П.Ф. Осиповым, Е.П. Варламовым и др. в 50-70-х годах.

Отечественный опыт применения гидромониторных долот показал зачастую непредсказуемость и невоспроизводимость влияния высоконапорных струй на показатели работы долот. Это толкает практических работников к нерациональному массовому использованию гидромониторных долот.

Специальные промысловые исследования проводимые различными институтами ("Гипровостокнефть" и ВНИИБТ) и отдельные работы в этом направлении (проведенные в Республике Коми под руководством Г.Ф. Скрыбина) (рис.1, 2) решили ряд задач и в то же время поставили новые, которые проанализированы здесь с иных позиций и взглядов. В данной работе даны объяснения некоторым зафиксированным "странностям" во влиянии гидромониторных струй.



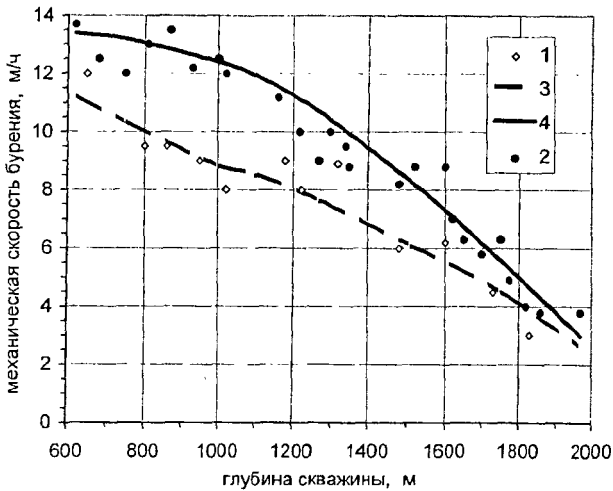


Рис. 1. Изменение средней механической скорости бурения с глубиной скважины при использовании различных схем промывки (данные Г.Ф. Скрябина):  
 1 и 3 - центральная промывка;  
 2 и 4 - гидромониторная промывка

Известные методы проектирования бурения отличаются отсутствием в них количественных зависимостей, описывающих влияние гидромониторной промывки на результаты работы долот. Объясняется это, по-видимому, тем, что еще не изучен и не раскрыт полностью механизм влияния струй на очистку забоя в процессе разрушения породы шарошками и тем, что эффект от применения струй, как правило, связывается с транспортом шлама потоками жидкости от забоя до заколонного пространства. Не нашли пока удовлетворительного объяснения установленные опытом факты снижения относительного влияния промывки на механическую скорость бурения по мере увеличения дифференциального давления на забой и уменьшения стойкости вооружения и опоры долот при наличии положительного влияния гидромониторной промывки на  $v_{м}$ .

Многие вопросы проектирования оптимальных параметров гидромониторной промывки требуют уточнения. Рекомендации и методики относительно выбора числа насадок, приближения их к забою, использования разноразмерных насадок, выбора расходов жидкости и диаметра отверстий насадок, выбора конструктивных параметров промывочных узлов гидромониторных долот не имеют единой научно-методической основы и потому часто бывают противоречивыми, а иногда и ошибочными.

Из известных воззрений на разрушение пород при глубоком бурении под

воздействием высоконапорных струй на наш взгляд наибольший интерес представляет фильтрация жидкости в породе под действием гидродинамического давления струи с последующим нарушением структуры породы.

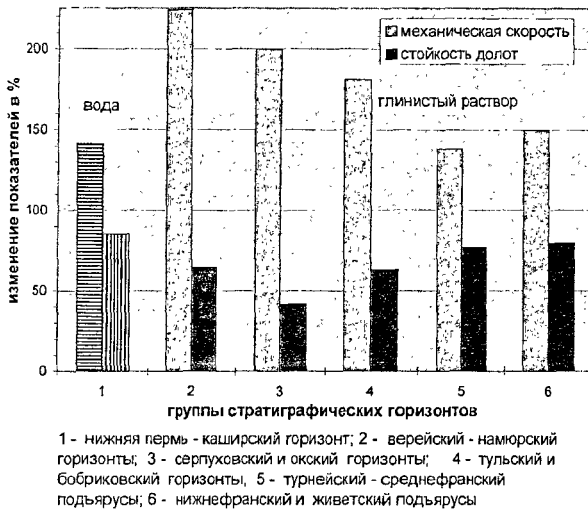


Рис. 2. Изменение  $v_d$  и  $t_b$  при увеличении скорости истечения с 70 до 130 м/с.

Результаты промышленных исследований ВНИИБТ и института "Гипростокнефть".

Впервые П.Ф.

