

ИВАНО-ФРАНКОВСКИЙ ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА

На правах рукописи

ИИСЛВК МИХАИЛ АНДРЕЕВИЧ

**ВЫБОР И ПРИНЯТИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИИ
ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН
В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

05.15.10 - Бурение скважин

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Ивано - Франковск - 1993

№ 26, 286

Работа выполнена в Ивано-Франковском институте нефти и газа.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ : доктор технических наук, профессор
 АВЕТИСОВ Артур Григорьевич
 доктор технических наук, профессор
 ВОЙТЕНКО Владимир Сергеевич
 доктор технических наук, профессор
 КРЫЛОВ Виктор Иванович

ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ - ГАЗОВЫЙ КОНЦЕРН "УКРГАЗПРОМ"

Защита состоится "23" апреля 1993 года в 10 часов на
 заседании специализированного ученого совета Д.068.42.01
 при Ивано-Франковском институте нефти и газа по адресу:
 284018, Украина, г.Ивано-Франковск, ул.Карпатская,15

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Ивано-Франковского института нефти и газа

Автореферат разослан "17" марта 1993 года

Ученый секретарь
 специализированного ученого совета

В.И. ВЕКЕРИК
 Василий Иванович

ЛНБ ім. В. Стефаника
 АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаника
 00814574 (Т)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В мировой практике добычи нефти и газа нарастает тенденция увеличения объемов глубокого и сверхглубокого бурения, вызванная необходимостью обеспечения прироста запасов углеводородов для поддержания существующего уровня их добычи. При этом, естественно, объемы буровых работ, выполняемые в сложных горно-геологических и технологических условиях, будут увеличиваться, что приведет к росту затрат времени и средств на строительство скважин. Так доля затрат на ликвидацию осложнений в общем балансе времени строительства скважин для некоторых нефтегазоносных регионов уже достигает десятков часов на тысячу метров проходки.

В таких условиях одной из ближайших задач науки, первостепенной практической важности, является повышение эффективности бурения глубоких скважин в осложненных условиях. Эта задача должна решаться как за счет дальнейшего развития и совершенствования известных технологий, так и созданием на основе достижений фундаментальных наук принципиально новых технологий, в том числе и для борьбы с осложнениями в бурении.

Проблема проводки глубоких скважин в осложненных условиях изучалась многими исследователями. Весомый вклад в разработку теории и практики бурения глубоких скважин в осложненных условиях внесли Абдрахманов Г.С., Аветисов А.Г., Аветисян Н.Г., Александров М.М., Ангелопуло О.К., Ашрафьян М.О., Бабаян Э.В., Бай - дук Б.В., Булатов А.И., Винарский М.С., Войтенко В.С., Городнов В.Д., Гукасов Н.А., Крылов В.И., Курочкин Б.М., Леонов Е.Г., Мавлятов М.Р., Мирзэджанзаде А.Х., Мовсумов А.А., Поляков В.Н., Пустовойтенко И.И., Самойло А.К., Сеид-Рза М.К., Сельвашук А.П., Симонянц Л.Е., Тимофеев Н.С., Фараджев Т.Г., Хасаев Р.М., Хуршудов В.А., Шевцов В.Д., Шерстнев Н.М., Ширинзаде С.А., Яремий - чук Р.С., Ясов В.Г. и многие другие исследователи.

Анализ опубликованных по данной проблеме работ позволил выделить комплекс задач, решение которых имеет важное народно-хозяйственное значение и составляет основу диссертации. Это, в частности, задачи реодинамики технологических процессов бурения, гидродинамики поглощающего трещиноватого пласта, а также предупреждения и ликвидации поглощений, флюидопроявлений и прихватов колонны труб. Общим в комплексе выделенных задач является их тесная связь с выбором и принятием технологических решений при бурении глубоких скважин в осложненных условиях, специфические особенности которых требуют всестороннего подхода к решению проблемы, включающего углубленное изучение механизма возникновения осложнений, разработку на этой основе методов их прогнозирования, предупреждения и ликвидации.

Цель работы. Разработка научно-методических основ выбора и принятия рациональных технологических решений по предупреждению и ликвидации осложнений при бурении глубоких скважин.

Основные задачи исследований включали в себя:

- разработку методик обработки данных ротационной вискозиметрии и гидравлических расчетов в условиях информационной неопределенности;
- теоретическое исследование, обобщение, разработку и проверку адекватности гидродинамической модели поглощающих трещиноватых пластов;
- формулировку методологии и разработку научно-обоснованных технологических рекомендаций с целью предупреждения поглощений в условиях информационной неопределенности;
- разработку методологических принципов выбора рациональных технологических решений при разбуривании зон с аномально-высокими пластовыми давлениями (АВПД);
- исследование особенностей массопереноса в зоне прихвата

колонны труб и обоснование новых технических и технологических решений для ликвидации прихватов.

Научная новизна диссертации, по мнению автора, состоит в следующем.

Разработана с учетом информационной содержательности опытов методика обработки данных ротационной вискозиметрии в условиях априорной неопределенности реологической модели среды. Показано, что использование строгих решений основного уравнения ротационной вискозиметрии и информационной содержательности опытов, определяющей критерий оптимальности при отборе решений, существенно влияют на выбор реологической модели среды и оценку ее свойств.

Предложена, научно обоснована и обработкой промышленного материала качественно подтверждена гидродинамическая модель поглощающих трещиноватых пластов в виде совокупности трещин различных геометрических форм и размеров. Получены решения стационарных задач течения вязкопластичной жидкости в трещинах с переменным, монотонно изменяющимся сечением, частными случаями которых являются известные решения М.П.Воларовича, А.М.Гуткина и Н.В.Тябина.

Сформулированы и обоснованы научно-методические основы выбора и принятия технологических решений по предупреждению поглощений в условиях информационной неопределенности.

Формализованы и научно обоснованы методологические принципы выбора рациональных технологических решений при разбуривании зон АВЦД.

Развиты представления о конвективном и диффузионном массопереносе в зоне прихвата колонны труб из-за перепада давления. Получены формулы для оценки диссипативных сил при ликвидации прихватов с помощью ударных механизмов.

Совокупность полученных научных результатов, краткий перечень которых приведен в "Заключении", составляет научно-методи-

ческую основу выбора и принятия рациональных технологических решений при бурении глубоких скважин в осложненных условиях.

Основные защищаемые положения. I. Методика обработки данных ротационной вискозиметрии.

2. Методика гидравлических расчетов в условиях неопределенности исходной информации.

3. Принципы расчетов и результаты экспериментальных исследований максимальных изменений гидродинамических давлений при спуско-подъемных операциях.

4. Гидродинамическая модель поглощающих трещиноватых пластов: научные положения, результаты промысловой проверки и практические приложения.

5. Научно-методические основы выбора и принятия технологических решений по предупреждению поглощений, включающие прогнозирование градиентов давлений возникновения поглощений, регулирование свойств буровых растворов и управление гидродинамической обстановкой в скважине при выполнении различных технологических операций.

6. Принципы выбора рациональных технологических решений при разбуривании зон АВЦД в условиях информационной неопределенности.

7. Результаты теоретических исследований конвективного и диффузионного массопереноса в зоне прихвата колонны труб из-за перепада давления.

8. Технические и технологические решения для ликвидации прихватов колонн труб.

Практическая значимость и реализация работы в промышленности.

Выполненные в диссертации исследования явились теоретической базой для разработки и создания комплекса методических, программных, технических и технологических решений, направленных на повышение эффективности бурения глубоких скважин в осложненных условиях:

- методика обработки данных ротационной вискозиметрии;
- гидравлическая программа промывки скважин в условиях неопределенности исходной информации;
- методика прогнозирования градиентов давлений возникновения поглощений;
- рекомендации по регулированию реологических свойств буровых растворов и управлению гидродинамической обстановкой в скважине при выполнении основных технологических операций (механическое бурение, промывка скважины, спуск колонны труб, продавка тампонажных растворов) с целью предупреждения поглощений;
- технические и технологические решения для предупреждения и ликвидации поглощений;
- экспертная система для выбора рациональных технологических решений при разбуривании зон АВПД;
- технические и технологические решения для ликвидации прихватов.

Разработки по реодинамике технологических процессов бурения и предупреждению поглощений широко внедрены в практику бурения скважин на площадях трестов "Укрбургаз" и "Арктикоморнефтегазразведка", ПО "Укрнефть" и "Калининградморнефтегаз" и ЦО "Архангельскгеология". Расчетный экономический эффект от их внедрения составил 570,5 тыс.рублей (в ценах до 1990 г.).