Осипов предложил исследовать процесс неустановившейся фильтрации на забое

инициируемой вращающимися вокруг оси скважины струями. Аналитически установлено, что симметричные при благоприятных условиях могут создавать направленные в сторону скважины фильтрационные потоки, способствующие разрушению породы и отделению частиц от забоя.

Вместе с тем многие аспекты задачи остались не исследованными. Недостаточно полно исследовано влияние дифференциального давления, приближения насадок, перепада давления и скорости вращения долота на скорость фильтрации в породе. Исследование и практическое применение эффекта обратной фильтрации показано во 2-й главе. Здесь достаточно указать на то, что интенсивность (скорость) обратной фильтрации может стать количественным показателем оценки интенсивности гидромониторной промывки, и потому появляется возможность прогнозирования количественного влияния последней на работу долот.

Из всего изложенного следует, что необходимо решить ряд задач:

– исследовать влияние параметров подвижной гидромониторной струи, геологических и технологических условий бурения на фильтрационные процессы

в разрушаемой долотом породе и разработать на этой основе методы интенсификации очистки забоя скважины;

- разработать методику оптимизации промывки скважины при бурении гидромониторными долотами с использованием критериев, управляющих интенсивностью фильтрационных процессов на забое скважины;

- на основе исследований возникающих под действием подвижных гидромониторных струй фильтрационных процессов в породе разработать методику прогнозирования влияния параметров промывки забоя скважины на показатели работы долот;

- разработать способы и технические средства интенсификации процессов разрушения и очистки забоя;

- разработать расчетные алгоритмы и компьютерный программный комплекс выбора оптимальных параметров промывки скважины.

**Во второй главе** выполнен комплекс исследований фильтрации жидкости в породе забоя, инициированной подвижными (вращающимися вместе с долотом) струями с целью выяснения механизма влияния гидромониторных промывки на очистку и разрушение забоя.

Процесс фильтрации вязкой жидкости в породе может быть описан известным уравнением плоско-параллельной фильтрации упругой жидкости в упругой среде, называемым уравнением пьезопроводности:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{\kappa} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (1)$$

где  $p$  - давление в массиве породы;  $\kappa = k_n / \mu \beta_y$  - коэффициент пьезопроводности;  $k_n$  - проницаемость породы;  $\mu$  - динамическая вязкость жидкости;  $\beta_y = \beta_{ж} m + \beta_n$  - коэффициент упругоэластичности породы;  $m$  - пористость породы;  $\beta_{ж}$ ,  $\beta_n$  - коэффициенты сжимаемости соответственно жидкости и породы.

Задачу определения скоростей фильтрационных потоков через породу на забое решается интегрированием уравнения (1) при следующих начальных и граничных условиях:

$$\begin{aligned} p(x, t) &= p_{nl} \quad \text{при } t = 0; \\ p(x, t) &= p_{заб}(t) \quad \text{при } x = 0 \quad \text{и } t > 0; \end{aligned}$$

$$p(x, t) = p_{na} \quad \text{при } x = \infty, \quad t \geq 0.$$

Скорость фильтрации определяем согласно закону Дарси:

$$v_{\phi} = \frac{k_n}{\mu} \left( \frac{\partial p}{\partial x} \right)$$

Величина давления на забой  $p_{заб}$  при вращении долота является функцией поворота струи  $\alpha$  относительно забоя (в долях полного оборота) и определяется уравнениями:

$$p_{заб} = p_{na} + p_{диф} + p_{уд}, \quad (2)$$

По А.К. Козодюю эпюра ударных гидродинамических давлений на забой в сечении основного участка струи описывается зависимостью

$$p_{y\phi} = p_{oc} \exp \left[ -\beta_c \left( \frac{y}{r} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где  $y$  - расстояние от оси струи (если ось  $x$  совпадает с осью струи);  $r$  - радиус струи в избранном сечении;  $\beta_c$  - коэффициент, управляющий интенсивностью изменения давления при  $0 < y < r$ ;  $p_{oc}$  - гидродинамическое давление на оси струи на забое.

За время, в течение которого центр (вершина) 1-й волны давления оказывается над точкой наблюдения (рис. 2.), долото сделает 1/6 оборота, поэтому:

$$y = 2\pi R_c (nt - 1/6);$$

$$p_{y\phi} = p_{oc} \exp \left\{ -\beta_c \left[ \frac{2\pi R_c \left( nt - \left( \frac{1}{6} + \frac{N-1}{3} \right) \right)}{r} \right]^2 \right\}, \quad (4)$$

где  $p_{oc}$  - гидродинамическое давление струи на расстоянии от насадки, соответствующем забою;  $n$  - скорость вращения долота,  $c^{-1}$ ;  $r$  - радиус струи;  $N$  - порядковый номер очередной волны давления;  $R_c$  - радиус скважины.

Формула (4) предназначена для определения параметров волны давления, и предполагает, что ее применению предшествует идентификация номера очередной волны давления, ее стороны (передней или тыльной) и определение границ между действиями струй (пауз), когда  $p_{y\phi} = 0$ .

При численном решении уравнения (1) на ПЭВМ функция (4) задается в табулированном виде для любой продолжительности и любого заданного шага по времени, продиктованного желаемой точностью расчета.

Л.Ф. Осиповым, В.И. Зеленукиным и Ю.Л. Логачевым для решения уравнения (1) разработана компьютерная программа, с использованием которой проведены численные эксперименты с целью установления или уточнения влияния различных факторов на фильтрацию жидкости в породе. На рис. 3 в координатах “оборот долота - скорость фильтрации через плоскость забоя” показана динамика фильтрации жидкости в точке забоя, находящейся на окружности описанной осью струи. Отрицательное направление означает фильтрацию в породу, положительная - в сторону скважины. Видно, что в фазе ухода центра струи и уменьшения давления струи на забой наблюдается разворот направления фильтрации на положительное, появляется “обратная” фильтрация, ответственная за очистку забоя, а прилегающий к забою разрушаемый слой породы оказывается в условиях депрессии, а толщина депрессионного слоя достигает 15 мм. Исследования показали, что струя способна вызвать два взаимосвязанных эффекта: **1-й эффект** - это возникновение и существование обратной фильтрации, и характеризуется величиной максимума скорости фильтрации; **2-й эффект** заключается в способности влиять на величину и знак градиента давления в породе в момент прихода в “точку наблюдения” шарошки. Установлено, что дифференциальное давление стремится подавить проявление обоих эффектов (рис. 4), но особенно сильно влияет на 2-й. Видно, что для подавления 1-го эффекта необходимо иметь  $p_{\text{диф}} = 22,5$  МПа, чтократно превышает действующее  $p_{\text{ос}}$ , а 2-й эффект практически полностью “нейтрализуется” уже при  $p_{\text{диф}} > 3,2$  Мпа.

Методом численного эксперимента исследовано влияние перепада давления на долоте, скорости его вращения, приближения насадок к забою, асимметричности струи на характеристики фильтрации в сравнении со стандартным вариантом промывки. Установлено, что все перечисленные факторы оказывают положительное влияние на фильтрацию жидкости в породе, но каждый фактор влияет на указанные выше два эффекта по-разному, что позволило разработать наиболее рациональные методы их использования.

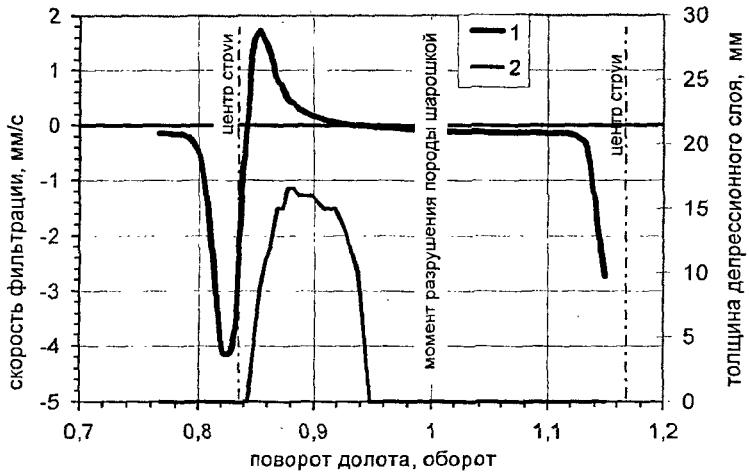
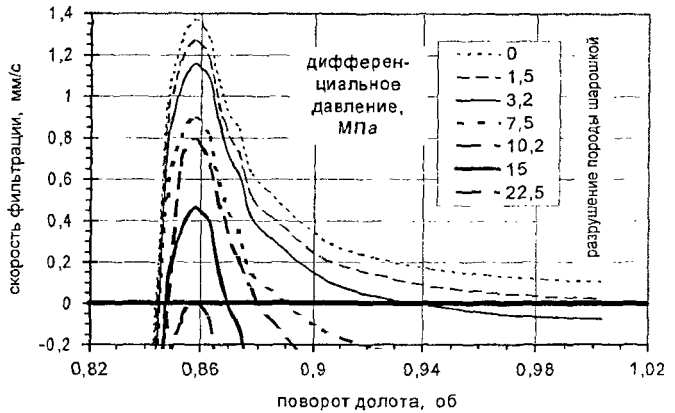


Рис. 3. Изменение скорости и направления фильтрации жидкости через плоскость забоя при вращении долота ( $p_{доп}=11,4$  МПа;  $d_{нас}=10,2$  мм;  $L=3000$  м;  $n = 1$  с<sup>-1</sup>;  $Q = 22$  л/с): 1 - скорость фильтрации; 2 - толщина депрессионного слоя.