Некоторые результаты диссертации используются в учебном процессе Ивано-Франковского института нефти и газа при преподавании дисциплин "Гидроаэромеханика в бурении", "Технология бурения глубоких скважин", "Осложнения и аварии в бурении" и "Основы научных исследований" для студентов специальности "Бурение нефтяных и газовых скважин".

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на Всесоюзной научно-технической конференции мо-

лодых ученых "Проблемы разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений в условиях Крайнего Севера и Сибири" (п.Красный Курган, Ставропольский край, 1977 г.); республиканской научно-технической конференции "Повышение эффективности и качества научных исследований и проектно-конструкторских работ в нефтяной и газовой промышленности" (Ивано-Франковск, 1977); республиканской конференции по физико-химии и технологии получения и применения промывочных жидкостей (Ивано-Франковск, 1977, 1985 гг.); расширенном заседании секции разработки нефтяных месторождений ЦП НТО НГП по применению неньютоновских систем в нефтедобыче (Куйбышев, 1979г.); Всесоюзном семинаре "Гидравлика буровых и тампонажных растворов" (Баку, 1980г, Ивано-Франковск, 1982, 1984, 1986, 1988 гг); Всесоюзной школе-семинаре по применению методов прикладной математики и средств вычислительной техники в бурении и нефтедобыче (Туапсе, 1982г, Геленджик, 1988г.); IV Всесоюзной конференции "Применение вероятностно-статистических методов в бурении и нефтедобыче" (Баку, 1984 г.); республиканской научно-технической конференции "Актуальные научно-технические проблемы повышения скоростей бурения нефтяных и газовых скважин в Украинской ССР" (Полтава, 1985 г.); международной конференции "Механика горных пород при бурении" (Грозный, 1991г.).

Результаты работы также докладывались на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ИФИНГ (1976-86 гг.); заседаниях секции бурения газовых скважин ученого совета УкрНИИГаза (Харьков, 1976-78 гг);научно-техническом совете треста "Арктикоморнефтегазразведка" (Мурманск, 1982-84гг); научно-техническом совете ШГО "Архангельскгеология" (Архангельск, 1987-88 гг).

В полном объеме диссертационная работа докладывалась на заседании кафедры бурения нефтяных и газовых скважин ИФИНГ (февраль,

1993 г.).

Публикации. По диссертации опубликовано 87 научных работ, в том числе справочное пособие, 2 научно-технических обзора, 20 изобретений и 7 положительных решений на выдачу изобретений.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, основных выводов и рекомендаций и приложений. Общий объем работы составляет 402 страницы и включает 60 рисунков, 32 таблицы, список литературы из 303 наименований и 2 приложения.

Диссертация представляет собой научное обобщение исследований и разработок по технологии бурения глубоких скважин в осложненных условиях, выполненных в течении 1976-1992 гг. автором самостоятельно и совместно с аспирантом Лужаницей А.В., канд. физ.-мат. наук Бомбой А.Я. и канд. техн. наук Чарковским В.М.. Автор выражает им глубокую благодарность.

Автор особо благодарен д-ру техн. наук профессору Ясову В.Г., под научным руководством которого выполнялась часть исследований и, по существу, сформировалось на кафедре бурения нефтяных и газовых скважин ИФИНТ развиваемое в диссертации направление.

Автор признателен д-ру физ.-мат. наук профессору Кобрунову А.И. за ценные советы и консультации по методам решения обратных задач. Автор также благодарен д-ру техн. наук профессору Зарубину Ю.А. за ознакомление с рукописью диссертации и сделанные конструктивные замечания по существу работы.

Программная реализация большинства алгоритмов выполнена инженерами Василиком Р.В. и Крайник А.В. При проведении промышленных исследований и внедрении разработанных рекомендаций автору оказывали помощь инженеры Головатый Т.Г., Мельник М.П., Розновец В.С., Спивак Е.Д. и др. Весомую помощь в оформлении диссертации внесли инженеры Грынькив В.В. и Сысоева Н.В. Выражаю им искреннюю благо-

дарность.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы и дана ее общая характеристика.

Первая глава посвящена принятию решений в некоторых задачах реодинамики технологических процессов бурения.

Приведены краткие сведения о реологических моделях буровых и тампонажных растворов. В группе реологически стационарных моделей выделен класс Γ моделей, допускающий явное аналитическое представление вида $\dot{\gamma} = \dot{\gamma}(\tau)$ ($\dot{\gamma}, \tau$ - соответственно градиент скорости и напряжение сдвига).

Разработана с учетом информационной содержательности опытов методика обработки данных ротационной вискозиметрии, которая основана на использовании строгих решений уравнения, описывающего течение Куэтта в зазоре между коаксиальными цилиндрами. Задача обработки данных вискозиметрии формализована в виде поиска индекса состояния \hat{v} испытуемой среды из некоторого априорно известного класса $v \in \Gamma$ моделей и оценки вектора \hat{a}_v реологических свойств этой модели

$$\tau_{\nu} = \begin{cases} \text{либо } T(\omega, a_{\nu}) + \zeta_{\nu}, \\ \text{-----} \\ \text{либо } T(\omega, a_{\nu}) + \zeta_{\nu}, \nu \in \mathcal{V}, \\ \text{-----} \end{cases} \quad (I)$$

где τ_{ν} - вектор экспериментальных измерений напряжений сдвига с компонентами $\{\tau_{\nu i}\}, i \in \overline{1, N}$ при соответствующих скоростях $\omega = \{\omega_i\}$ вращения наружного цилиндра; $\zeta_{\nu} = \{\zeta_{\nu i}\}$ - вектор случайных расхождений теоретического $T(\omega, a_{\nu})$ и экспериментального поля напряжений.

В отношении вектора ζ_{ν} принято допущение о нормальном харак-

тере плотности распределения вероятностей (функции правдоподобия)

$$L_v = \frac{1}{(2\pi)^{N/2} \cdot |C|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\tau_2 - T(\omega, a_v))^T C^{-1} (\tau_2 - T(\omega, a_v)) \right\}, \quad (2)$$

где C - матрица ковариаций случайной компоненты с элементами $\{c_{ij}\}$, $i, j \in \overline{1, N}$; $|C|$ - детерминант матрицы C ; $(\cdot)^T$ - транспонированный вектор расхождений. Матрица C строится статистической обработкой результатов измерений $\{\tau_{vij}\}$, а при недостаточном количестве экспериментальных данных может быть задана априорно в виде нестационарной некоррелированной (оценки c_{ii} определяются на основании погрешности измерительных средств, а $c_{ij} = 0$ при $i \neq j$) или принята в виде стационарной некоррелированной $C = \sigma_v^2 I$, где I - единичная матрица и σ_v^2 - дисперсия случайной компоненты, подлежащая оцениванию при решении задачи (I).

Задача (I) решена с помощью максимально-правдоподобных процедур для оценки реологических свойств

$$\max_{a_v \in A_v} L_v(a_v) \Rightarrow \hat{a}_v, \quad v \in \mathcal{V} \quad (3)$$

и распознавания реологической модели

$$\max_{v \in \mathcal{V}} L_v(\hat{a}_v) \Rightarrow \hat{v}, \quad (4)$$

где A_v - множество допустимых значений вектора a_v .

Для моделей Гершея-Балкли, Шульмана-Кессона и Шульмана разработаны итерационные алгоритмы решения прямой задачи $T(a_v, \omega)$, основанные на 2-х точечной интерполяции и (или) экстраполяции (рис. I). Оценки решения τ_2 строятся по точкам 1 и 2 с координатами (ω_1, τ_1) и (ω_2, τ_2)

$$\tau_2 = \begin{cases} \tau_1 + \frac{\tau_2 - \tau_1}{\omega_2^n - \omega_1^n} (\omega^n - \omega_1^n) & - \text{модель Гершея-Балкли;} \\ \left[\tau_1^{1/n} + \frac{\tau_2^{1/n} - \tau_1^{1/n}}{\omega_2^{1/n} - \omega_1^{1/n}} (\omega^{1/n} - \omega_1^{1/n}) \right]^n & - \text{модель Кессона-Шульмана;} \\ \left[\tau_1^{1/m} + \frac{\tau_2^{1/m} - \tau_1^{1/m}}{\omega_2^{1/m} - \omega_1^{1/m}} (\omega^{1/m} - \omega_1^{1/m}) \right]^m & - \text{модель Шульмана,} \end{cases} \quad (5)$$

где n, m – показатели нелинейности в соответствующих реологических уравнениях. Предложенный алгоритм является эвристическим, обладает высокой скоростью сходимости и доказан многочисленными результатами вычислений.

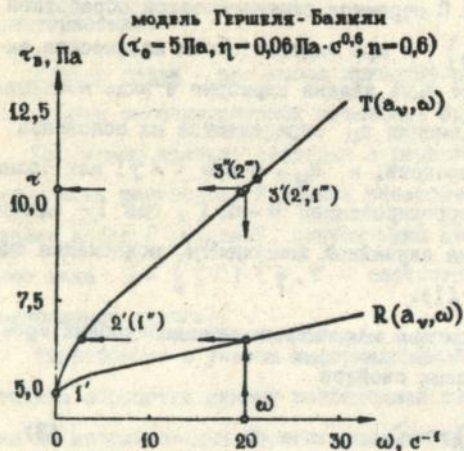


Рис.1. Иллюстрация алгоритма $T(a_v, \omega)$: R – приближенное решение, штрихами обозначены номера соответствующих итераций

Для моделей Ньютона и Шведова-Бингама задача (3) решена аналитически. Теоретически показано, что для других реологических моделей решение (3) может быть построено на экстремальных классах с использованием предложенного А.И.Кобруновым итерационного процесса.

Разработано программное обеспечение для решения задачи (1) с помощью процедур (3)

и (4). В работе описаны функциональные возможности программ RHEOS 3 и RHEOS 6, предназначенных для обработки данных ротационной вискозиметрии соответственно в классе 3 (Ньютона, Шведова-Бингама и Оствальда) и до 6 (включая дополнительно модели в (5)) реологических моделей.

С целью иллюстрации интерпретационных возможностей предлагаемой и некоторых наиболее распространенных методик была выполнена обработка смоделированных данных ротационной вискозиметрии для известных реологических моделей и свойств. Показано, что предлагаемая методика во всех случаях обеспечивает наиболее точную оценку

реологических свойств (до 5 ... 7%). Для нелинейных вязкопластичных моделей методики Д.А.Голубева и основанные на приближенных выражениях для $\dot{\gamma}$ приводят к существенным погрешностям в оценках реологических свойств.

На примерах обработки лабораторных данных изучено влияние информационной содержательности опытов (вида матрицы \mathcal{C}) на оценки реологической модели и свойств буровых растворов. Отмечено, что существенное влияние вида матрицы \mathcal{C} на оценки $\hat{\nu}$ и \hat{a}_0 обусловлено различными информационными весами экспериментальных данных в решающих правилах (3) и (4).

Показано, что разработанная методика обработки данных ротационной вискозиметрии может быть перенесена на случай капиллярной реометрии.

Приведено обобщение алгоритмов решения прямой задачи ротационной вискозиметрии (5) на численный расчет с требуемой точностью ламинарных течений нелинейных вязкопластичных жидкостей (ВПЖ) в круглых и кольцевых трубах.

Предложено в условиях неопределенности исходной информации для принятия решений в реодинамике технологических процессов использовать статистическое моделирование. Предполагается, что целевая функция (например, перепад давления) зависит от векторов точно известных (геометрические характеристики), а также неточно известных статистически независимых (расход и свойства жидкости) и статистически зависимых (реологические свойства) исходных данных. Затем, используя вероятностные характеристики распределения неточно известных исходных данных, оценивают с помощью их моделирования статистические характеристики целевой функции, что позволяет применить статистическую модель принятия решения. В работе рассмотрены примеры, иллюстрирующие эффективность статистического моделирования в задачах принятия решений.

Вопросы прогнозирования гидродинамических давлений при спуско-подъемных операциях (СПО) наиболее полно изучены в работах Гукасова Н.А., Леонова Е.Г., Мирзаджанзаде А.Х., Пирвердяна А.М. и других исследователей. В теоретическом плане рассматривалось, как правило, течение вязких и вязкопластичных жидкостей, что и нашло отражение в методиках расчета изменений давлений при СПО.

Поэтому в работе рассмотрена задача расчета изменений давления Δp^A при осесимметрическом движении с постоянной скоростью U колонны труб с закрытым нижним концом в скважине, заполненной реологически стационарной жидкостью в классе моделей Γ . По аналогии с (5) построены быстросходящиеся алгоритмы решения задачи $\Delta p^A = A(U)$ с требуемой точностью для ламинарного режима течения жидкости. Приведено обобщение существующих в инженерной практике подходов к расчету максимальных изменений давлений Δp_{\max} при СПО: с учетом суперпозиции скоростной и инерционной компонент давления, а также по скоростной компоненте давления в зависимости от максимальной скорости спуска U_{\max} в конце фазы разгона. Например, для первого случая оценка Δp_{\max} определяется из решения уравнения

$$\Delta p_{\max} = \max_{t \in [0, t_p]} \left\{ \sum_i [\max(\Delta p_i^A(t), \Delta p_i^I(t)) + \Delta p_i^A(t)] \right\}, \quad (6)$$

где $\Delta p_i^I(t)$ - изменение давления во времени t при турбулентном течении жидкости в i -м кольцевом зазоре; $\Delta p_i^A(t)$ - инерционная компонента давления; t_p - продолжительность фазы разгона. Для ВПК и в предположении синусоидального закона изменения скорости перемещения колонны труб на фазе разгона получено аналитическое решение (6).

С целью изучения общих закономерностей изменения давлений при СПО были проведены экспериментальные исследования на бурящихся скважинах с помощью глубинных манометров. В результате исследования изучены типовые формы импульсов давлений, подтверждена линей-

ная связь между Δp_{max} и длиной колонны труб, а также нелинейная связь между Δp_{max} и U_{max} . Полученные результаты согласуются в качественном плане с результатами исследований, проведенных ранее В.И.Крыловым и др. Показана возможность использования предложенных методик расчета Δp_{max} при СПО. Средняя относительная погрешность расчетных и экспериментальных значений Δp_{max} при спуске колонны труб по 57 измерениям составила 10,7%, а при подъеме по 18 измерениям - 9,7%.

Во второй главе обоснована и разработана гидродинамическая модель поглощающих трещиноватых пластов.

Известно, что поглощения буровых растворов со структурированными свойствами приурочены в основном к трещиноватым горным породам. Существующие гидродинамические модели трещинных (в т.ч. и поглощающих) сред недостаточно подтверждаются практикой гидродинамических исследований поглощающих пластов. Обобщенная модель В.И.Мищевича неприменима для случая течения ВПЖ и решения нестационарных задач, не учитывает деформационных свойств горных пород.

На основании анализа изученности трещиноватых пластов предложена их качественно новая гидродинамическая модель в виде совокупности трещин различных геометрических форм и размеров. Определены понятия: системы трещин - совокупность геометрически одинаковых по форме и размерам трещин; однородно-трещиноватого пласта (ОТП), модель которого представлена одной системой трещин и неоднородно-трещиноватого пласта (НТП) - системами трещин различных геометрических форм и размеров. Недеформируемым пластом назван такой, влияние упругих деформаций которого на характер движения жидкостей в пределах создаваемых на пласт гидродинамических нагрузок пренебрежимо мало.

Для построения модели поглощающего пласта рассмотрено сначала стационарное течение ВПЖ в моделях отдельных трещин с переменным монотонно изменяющимся сечением. С использованием принципов

квазиодномерности и усреднения ускорения по сечению получены точные и приближенные решения для ламинарного течения. Последние имеют вид:

- плоское течение

$$\Delta p = \frac{3\eta q_i}{2l_i} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{D^3(x)} + \frac{3\tau_0}{2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{D(x)} + \frac{\rho[D^2(x_1) - D^2(x_2)]q_i^2}{8\tau_0^2 D^2(x_1) D^2(x_2)}, \quad (7)$$

- радиальное течение

$$\Delta p = \frac{3\eta q_i}{4\pi} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{rD^3(r)} + \frac{3\tau_0}{2} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{D(r)} - \frac{\rho[R_2^2 D^2(R_2) - R_1^2 D^2(R_1)]q_i^2}{32\pi^2 R_1^2 R_2^2 D^2(R_1) D^2(R_2)}, \quad (8)$$

где Δp - перепад давления в трещинах на границах x_1, x_2 (R_1 и R_2); ρ, η, τ_0 - плотность, пластическая вязкость и динамическое напряжение сдвига ВПЖ; q_i - расход жидкости в трещине; l_i - ширина раскрытия трещины; $2D$ - величина раскрытия трещины в текущей координате. В диссертации приведены некоторые частные случаи общих решений (радиальные и плоские трещины с плоскопараллельными и клиновидными стенками) и указывается на их обобщение известных решений М.П.Воларовича, А.М.Гуткина и Н.В.Тябина.