Для достижения наибольшего результата от применения гидромониторных долот необходимо проявление обоих эффектов, и самым надежным путем достижения этого является уменьшение дифференциального давления. Следовательно, минимизация плотности бурового раствора и уменьшение гидравлических сопротивлений в заколонном пространстве и в циркуляционной системе являются неперенными условиями эффективного применения высоконапорных струй в бурении. Полученные авторами результаты хорошо объясняют, почему наибольший эффект от гидромониторных долот получают либо на ограниченных глубинах, либо при промывке скважины буровыми растворами с малым содержанием твердой и коллоидной фаз.

Наряду с традиционными мерами интенсификации очистки забоя скважины: уменьшением числа равноразмерных насадок (как правило, двух вместо трех), применение разноразмерных насадок, приближение насадок к забою, автором предложено применение асимметричных струй и формирующих их насадок (а.с. 1686112 СССР, Е 21В 10/18).

Рис. 4. Влияние дифференциального давления на скорости фильтрации через плоскость забоя.



Выполнен анализ влияния указанных мер на фильтрационные процессы в породе на забое скважины для обоснования с этой позиции весьма противоречивых рекомендаций основанных на промышленном опыте. Установлено, что переход с трех равноразмерных насадок меньшего диаметра на две равноразмерные насадки большего диаметра является эффективным методом интенсификации очистки и разрушения забоя при бурении гидромониторными шарошечными долотами (если на время забыть о негативном влиянии на работу долот отсутствия одной из насадок). Первопричиной эффекта является увеличение ударного давления струи на забой за счет уменьшения относительного расстояния до забоя  $m$ .

Приближение насадок к забою очень сильно влияет на 1-й эффект и относительно скромно - на 2-й. Объясняется это тем, что с приближением насадки уменьшается диаметр поражающей забой струи.

Величину максимальной скорости обратной фильтрации можно существенно увеличить (усилить 1-й эффект), если ускорить «сброс» давления в фазе ухода струи, путем увеличения крутизны тыльной стороны волны гидродинамического давления, что реализуют насадки, которые формируют асимметричные струи (а.с. 1686112 Е 21 В 10/18 «Буровое шарошечное долото»). Оказалось, что асимметричная относительно оси насадки струя, у которой плечо тыльной стороны волны в 2 раза меньше активной, нагнетающей стороны волны давления,

обеспечивает удвоение скорости обратной фильтрации рис.5, но вместе с тем имеет место ее быстрое затухание и уменьшение продолжительности. Данная мера будет эффективна в случаях, когда нет реальных надежд на получение 2-го эффекта и нужно усилить проявление хотя бы 1-го. Например, при вынужденном бурении с промывкой скважины растворами повышенной плотности, в том числе и утяжеленными.

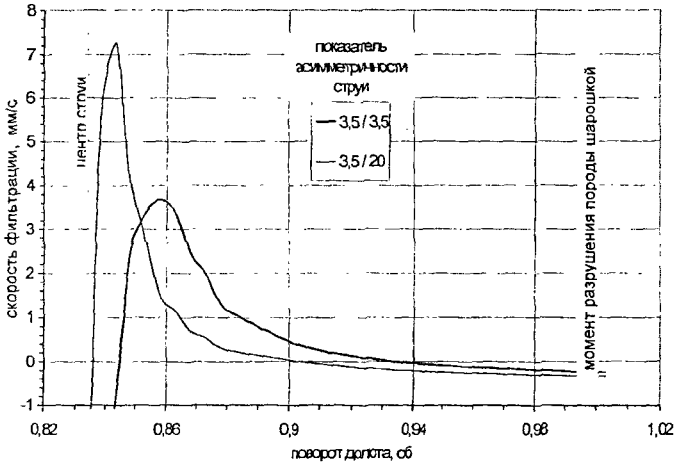


Рис. 5. Влияние асимметричности струи на фильтрацию жидкости при влиянии гидромониторной струи

**В третьей главе** рассмотрены новые методики расчета перелатов давления на долоте и параметров затопленных струй, основанные на результатах экспериментальных исследований (А.К. Козодоя, П.Ф. Осипова, Е.П. Варламова др.) истечения струй жидкости из отдельных насадок и промывочных узлов гидромониторных долот в тулик, обеспечивающих существенное повышение точности расчетов параметров и критериев промывки скважины.

Установлено, что в современных конструкциях промывочных узлов серийных долот коэффициент расхода промывочной системы долота  $\mu_d$  существенно меньше коэффициента расхода насадки  $\mu_n$  вследствие влияния диаметра подводящего канала промывочных отверстий долота  $d_n$ , который по данным П.Ф.Осипова имеет коэффициент расхода  $\mu_n=0,7$ . Знание точных значений  $\mu_n$  является важнейшим условием корректного определения коэффициента расхода промывочной системы долота  $\mu_d$ , а через него —  $p_d$ , что важно в деле проектирования



вания оптимальной промывки забоя скважины. При использовании равноразмерных насадок  $\mu_0$  определяется по формуле:

$$\mu_0 = \left(1,031 + 1,01(d_n / d_n)^4\right)^{-0,5}.$$

Разработаны рекомендации по выбору минимально допустимых (технологически необходимых) диаметров подводящих каналов промывочных узлов для долот:

| диаметром (мм) | диаметр канала (мм) |
|----------------|---------------------|
| 190,5...220    | 24...28             |
| 244,5...295,3  | 30...32             |
| выше 295,3     | 35...37 и более     |

При выполнении практических расчетов по определению относительных осевых гидродинамических давлений затопленных струй  $\lambda$  обычно пользуются формулой А.К. Козодоя:

$$\lambda = 5,5 / (1 + am)^2, \quad (6)$$

где  $a$  - опытный коэффициент расширения струи;  $m$  - относительная длина струи, измеренная в диаметрах насадки.

П.Ф. Осипов на основании стендовых экспериментов показал, что формула (6) дает существенное завышение прогнозируемых давлений, особенно на расстояниях  $m > 8$ , на которых обычно располагаются забои скважин при бурении. При критических давлениях изменение относительного гидродинамического давления струи  $\lambda$  в зависимости от относительного расстояния от насадки  $m$  до забоя он рекомендует определять по формуле (справедлива для любых "плавных" насадок):

$$\lambda = \frac{5,476}{\left\{1 + [0,223 + 0,01(m - 6)]m\right\}^2}$$

Исследовано влияние разноразмерности насадок на распределение ударного гидродинамического давления  $p_{y\phi}$  по отдельным струям (насадкам). На рис. 6 приведен пример такого распределения. Установлено, что с увеличением коэффициента разноразмерности  $\varepsilon = d_l / d_{рен}$  ( $d_{рен}$  - эквивалентный по перепаду давления на долоте диаметр равновеликих насадок) разница в величинах  $p_{y\phi}$  между первой струей и другими возрастает существенно, что приводит к ситуации, когда

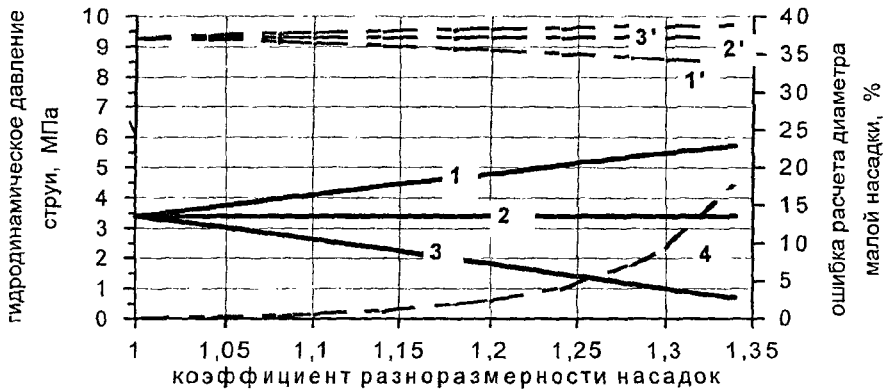
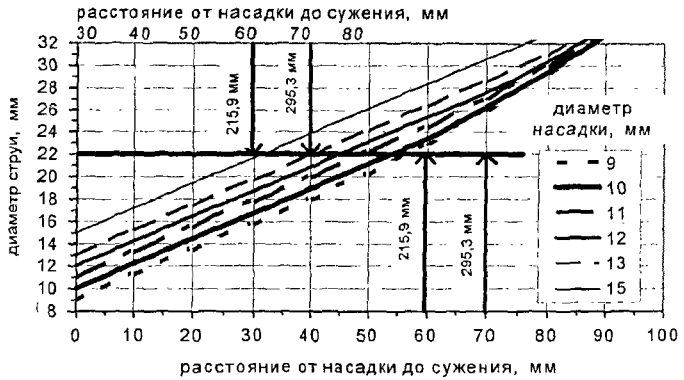