Показано, что для трещин с переменным сечением кривые течения $\Delta p - q_i$ в области малых расходов соответствуют таковым для трещин с постоянным сечением, а в области больших расходов - отклоняются в сторону оси Δp для сужающихся или q_i для расширяющихся в направлении течения жидкости трещин. Последнее определяет качественную особенность течения ВПЖ в трещинах с переменным сечением и объясняется проявлением инерционных компонент давлений, обусловленных изменением кинетической энергии потока и зависящих от расхода жидкости в квадрате. В работе обоснована возможность использования приближенных решений (7) и (8) для построения гидродинамической модели поглощающего пласта.

С использованием (7) и (8), уравнения неразрывности и допуще-

ния, что перепад давления на все трещины одинаков, получены уравнения стационарного течения ВПЖ в моделях недеформируемого ОТП

$$p_e - p_n - q_n / \Gamma + \frac{(p_e - p_n)}{|p_e - p_n|} B \tau_0 + C q_n^k, \quad (9)$$

где p_e, p_n - давление в скважине и пласте; q_n - расход жидкости в пласте; Γ, B, C - параметры недеформируемого ОТП, зависящие от свойств жидкости, количества и геометрических размеров трещин. В качественном плане выделены три характерные модели, соответственно, для пластов, представленных системами трещин с постоянным сечением ($C = 0$), сужающихся ($C > 0$) и расширяющихся ($C < 0$).

Построены уравнения стационарного течения ВПЖ в упруго-деформируемом пласте, качественный вид которых аналогичен (9), где параметры пласта являются функциями $\Delta p = p_e - p_n$. Полученное решение исключает парадокс существования расхода при депрессии, соответствующей смыканию трещин на стенках скважин. Изучено влияние перепада давления Δp на течение жидкостей в упруго-деформируемом ОТП.

Рассмотрена особенность течения ВПЖ в модели НТП, которая определяется уравнением неразрывности

$$q_n = \sum_i q_{e_i} (p_e - p_n), \quad (10)$$

где $q_{e_i} (p_e - p_n)$ - расход в i -й системе трещин. В (10) суммирование производится по индексам, для которых $|p_e - p_n| > B_i \tau_0$. Показано, что предложенная гидродинамическая модель теоретически интерпретирует формы индикаторных линий, встречающихся в практике гидродинамических исследований поглощающих пластов.

Диагностика моделей трещиноватых пластов основывается на представлении результатов стационарных гидродинамических исследований в координатах $(\Delta p - B \tau_0) / q_n - q_n$ и сопоставлении их с теоретическими кривыми (рис.2). НТП диагностируется по излому и отклонению индикаторной линии в сторону оси q_n . С использованием уравне-

ний предельного равновесия ВПЖ в скважине и пласте предложены методы оценки параметра B пласта.

Учитывая неоднозначность в диагностике по экспериментальным данным модели пласта задача обработки данных гидродинамических исследований формализована в виде поиска истинной модели в некотором

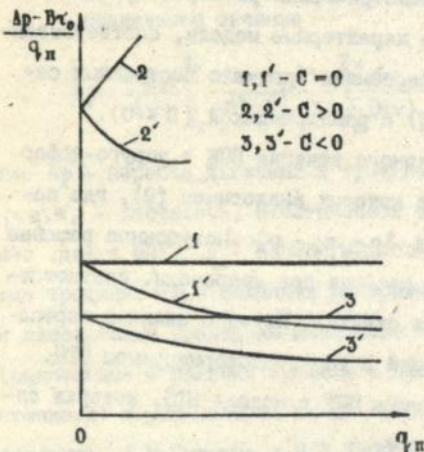


Рис.2. Теоретические индикаторные линии недеформируемого (1...3) и упруго-деформируемого (1'...3') ОТП

модели 12 пластов описываются уравнениями для недеформируемого ОТП, 3 - для деформируемого ОТП и 20 - для НТП. Результаты обработки показали, что относительная среднеквадратичная погрешность среднего значения Δp , как правило, находится в пределах 1...3%, а средняя погрешность экспериментальных и расчетных значений расходов для ОТП составляет 2,3% и НТП - 1,5%.

С использованием принципов квазиодномерности и усреднения ускорения по сечению получены уравнения нестационарного течения несжимаемой вязкой жидкости в моделях недеформируемого ОТП

априорно известном классе моделей (по аналогии с (1)) и решена с помощью правил вида (3) и (4). В работе рассмотрен пример обработки экспериментальных данных для НТП.

Приведены результаты обработки промысловых данных В.И.Мишечевича с помощью предлагаемой методики. Установлено, что форма всех индикаторных линий соответствует в качественном плане теоретическим положениям диагностики моделей. Обработкой данных по 35 поглощающим пластам показано, что гидродинамические

$$\frac{dq_n}{dt} + \frac{c}{M} q_n^2 + \frac{f}{\Gamma M} q_n = \frac{\Delta p(t)}{M}, \quad (II)$$

где M - параметр пласта, $\Delta p(t)$ - перепад давления на пласт как функция времени. Приведено обобщение уравнения (II) на случай течения ВПЖ.

С помощью (II) теоретически изучен метод прослеживания уровня жидкости в скважине. При исследовании пласта данным методом выделены следующие операции: долив скважины, взаимодействие скважины и пласта при уровне жидкости на устье и восстановление давления в скважине. В такой постановке формализована и решена задача исследования трещиноватого пласта методом прослеживания уровня жидкости в скважине.

Анализ полученных теоретических решений позволил уточнить область применения метода прослеживания уровня жидкости в скважине с целью построения квазистационарных индикаторных линий, а также обосновать новые способы гидродинамических исследований и оценки величины раскрытия трещин пласта.

Рассмотрены возможные инженерные приложения гидродинамической модели поглощающего трещиноватого пласта: диагностика моделей (ОТП, НТП), оценка форм трещин (с постоянным сечением, сужающаяся или радиальная), оценка приемистости пласта при закачке жидкости с отличающимися свойствами, оценка раскрытия трещин на стенках скважины (по результатам стационарных исследований пласта, а также по результатам стационарных и нестационарных исследований). По результатам обработки промысловых данных В.И.Мицевича оценка эффективного раскрытия радиальных трещин поглощающих пластов находится в пределах $(0,123 \dots 6,348) 10^{-3} \text{ м}$, а для большинства систем трещин - $(0,012 \dots 0,100) 10^{-3} \text{ м}$.

Разработаны новые способы гидродинамических исследований поглощающих пластов, позволяющие повысить точность построения квази-

стационарных индикаторных линий.

Рассмотрены особенности выбора депрессии при освоении и испытании трещинных коллекторов. Показано, что существует критическое значение репрессии на пласт, превышение которого при вскрытии пласта не позволяет удалить буровой раствор из прискважинной зоны при освоении. Получены соотношения для оценок критических значений репрессий и депрессий.

Третья глава посвящена выбору и принятию технологических решений по предупреждению и ликвидации поглощений.

На основании анализа и обобщения известных рекомендаций сформулированы элементы стратегии предупреждения поглощений при бурении скважин, включающие последовательное решение следующих задач: построение прогнозов градиентов давлений возникновения поглощений (ГВП) в открытом стволе скважины, назначение ограничений на градиент гидравлического давления с целью предупреждения поглощений, выбор рациональной конструкции скважины, регулирование свойств буровых растворов, управление гидродинамической обстановкой в скважине при выполнении технологических операций и целенаправленное изменение характеристик пласта.

Выделены характерные причины возникновения поглощений и получены формулы для оценок величин ГВП ($\text{grad}[p]$):

- пласт с открытыми трещинами

$$\text{grad}[p] = \text{grad } p_n + \Delta p_c / z ; \quad (12)$$

- пласт с закрытыми от действия горного давления трещинами

$$\text{grad}[p] = \frac{\mu}{(1-\mu)(1-m)} \text{grad}(p_r - p_n) + \text{grad } p_n + \Delta p_c / z ; \quad (13)$$

- пористый пласт

$$\text{grad}[p] = \frac{\mu}{(1-\mu)(1-m)} \text{grad}(p_r - p_n) + \text{grad } p_n + (\delta_p + \Delta p_c) / z, \quad (14)$$

где grad - символ градиента; p_n, p_r - пластовое и геостатическое давления на глубине z ; μ, m - коэффициенты Пуассона и пористости горных пород; $\Delta \tau$ - давление сдвига ВПЖ в трещинах пласта; δ_p - прочность породы на разрыв. Отмечено, что наиболее известные и применяемые в практике расчетные формулы Б.Итона, В.Меттьюза и Дж.Келли, П.Пилкингтона, А.П.Сельвачука и др. являются частным случаем (I3) и (I4).

Дана характеристика методов прогнозирования ГВП с помощью расчетных формул и статистического анализа промысловых данных. Предложено для прогнозирования ГВП в условиях информационной неопределенности использовать нечеткие модели.

Под нечетким прогнозом ГВП понимается совокупность упорядоченных пар $\{\text{grad } p, \mu_n(\text{grad } p)\}$, где μ_n - функция принадлежности, ставящая в соответствие каждому значению градиента гидравлического давления $\text{grad } p$ число μ_n из сегмента $[0, 1]$, характеризующее степень возможности возникновения поглощения при данном значении $\text{grad } p$. Причем $\mu_n = 0$ для тех значений $\text{grad } p$, при которых поглощений нет и $\mu_n = 1$ - когда они есть. Для построения функции принадлежности предложены эмпирический и эвристический методы, которые обобщают соответственно статистические методы и методы прогноза ГВП с помощью расчетных формул. В работе описаны алгоритмы и программное обеспечение для построения нечетких прогнозов ГВП. Рассмотрено назначение по результатам прогноза ГВП ограничений $\text{grad}^*[p]$ на градиент гидравлического давления с целью предупреждения поглощений.

Приведено обобщение традиционной методики выбора рациональной конструкции скважины на случай информационной неопределенности и многокритериальных оценок сформированных альтернатив, которое построено в терминах нечетких множеств.

Обоснованы принципы регулирования реологических свойств бур-

вых растворов с целью предупреждения поглощений. Для случая вскрытия поглощающего пласта с открытыми трещинами регулирование реологических свойств сформулировано из условия минимизации интенсивности поглощения. На основании анализа решений задач о взаимодействии скважины и различных моделей поглощающего трещиноватого пласта при промывке определены направления регулирования свойств и получено условие предупреждения поглощения. Показано, что выбор направления регулирования реологических свойств буровых растворов зависит от геолого-технологических условий бурения. Для других причин возникновения поглощений регулирование реологических свойств основано на уменьшении гидродинамических давлений при выполнении технологических операций.

Формализованы условия предупреждения поглощений при выполнении различных технологических операций в процессе бурения

$$p_j(z_i) \leq z_i \text{grad}^* [p(z_i)], \quad i \in \overline{1, N}, \quad (15)$$

где $p_j(z_i)$ - гидродинамическое давление, действующее в любом сечении z_i открытого ствола скважины при выполнении j -й технологической операции; N - число опасных сечений в открытом стволе скважины. Отмечено, что условие (15), в связи с необходимостью учета ограничений на вскрываемые при бурении пласты, носит динамический характер.

Разработаны рекомендации по управлению гидродинамической обстановкой в скважине с целью соблюдения условия (15) при выполнении основных технологических операций в процессе бурения (механическое бурение, промывка, спуск колонны труб), которые составили основу гидравлической программы промывки скважины GIPPS. Программа GIPPS обеспечивает в автоматизированном режиме решение следующих технологических задач при роторном бурении и с применением забойных гидравлических двигателей:

- выбор рационального расхода бурового раствора из условий

очистки забоя, минимизации гидродинамического давления в скважине при бурении, рациональной работы забойных двигателей и предупреждения поглощения;

- выбор диаметров насадок гидромониторных долот и определение глубин их изменения с целью реализации гидромониторного эффекта и рационального использования гидравлической мощности насосов;

- расчет гидравлических сопротивлений в циркуляционной системе скважины с учетом неопределенности исходной информации о расходе и свойствах бурового раствора;

- расчет допустимых скоростей спуска и подъема буровой колонны из условий предупреждения осложнений.

В работе рассмотрены также некоторые задачи предупреждения поглощений при креплении скважин.

С использованием методических принципов Н.А.Лукасова разработана инженерная модель расчета процесса закачки тампонажного раствора с учетом разрыва сплошности потока, позволяющая прогнозировать основные гидравлические характеристики потока для различных реологических моделей и режимов течения бурового, тампонажного и продавочного растворов. Предложенная модель является более общей, чем приведенные в работах Н.А.Лукасова (1982) и R.M.Beirute (1986).

Рассмотрен расчет режимов продавки тампонажных растворов с целью предупреждения поглощений в открытом стволе скважины, характерной особенностью которого является учет различных реологических моделей и режимов течения бурового, тампонажных и продавочного растворов во внутритрубном и затрубном пространствах. Полученные результаты позволяют обосновать режимы закачки и продавки тампонажных растворов при цементировании обсадных колонн.

В работе описаны усовершенствованные технические средства для предупреждения поглощений: муфта для ступенчатого цементирования обсадных колонн и устройства для регулирования расхода при безна-

порном движении тампонажного раствора в процессе цементирования скважин.

Рассмотрена особенность выбора и расчета основных технологических параметров процесса изоляции НТП. На рис.3 приведены индикаторные линии НТП, представленного двумя системами трещин, при закачке бурового раствора (1) и различных тампонажных смесей (2-4). Подключение систем трещин обозначено соответствующими значениями

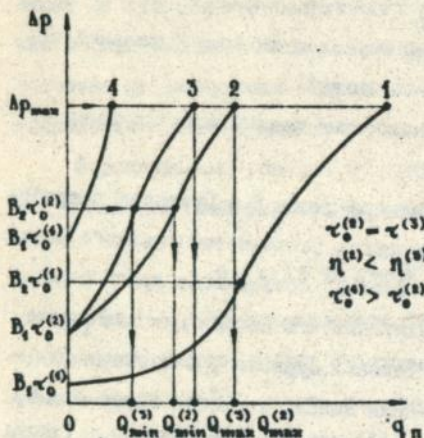


Рис.3. Индикаторные линии НТП при закачке технологических жидкостей

величина τ_0 должна обеспечить возможность продавки смеси в обнаруженные системы трещин, а пластическая вязкость η регулирует рабочий диапазон расходов (кривые 2-4, см.рис.3). Предложена схема выбора рациональной технологии изоляции НТП.

В данной главе также описаны: устройства для изоляции зон поглощения, позволяющие повысить надежность изоляционных работ за счет фиксации объема продавочной жидкости и отсекания гидростати-

Δp_0 . Величина Δp_{max} определяет максимально допустимый перепад давления, обеспечивающий проведение изоляционных работ без осложнений в скважине.

Показано, что для качественной изоляции НТП необходимо обеспечить режим продавки, определяемый расходами Q_{min} и Q_{max} и, соответственно, перепадами давлений $B_2\tau_0$ и Δp_{max} . Определены требования, предъявляемые к реологическим свойствам тампонажной смеси:

ческого давления в скважине после тампонирования; усовершенствованные конструкции устройств для локального крепления ствола скважины с помощью упругой оболочки и способ ступенчатого цементирования обсадных колонн в скважинах с неизолированной зоной поглощения.

В четвертой главе сформулированы и разработаны научно-методические принципы выбора и принятия рациональных технологических решений при разбуривании зон АВПД.

На основании анализа работ Аветисова А.Г., Александрова Б.Л., Аникиева К.А., Булатова А.И., Войтенко В.С., Гоинса У.К., Фертля У.Х., Шеффилда Р. и многих других исследователей отмечено, что одной из важных проблем, возникающих при выборе и принятии технологических решений при разбуривании зон АВПД, является информационная неопределенность о глубинах залегания переходной зоны и характере изменения порового (пластового) давления с глубиной. Это послужило основой для использования статистической модели выбора и принятия рационального технологического решения при разбуривании зон АВПД, декомпозиция которой формально представлена в такой последовательности: обнаружение переходной зоны, построение статистического прогноза изменения поровых давлений с глубиной, построение модели принятия решения и выбор рационального технологического решения.

Задача выделения переходной зоны по результатам наблюдений в реальном масштабе времени за изменением индикаторов давлений IND (d - экспонента, модифицированная d_g экспонента, плотность глинистых пород и др.) формализована в виде поиска глубины z_n , на которой происходит изменение свойств параметров модели $\overline{IND}(z)$

$$a = \begin{cases} a_n, & \text{при } z \leq z_n; \\ a_n, & \text{при } z > z_n, \end{cases} \quad (I6)$$

где a_n , a_n - векторы параметров модели $\overline{IND}(z)$ в зонах с нормальными и повышенными давлениями. Рассмотрены возможные алгорит-

мы решения задачи (I6).

В случае наблюдения за изменением одного индикатора давления задача (I6) решена с помощью алгоритма кумулятивных сумм

$$\begin{cases} z_{\pi} = \inf \{ z_i : g_{z_i} > h \}; \\ g_{z_i} = \max \left\{ 0, g_{z_{i-1}} + \frac{IND_i - IND_{i-1}}{\delta^2} \right\}, \end{cases} \quad (I7)$$

где g_{z_i} - значение счетчика (кумулятивной суммы) решающей функции на глубине z_i (при $i = 1 - g_{z_{i-1}} = 0$); h - величина порога; δ^2 - дисперсия оценки приращения счетчика. Для оценки порога предложено использовать априорную информацию о зоне АВПД или результаты статистического анализа промысловых данных. В первом случае алгоритм (I7) реализован с адаптивной оценкой порога h .