Рис. 6. Влияние разноразмерности на начальное и "ударное" гидродинамические давления струи: 1, 2, 3 - ударные давления струи, истекающих из 1-й, 2-й и 3-й насадок; 1', 2', 3' - начальные гидродинамические давления струй, истекающих из соответствующих насадок; 4 - ошибка определения диаметра малой насадки из условия равновеликого суммарного их сечения. Расход раствора -  $0,04 \text{ м}^3/\text{с}$ ; перепад давления на долоте -  $10 \text{ МПа}$ ;  $d_n = 25 \text{ мм}$ ;  $d_{рен} = 11,7 \text{ мм}$ .

каждая струя оценивается своей величиной критерия промывки. Следствием этого становится неравномерный износ шарошек и по вооружению, и по опоре. Разработана методика расчета расстояний 2-й и 3-й насадок до забоя с целью выравнивания критерия промывки (в сравнении с первой насадкой), реализации которой показала, что путем приближения насадок в пределах до  $40 \text{ мм}$  эта проблема может быть решена. Определение диаметров разноразмерных насадок из условия сохранения одинаковой их суммарной площади сечения приводит к недопустимым ошибкам (рис. 6).

Исследование вписываемости струи в межшарошечное пространство серийных долот диаметром  $215,9$  и  $295,3 \text{ мм}$  показало, что при стандартных расстояниях только при насадках менее  $9 \text{ мм}$  струя вписывается в указанное пространство. Приближение насадки на  $30...40 \text{ мм}$  увеличивает начальный диаметр струи до  $13...15 \text{ мм}$  (рис. 7). Стесненность межшарошечного пространства накладывает конкретные ограничения на выбор диаметров насадок при реализации вариантов промывки.

Рис. 7. Влияние приближения насадок на вписываемость струи в месте наибольшего сужения пространства между шарошками.



В четвертой главе обосновывается новый критерий оценки гидромониторной промывки, названный “эффективным давлением струи”:

$$P_{эф} = P_{ос} - P_{диф},$$

где  $P_{ос}$  - осевое давление струи на забой, определяемое по известным методикам;  $P_{диф}$  - динамическое дифференциальное давление, определяемое по формуле:  $P_{диф} = (\rho g l_{скв} - P_{пл}) + P_{кп} = P_{ст} + P_{кп}$ ,

где  $P_{кп}$  - потери давления в заколонном пространстве;  $P_{пл}$  - пластовое давление;  $P_{ст}$  - статическое дифференциальное давление (статическая репрессия);  $\rho$  - плотность бурового раствора;  $l_{скв}$  - глубина скважины.

Впервые был предложен критерий промывки, в определении которого участвует параметр (пластовое давление), описывающий геологические условия бурения. Критерий  $P_{эф}$  является сложной функцией расхода  $Q$  и имеет максимум.

Выполнен комплекс численных экспериментов для оценки влияния глубины скважины, различных компоновок бурильной колонны, плотности и реологических параметров бурового раствора, приближения насадок к забою на изменение  $P_{эф}$ . Установлено, что критерий  $P_{эф}$  позволяет на уровне проектирования оценить предельную глубину эффективного применения гидромониторных долот, и доказано, что расчетные глубины хорошо коррелируются с опытом применения последних. Разработаны мероприятия по увеличению глубины и эффективности применения гидромониторной промывки без увеличения гидравлической мощности струй.

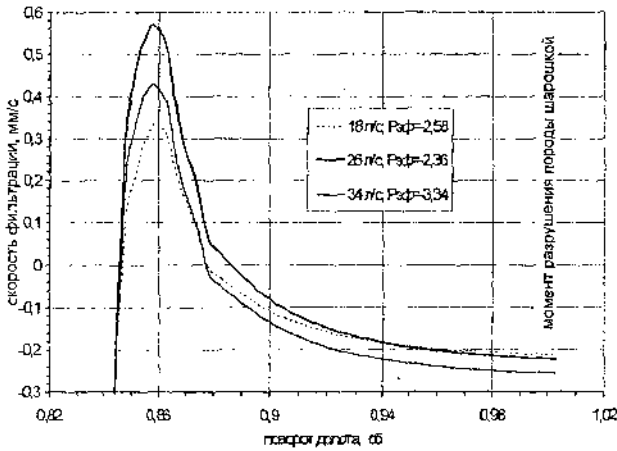


Рис. 8 Сравнение оптимального (26  $\text{дм}^3/\text{с}$ ) другими по критерию  $P_{эф}$  на глубине 4000 (бурильные трубы ТБПК-127, диаметр скважины 215,9 мм, давление на насосах 15 МПа)