При одновременном наблюдении за изменением нескольких индикаторов давлений выделение переходной зоны осуществляется на основании анализа с помощью теоремы Байеса апостериорной вероятности ее вскрытия. Приведены примеры выделения переходной зоны по промысловым данным, иллюстрирующие эффективность предложенных алгоритмов.

Предложено для построения статистических характеристик прогноза поровых давлений с помощью известных сингулярных методов (эквивалентных глубин, М.Заморы, Б.Итона) использовать статистическое моделирование. В частном случае для метода эквивалентных глубин при некоторых упрощающих допущениях получены аналитические выражения для оценки статистических характеристик прогноза поровых давлений.

Разработаны методы прогнозирования поровых давлений с помощью статистических зависимостей индикатора давления (d -экспоненты и механической скорости проходки) от дифференциального давления Δp , являющиеся развитием идей А.Т.Бургояна, В.И.Славина, В.В.Шевурдяева, Б.А.Матуса и др. В основу методов положено допущение о наличии при разбуривании литологически однородных пород между IND и Δp функциональной связи $IND(z, \Delta p, \dots)$, что предопределяет су-

ществование обратной к ней функции $\Delta p(z, IND, \dots)$. Следовательно, задача прогнозирования поровых давлений сводится по существу к построению с помощью выборки наблюдений, полученной в зоне с известными поровыми давлениями, функциональной связи $\hat{\Delta p}_v(z, IND, \dots)$ в некотором классе $v \in \mathcal{V}$ возможных моделей. Класс \mathcal{V} сформирован на основе логических представлений о возможной функциональной связи $IND(z, \Delta p, \dots)$ и представлен аддитивными моделями. Решение задачи получено с помощью метода группового учета аргументов: обучение моделей \mathcal{V} производится по обучающей последовательности данных, а выбор модели $\hat{\Delta p}^v(z, IND, \dots)$ для прогноза — из условия минимума несмещенной оценки дисперсии на проверочной последовательности данных.

В диссертации приведены примеры прогнозирования поровых давлений с помощью моделей $IND(z, \Delta p, \dots)$. С целью подтверждения их эффективности были обработаны промысловые данные по 12 скважинам из различных нефтегазоносных регионов. Исходные и прогнозные значения дифференциальных давлений определяли расчетным путем по результатам прямых замеров пластовых давлений и геофизическим данным. Анализ результатов обработки промысловых данных показал, что предлагаемые методы устойчивы к значительным экстраполяциям до 700 ... 900 м (в смысле интервалов обучения, проверки и прогноза) и во всех случаях обеспечивают более достоверные прогнозы, чем методы эквивалентных глубин, М.Заморы и Б.Итона. Расчетная погрешность прогнозов поровых давлений с помощью этих методов по ряду скважин превышает 10%, а предлагаемые методы обеспечивают погрешность в пределах 0,3 ... 2,3%. Это объясняется более адекватным представлением возможной взаимосвязи между режимно-технологическими индикаторами давления и величиной порового давления.

Приведена процедура синтеза прогнозов поровых давлений с помощью сингулярных методов, включающая статистическую оценку не-

противоречивости результатов прогноза и определение эффективных статистических характеристик ($\text{grad} p_n^*$ и $\delta_{\lambda_n}^2$) порового давления. Последние построены из условий минимизации результирующей $\delta_{\lambda_n}^2$ дисперсии или максимума апостериорной плотности распределения вероятности.

Сформулированы методические принципы построения статистической модели принятия решения, основными элементами которой являются: множество допустимых технологических решений $\lambda = \{a_1, \dots, a_n\}$; параметрическое непересекающееся пространство $\theta = \{v_1, \dots, v_m\}$ возможных состояний градиента порового давления; функция потерь $\omega(v_v, a_i) \geq 0$, выражающая потери в денежном или условном виде, причиняемых выбором действия a_i , если v_v - истинное состояние природы.

Множество допустимых альтернатив λ формируется с учетом θ на основании технической, технологической и организационной готовности к вскрытию зоны АВЦД. Например, состояние v_1 определяет возможность разбуривания зоны АВЦД с прежним буровым раствором (a_1), состояние v_2 - с доутяжелением бурового раствора до заданной плотности (a_2) и т.д. При этом границы состояний v_1 и v_2 определяются из условий реализации методов плавного глушения возможного флюидопроявления. Элементами множества альтернатив могут являться и спуск промежуточной колонны, физико-химическая кольтматация соответствующих участков ствола скважины и др.

Для выбора рационального технологического решения a^* использовано правило

$$\min_i \sum_v \pi(v_v) L_v \omega(v_v, a_i) \Rightarrow a^*, \quad (18)$$

где $\pi(v_v) = \begin{cases} 1, & \text{для } v=1; \\ p_\lambda(z_\lambda), & \text{для других состояний;} \end{cases}$

$p_\lambda(z_\lambda)$ - вероятность вскрытия зоны АВЦД на глубине z_λ ; L_v - вероятность v_v состояния градиента порового давления.

Главное достоинство модели (18) состоит в возможности научного обоснования выбора технологического решения в условиях неопределенности исходной информации. Это достигается за счет сужения информационной неопределенности путем синтеза априорной и эмпирической информации, а также статистического анализа матрицы потерь. Для практической реализации описанной модели принятия решения совместно с А.В. Лужаница разработана интерактивная экспертная система, основные функциональные возможности которой сводятся к следующему:

- сбор, обработка, хранение и выдача исходной информации для прогнозирования АВГД с помощью режимно-технологических параметров процесса бурения и плотности шлама;
- выделение переходной зоны;
- построение статистических прогнозов поровых давлений с помощью различных методов (по выбору пользователя);
- составление отчета по результатам прогнозов поровых давлений;
- построение модели принятия решения и выбор рационального технологического решения.

Рассмотрены некоторые технологические задачи при бурении в зонах АВГД: предупреждение флюидопроявлений в процессе подъема колонны труб (регулирование скоростей подъема и контроль уровня жидкости в скважине), оценка поступившего в скважину флюида и расчеты в методах контроля условий в скважине при всплытии газового пузыря.

Пятая глава посвящена совершенствованию технологии ликвидации прихватов колонны труб.

С целью изучения особенностей конвективного и диффузионного массопереноса в зоне прихвата колонны труб из-за перепада давления рассмотрена для двумерной фильтрации жидкости в однородном пористом пласте следующая задача

$$\left\{ \begin{array}{l} V = -\frac{k}{\eta} \text{grad } p, \quad \text{div}(\rho V) = 0, \\ D\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}\right) - V_x \frac{\partial c}{\partial x} - V_y \frac{\partial c}{\partial y} = m \frac{\partial c}{\partial t}, \end{array} \right. \quad (19)$$

где $V(x, y)$ - вектор скорости фильтрации с компонентами V_x и V_y ; k, m - коэффициенты проницаемости и пористости пласта; ρ, η - плотность и вязкость жидкости; $c(x, y, t)$ - концентрация жидкостной ванны в фильтрационном потоке в точке (x, y) в момент времени t ; D - коэффициент конвективной диффузии. Граничные условия: на стенке скважины - $p = p_c, c = c_*(x, y, t)$; на контуре пласта - $p = p_n, c = 0$; на границе контакта прихваченных труб с пластом - $V_n = 0, \partial c / \partial n = 0$ (здесь n - нормаль к поверхности труб) и начальное условие $c|_{t=0} = c_0(x, y)$.

Решение системы дифференциальных уравнений (18) построено в области комплексного потенциала $W(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y)$ (φ, ψ - потенциал скорости и функция тока) следующим образом: сначала с помощью конформного отображения области фильтрации на область комплексного потенциала решена задача фильтрации, построены гидродинамическая сетка и поле скоростей фильтрации, а затем исходная сингулярно возмущенная задача конвективной диффузии решается с помощью асимптотического метода М.И.Вишика - Л.А.Люстерника. В работе уделено внимание двум характерным ситуациям: конвективному массопереносу и конвективной диффузии, когда процессы конвективного переноса преобладают над диффузионными.

По результатам численных расчетов задачи (19) построены эквипотенциали (линии равного давления) и линии тока, а также поле скоростей фильтрации. Изучено влияние смещения колонны труб в стенку скважины на величину гидравлической составляющей силы прижатия. Показано, что с увеличением смещения колонны труб уменьшается

фильтрационный расход, а средняя скорость фильтрации на стенке скважины увеличивается. Характерно увеличение скорости фильтрации на стенке скважины в сторону контакта колонны труб. Это, в частности, объясняет формирование силы прихвата: образование неравномерной фильтрационной корки с увеличивающейся толщиной в сторону контакта колонны труб приводит к уменьшению давления в зоне контакта и увеличению площади контакта. Отмечены также аномалии скорости фильтрации в экранированной колонной труб зоне пласта. Полученные результаты согласуются с экспериментальными исследованиями М.А.Галимова и А.К.Самотоя.

Изучены особенности конвективного и диффузионного массопереноса в зоне контакта колонны труб. Показано, что качественное замещение бурового раствора жидкостной ванной, учитываемое формально граничным условием $\sigma_*(x, y, t)$, существенно влияет на эффективность ее проникновения в зону контакта. Отмечены некоторые условия повышения эффективности действия жидкостной ванны, в том числе и за счет ее диффузионной активности.

С использованием решения соответствующей стационарной задачи гидродинамики получены расчетные формулы для оценки диссипативных членов в дифференциальных уравнениях колебания аварийной колонны труб при срабатывании ударного механизма в скважине, заполненной вязкой, вязкопластичной и аномально-вязкой жидкостью. Показано, что в зависимости от реологической модели среды дифференциальные уравнения колебания имеют вид:

$$\begin{aligned}
 c^2 \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} &= \frac{\partial^2 S}{\partial t^2} + 2h \frac{\partial S}{\partial t} && \text{— модель Ньютона;} \\
 c^2 \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} &= \frac{\partial^2 S}{\partial t^2} + 2h \frac{\partial S}{\partial t} + f_0 \operatorname{sign} \left(\frac{\partial S}{\partial t} \right) && \text{— модель Шведова-Бингама;} \quad (20) \\
 c^2 \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} &= \frac{\partial^2 S}{\partial t^2} + 2h_0 \left| \frac{\partial S}{\partial t} \right|^n \operatorname{sign} \left(\frac{\partial S}{\partial t} \right) && \text{— модель Оствальда,}
 \end{aligned}$$

где $\delta(z, t)$ - перемещение колонны труб; c - скорость распространения упругой волны в колонне труб; h, f_0, h_0 - диссипативные коэффициенты;

$$\text{sign}\left(\frac{\partial \delta}{\partial t}\right) = \begin{cases} 1, & \partial \delta / \partial t > 0; \\ -1, & \partial \delta / \partial t < 0. \end{cases}$$

Экспериментальная проверка полученных решений для оценки диссипативных членов в уравнениях колебания (20) выполнена В.М.Чарковским на стендовой установке, моделирующей работу ударного механизма в различных средах. В результате исследований показано, что максимальная погрешность между экспериментальными и теоретическими кривыми перемещения бойка ударного механизма составляла от 3 до 10% и подтверждена возможность использования уравнений (20) в расчетах динамических характеристик ударных механизмов.

В диссертации описан ряд новых конструкций устройств и технологий ликвидации прихватов с помощью жидкостных ванн, разработанных с участием автора. Это, в частности: устройство для резкого уменьшения гидравлического давления в скважине; устройства для снижения давления на зону прихвата, основанные на использовании эжекторных насосов и позволяющие производить манипуляции с жидкостной ванной; устройства для комбинированного воздействия на зону прихвата (манипуляции с жидкостной ванной, вибрационное и ударное воздействие, снижение давления на зону прихвата) и др. Обоснованы, в том числе и по результатам выполненных теоретических исследований, способы ликвидации прихватов с помощью жидкостных ванн, предназначенных для улучшения конвективного и диффузионного проникновения ванны в зону контакта, а также повышение эффективности ударных воздействий.

С использованием нечетких моделей принятия решений сформулированы в терминах бинарных отношений предпочтения принципы выбора рационального способа ликвидации прихвата в условиях информационной неопределенности. Особенность данной модели состоит в возможности

многокритериальных оценок альтернатив, в том числе и по критериям лингвистического характера, а практическая реализация связана с разработкой экспертных систем. Рассмотрены возможные подходы к построению функций принадлежности нечетких отношений предпочтения.

В заключении обобщены основные научные результаты исследований. Обращено также внимание на необходимость дальнейшего развития полученных результатов: построение гидродинамических моделей трещиноватых поглощающих пластов для нелинейных ВПЖ; разработка экспертных систем для выбора рациональной конструкции скважины и способа ликвидации прихватов в условиях информационной неопределенности; изучение особенностей массопереноса в зоне прихвата колонны труб с учетом неоднородной проницаемости прискважинной зоны и др.

Приведены сведения о практических разработках диссертации и результатах их внедрения в производство. Анализ результатов внедрения показал, что разработки по реодинамике и технологии предупреждения поглощений внедрены в различных горно-геологических и технологических условиях и могут быть рекомендованы для широкого использования в промышленности. Расчетный экономический эффект от их внедрения составил 570,5 тыс.рублей.

Экспертная система для выбора рационального технологического решения при разбуривании зон АВПД передана для апробации в промышленных условиях (Шебелинское УБР треста "Укрбургаз" и Урайское УБР-2 ПО "Урайнефтегаз").

Погружное устройство для резкого снижения гидравлического давления успешно применялось для ликвидации прихватов на скважинах № 642-Шебелинка, № 82 и 39 - Мелиховка. Некоторые технологии ликвидации прихватов с помощью жидкостных ванн подготовлены и переданы к внедрению.

Отдельные результаты работы (рекомендации по выбору расхода бурового раствора и методические принципы выделения рациональных

альтернатив в условиях информационной неопределенности) были успешно использованы для выбора рациональных технико-технологических комплексов отбора керна на площадях ПО "Калининградморнефтегаз" и ПГО "Оренбурггеология".

Ряд результатов диссертации нашел отражение в учебном процессе Ивано-Франковского института нефти и газа при преподавании дисциплин "Гидроаэромеханика в бурении", "Технология бурения глубоких скважин", "Осложнения и аварии в бурении" и "Основы научных исследований" для студентов специальности "Бурение нефтяных и газовых скважин".

В приложениях к работе приведены документы, подтверждающие внедрение результатов диссертации в производство и учебный процесс.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Разработаны научно-методические основы выбора и принятия рациональных технологических решений с целью предупреждения и ликвидации осложнений, представляющие совокупность новых, практически важных задач в реодинамике и технологии бурения глубоких скважин в зонах возможных поглощений и флюидопроявлений, а также при ликвидации прихватов колонн труб, решение которых имеет важное народно-хозяйственное значение.

I. В классе реологически стационарных моделей, допускающих явное аналитическое представление вида $\dot{\gamma} = \dot{\gamma}(\tau)$, разработана методика обработки данных ротационной вискозиметрии, учитывающая информационную содержательность опытов. Для нелинейных вязкопластичных моделей Гершеля-Балкли, Шульмана-Кессона и Шульмана построены быстроходящиеся алгоритмы решения прямых и обратных задач ротационной вискозиметрии.

На основании сравнительного анализа результатов обработки смоделированных данных вискозиметрии для известных реологических

моделей и свойств среды, а также лабораторных данных установлено, что:

- известные методики обработки данных ротационной вискозиметрии (основанные на использовании приближенных выражений для градиента скорости сдвига и Д.А.Голубева) дают для нелинейных вязкопластичных моделей неудовлетворительные результаты с позиций оценки реологических свойств;

- использование в предлагаемой методике строгих решений прямой задачи ротационной вискозиметрии позволяет при обработке данных реометрии (в т.ч. и для нелинейных вязкопластичных моделей) получить оценки реологических свойств с приемлемой для практики точностью (до 5...7%);

- учет информационной содержательности опытов, определяемый видом матрицы ковариации случайной компоненты, в ряде случаев существенно влияет на оценки реологической модели и ее свойств.

2. Построены быстросходящиеся алгоритмы расчета стационарных ламинарных течений неньютоновских жидкостей в круглых и кольцевых трубах (в т.ч. и при перемещении внутренней трубы), позволяющие получить в классе реологически стационарных моделей, допускающих явное аналитическое представление вида $\dot{\gamma} = \dot{\gamma}(\tau)$, решения задач $Q = A^{-1}(\Delta p)$ и $\Delta p = A(Q)$ с требуемой точностью.

С использованием статистического моделирования предложена и для случая промывки скважины реализована методика гидравлических расчетов в бурении в условиях неопределенности исходной информации, предназначенная для выбора и принятия решений в реодинамике технологических процессов бурения.

Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены на бурящихся скважинах принципы расчета максимальных изменений давлений при спуско-подъемных операциях.