Установлено, что максимуму критерия  $P_{эф}$  (оптимальному варианту промывки по данному критерию) при любых глубинах скважины соответствует оптимальное сочетание 1-го и 2-го фильтрационных эффектов (рис.7), что дает основание рекомендовать критерий  $P_{эф}$  в качестве основного и универсального критерия оптимизации промывки скважины.

Разработан алгоритм принятия проектных решений при выборе оптимального варианта промывки с использованием критерия  $P_{эф}$ .

**В пятой главе** представлены описания компьютерных программ для проектирования промывки скважины по критерию  $P_{эф}$ , а также дан анализ результатов внедрения регламентов углубления скважин, разработанных с применением описанной выше методики и программного обеспечения.

Промышленные испытания прошли при бурении разведочных скв. 31, 33, 34 - Восточная Возейю и скв. 50 - Восточная Уса в Республике Коми.

На основе результатов расчета составлены регламенты на бурение скв. 33 Вост. Возейю и скв. 50-Вост. Уса. Внедрение регламентов показало, что отклонение фактических результатов бурения скв. 33-Вост. Возейю по стоимости метра проходки  $C_p$  и рейсовой скорости  $v_p$  от расчетных в среднем составило соответственно 3,7 и 3,2 % по скв. 33-Вост. Возейю и 5,3 % - по скв. 50-Вост. Уса.

Использование оптимальных режимов при бурении скв. 32-Вост. Возейю позволило (по сравнению с результатами бурения скв. 31 и 34-Вост. Возейю) увеличить  $v_p$  соответственно в 1,8 и 1,9 раза; уменьшить себестоимость метра проходки  $C_m$  соответственно на 42 и 45 %; увеличить проходку на долото в 1,6 и 1,4 раза.

Аналогичный анализ технико-экономических показателей бурения выполненный для скв. 50- Сев. Уса (по сравнению с результатами бурения скв. 40-Сев. Уса), показал увеличение  $v_p$  в 1,3 раза, уменьшение себестоимости метра проходки  $C_m$  на 24,5 %, а также рост проходки на долото в 1,3 раза.

Расчет экономической эффективности от применения оптимальных режимов бурения установил, что использование оптимальных режимов при бурении скв. 32-Восточная Возейю и скв. 50-Восточная Уса обеспечило получение экономического эффекта в размере 162 152 и 222 840 руб. соответственно (в ценах 1984 г.).

### **Выводы и рекомендации**

1. Теоретическими исследованиями установлено, что гидромониторные струи, воздействуя на периферии забоя непосредственно на породу, создают там фильтрационные потоки импульсного характера, обеспечивающие проявление двух взаимосвязанных эффектов: отделения выбуренных частиц от забоя и подготовку благоприятных условий для его разрушения путем изменения поля давлений в разрушаемой зоне.

2. Доказано, что дифференциальное давление на забое стремится подавить проявление обоих эффектов, но в особенности - второго.

3. Обоснован и применен для решения задач новый критерий гидромониторной промывки "эффективное давление струи"  $p_{эф}$ , зависящий от дифференциального давления и осевого давления струи на забой, причем функция  $p_{эф}$  от расхода буровой промывочной жидкости имеет максимум.

4. Теоретическими исследованиями доказано, что максимуму критерия  $p_{эф}$  соответствует оптимальное сочетание 1-го и 2-го фильтрационных эффектов гидромониторной промывки, и потому оптимизация промывки по максимуму  $p_{эф}$  обеспечивает получение наибольших в данных геолого-технических условиях ре-

зультатов применения гидромониторных долот.

5. Установлено, что снижение относительной эффективности применения гидромониторных долот по мере увеличения глубины бурения объясняется в первую очередь, увеличением дифференциального давления, и оно хорошо коррелируется с изменением (уменьшением) величины критерия  $p_{эф}$ . Доказано, что существует предельная глубина эффективного применения гидромониторной промывки, которой соответствует критическое значение  $p_{эф}$ , равное, в первом приближении,  $-1$ .

6. Разработан комплекс способов и устройств для интенсификации гидромониторной промывки забоя, обеспечивающие увеличение  $p_{эф}$  и, следовательно, увеличения эффективного применения гидромониторных долот: использование различных методов уменьшения дифференциального давления на забой при бурении скважины; применение специальных насадок для формирования асимметричных затопленных струй; приближение насадок к забою; применение различных размеров насадок в сочетании с нормированным приближением их к забою для выравнивания величины критерия  $p_{эф}$ ; увеличение скорости вращения долота.

7. Установлено, что точность расчетов параметров промывки можно существенно повысить, если определять коэффициенты расхода промывочной системы долот с учетом влияния размеров подводящего канала и разноразмерных насадок в долоте. Экспериментально установлено, что размеры подводящих каналов и межшарошечных пространств серийных долот, как правило, не обеспечивают условия для рационального использования забойной гидравлической энергии, для реализации оптимальных вариантов промывки забоя и для применения методов ее интенсификации. Разработаны методики определения коэффициента расхода промывочной системы долота и рекомендации по оптимизации конструкции для долот всех размеров.

8. Разработана компьютерная программа расчета параметров и критерия промывки для намеченного интервала бурения скважины, используемых для составления регламентов углубления скважины.

9. С применением описанных в работе методик и компьютерных программ разработаны технологические регламенты углубления скважин на Восточной Возейской и Восточно-Усинской разведочных площадях Республики Коми.

внедрение которых обеспечило увеличение технико-экономических показателей с экономическим эффектом 385 тыс. рублей в ценах 1984 года.

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 10 работах, в том числе:

1. Осипов П.Ф., Логачев Ю.Л. Применение асимметричных струй для повышения эффективности работы гидромониторных долот. // Тезисы докл. науч.-техн. конф. Пермского обл. правления ВНТО. - Пермь: 1991.

2. Осипов П.Ф., Логачев Ю.Л. Проектирование режимов промывки скважины по критерию "эффективное давление струи". // Тезисы докл. науч.-техн. конф. Пермского обл. правления ВНТО. - Пермь: 1991.

3. Каменских С.В., Логачев Ю.Л., Осипов П.Ф. Совершенствование режимов бурения на площадях Восточная Возейю и Кыртаель с использованием метода математического моделирования. // Науч.-техн.журнал. - Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море - М.: ВНИИОЭНГ, 1994. - № 11-12.

4. Осипов П.Ф., Логачев Ю.Л., Каменских С.В. Математическое моделирование отработки долот (на примере Восточно-Возейюской площади). // Тезисы докл. науч.-техн. конф. - Проблемы развития газодобывающей и газотранспортной систем отрасли и их роль в энергетике Северо-Западного региона России. - Ухта: СеверНИПИгаз, 1995.

5. Каменских С.В., Осипов П.Ф., Логачев Ю.Л. Математическая модель оптимизации режимов бурения. // Тезисы докл. Междунар. конф.-семи-нара им. Д.Г. Успенского. - Проблемы освоения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. - Ухта: УИИ, 1998.

6. Осипов П.Ф., Логачев Ю.Л., Каменских С.В. Опыт моделирования бурения гидромониторными шарошечными долотами неоднородных пород.- Деп. в ВИНТИ 20.03.98 № 832-В98 (ГНПП "Недра", г. Ярославль, 1998).

7. Осипов П.Ф., Логачев Ю.Л. Оценка интенсивности промывки скважины и ее проектирование по критерию "эффективное давление струи". -Деп. в ВИНТИ 20.03.98 № 834-В98 (ГНПП "Недра", г. Ярославль, 1998).

8. Осипов П.Ф., Логачев Ю.Л. Методы управления интенсивностью обратных фильтрационных потоков на забое скважины при бурении гидромониторны-

ми долотами. - Деп. в ВИНТИ 08.02.99 № 425-В99 (ГНПП "Недра", г. . славль, 1999).

9. Логачев Ю.Л., Осипов П.Ф. Оценка критериев гидромониторной мойки скважины. // Материалы 2-й региональной науч.-практ. конф. - Акту ные проблемы геологии нефти и газа. - Ухта: УИИ, 1999.

10. А.с. 1686112 СССР М. Кл. Е 21 в 10/18. Буровое шарошечное доло  
Авторы: Осипов П.Ф., Поздняков В.И., Богомолов Р.М., Гук Р.И., Логачев Ю  
№ 4627605. Заявл. 27.12.88. Опубл. 23.10.91. Бюлл. № 39.

Соискатель:



Ю.Л. Логачев

Подписано в печать 26.05.2000.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,2. Тираж 100. Заказ 389.

Ухтинский государственный технический университет

169300, Республика Коми, г. Ухта, Первомайская, 13.

Отдел оперативной полиграфии УГТУ

169300, Республика Коми, г. Ухта, Октябрьская, 13.