3. Предложена и научно обоснована гидродинамическая модель

поглощающих трещиноватых пластов как совокупности трещин различных геометрических форм и размеров:

- получены уравнения, описывающие стационарные течения вязкой и вязкопластичной жидкостей в моделях недеформируемого и упруго-деформируемого пласта;

- показано, что использование факторов переменного сечения и различных геометрических размеров трещин качественно изменяет закономерности течения жидкостей в моделях трещиноватого пласта и теоретически объясняет формы индикаторных линий, встречающихся в практике гидродинамических исследований поглощающих пластов;

- разработана методика обработки стационарных результатов гидродинамических исследований поглощающих пластов, включающая диагностику моделей и определение параметров пласта;

- получены уравнения нестационарного течения несжимаемой вязкой жидкости в моделях недеформируемого однородно-трещиноватого пласта и на примере метода прослеживания уровня жидкости в скважине теоретически изучены нестационарные гидродинамические исследования поглощающих пластов;

- обработкой промышленного материала по результатам гидродинамических исследований 35 поглощающих пластов качественно подтверждена адекватность модели (относительная среднеквадратичная погрешность расчетных и экспериментальных данных составляет I...3%).

На основании полученных научных результатов сформулированы практические рекомендации по применению предложенной гидродинамической модели: оценка приемистости поглощающего пласта при закачке в пласт жидкостей с отличающимися свойствами, диагностика форм и оценка раскрытий трещин, выбор депрессии при испытании трещинных деформируемых коллекторов с учетом проявления эффекта "смыкания" трещин и др.

4. Обоснована стратегия, сформулированы и разработаны науч-

но-методические основы предупреждения поглощений при бурении скважин, включающие:

- методику прогнозирования градиентов давлений возникновения поглощений в условиях неопределенности исходной информации о причинах поглощений и физико-механических свойствах горных пород;
- выбор ограничений на градиент гидравлического давления с целью предупреждения поглощений для различных методов прогнозирования градиентов давлений возникновения поглощений;
- принципы выбора рациональной конструкции скважины с учетом многокритериальных оценок возможных альтернатив в условиях неопределенности исходной информации;
- рекомендации по регулированию реологических свойств с целью предупреждения поглощений;
- методики и программное обеспечение для управления гидродинамической обстановкой в скважине с целью предупреждения поглощений при выполнении основных технологических операций в процессе бурения и крепления скважин.

Предложены новые технические и технологические решения для предупреждения и ликвидации поглощений (муфта для ступенчатого цементирования скважин, устройства для изоляции зон поглощения, рекомендации по выбору реологических свойств и режимов закачки тампонажной смеси в пласт и др.).

5. Сформулированы и разработаны научно-методические принципы выбора и принятия рациональных технологических решений при разбуривании зон АВПД в условиях статистической неопределенности исходной информации, включающие:

- методику выделения переходной зоны по результатам наблюдения изменений индикаторов давлений в реальном масштабе времени;
- методику прогнозирования поровых давлений с помощью статистических зависимостей режимно-технологических индикаторов давления

от дифференциального давления;

- методику построения статистических характеристик прогноза поровых давлений с помощью сингулярных методов;

- синтез статистических прогнозов поровых давлений с помощью сингулярных методов и построение статистической модели принятия решения.

Основные положения апробированы на промышленном материале и составили научно-методическую основу разработанной экспертной системы, предназначенной для выбора рационального технологического решения при разбуривании зон АВПД с помощью ЭВМ.

6. Теоретически изучены особенности конвективного и диффузионного массопереноса в зоне возникшего прихвата из-за перепада давления. Полученные результаты развивают представления о природе формирования силы прихвата колонны труб к стенке скважины и механизме действия жидкостной ванны и согласуются с экспериментальными исследованиями М.А.Галимова и А.К.Самоя.

Получены формулы для оценки диссипативных сил в уравнениях колебательного движения колонны труб при ликвидации прихватов с помощью ударных механизмов, что позволяет более достоверно прогнозировать динамические характеристики ударных механизмов в зависимости от реологической модели и свойств бурового раствора.

Предложен ряд новых технических и технологических решений для ликвидации прихватов колонн труб: устройства для снижения гидравлического давления в скважине, устройства для комбинированного воздействия на зону прихвата, способы ликвидации прихватов с помощью жидкостных ванн и др. С использованием нечетких моделей принятия решений сформулированы принципы выбора рационального способа ликвидации прихвата.

Результаты исследований внедрены при бурении скважин на площадях трестов "Укрбургаз" и "Арктикморнефтегазразведка", ПГО "Ар-

хангельскгеология" и ПО "Укрнефть". Расчетный экономический эффект от внедрения разработок составил 570,5 тыс.рублей (в ценах до 1990г.).

Основное содержание диссертации опубликовано в 87 научных работах, в т.ч.:

1. Гидродинамические давления, возникающие при спуске бурильных колонн /В.Г.Ясов, И.В.Дияк, Н.И.Орынчак и др.//Газовая промышленность. - 1977. - № 12. - С.28-32.

2. Мыслук М.А., Ясов В.Г. Приближенные решения некоторых задач течения вязкопластичных сред в трубах с переменным сечением // Коллоидный журнал. - 1978. - Т.40. - Вып.4. - С.688-693.

3. Регулирование реологических свойств буровых растворов при ликвидации поглощений /В.Г.Ясов, М.А.Мыслук, Н.И.Орынчак и Т.Г.Головатый //Бурение: РНТС. - 1978. - № 8. - С.24-26.

4. Мыслук М.А. Течение вязкопластичной жидкости в клиновидной щели //Проблемы разведки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений в условиях Крайнего Севера и Сибири. Материалы Всесоюзной научно-технической конференции молодых ученых. -М.: МИНХ и ГП, 1979. - С.29-30.

5. Мыслук М.А. О гидродинамической модели поглощающего пласта //Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. - Вып.16. -Львов: Вища школа, 1979. - С.58-60.

6. Ясов В.Г., Мыслук М.А. Исследование трещиноватых пластов методом прослеживания за уровнем жидкости в скважине // Нефтяное хозяйство. - 1979. - № 11. - С.29-32.

7. Мыслук М.А., Ясов В.Г. О течении вязкопластичной среды в круглых трубах с переменным сечением //Коллоидный журнал. - 1980. - Т.42. - Вып.3. - С.575-576.

8. Мыслук М.А., Ясов В.Г. Определение формы и величины раскрытия трещин в поглощающем пласте //Бурение: РНТС. - 1980. -Вып.5. -С.17-19.

9. Ясов В.Г., Мыслюк М.А. Предупреждение поглощений при разбуривании трещиноватых пластов. - М.:ВНИОЭНГ, 1982. - 40 с.
10. Ликвидация прихватов бурильной колонны путем резкого уменьшения гидростатического давления в скважине /Е.Д.Спивак, В.С.Розновец, В.Г.Ясов и М.А.Мыслюк //Бурение:РНТС. - 1982. - Вып.1. - С.9-10.
11. Мыслюк М.А. Об уравнениях нестационарного течения несжимаемой вязкой жидкости в поглощающих трещиноватых пластах //Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. - Вып.19. - Львов: Вища школа, 1982. -С.57-60.
12. Мыслюк М.А., Головатый Т.Г. Определение давления в поглощающем трещиноватом пласте //Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. - Вып.20. - Львов: Вища школа, 1983. -С.62-64.
13. Ясов В.Г., Мыслюк М.А., Головатый Т.Г. Расчет гидравлических сопротивлений при промывке скважины //Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. - Вып.20. - Львов: Вища школа, 1983. - С.64-69.
14. Мыслюк М.А., Ясов В.Г., Яремийчук Р.С. О выборе величины депрессии при испытании трещинных коллекторов в процессе бурения //Известия ВУЗ.Нефть и газ. - 1983. - №7. - С.19-22.
15. Мыслюк М.А. О статистическом подходе при прогнозировании пластовых давлений в процессе бурения скважин //Тезисы докладов IУ Всесоюзной конференции "Применение вероятностно-статистических методов в бурении и нефтедобыче". - Баку, 1984.-С.29-30.
16. Мыслюк М.А., Ясов В.Г. К составлению прогнозов градиентов давлений возникновения поглощений //Нефтяное хозяйство. - 1985. - № 5. - С.39-42.
17. Мыслюк М.А. О методике обработки данных капиллярной вискозиметрии. - Ивано-Франковск, 1986. - II с. - Деп. в УкрНИИПИ 04.01.87. № 7-УК 87.

18. Мысляк М.А. К методике интерпретации данных гидродинамических исследований поглощающих пластов // Изв.ВУЗ. Нефть и газ. - 1986. - № 6. - С.41-44.
19. Ясов В.Г., Мысляк М.А., Назаров В.И. Технология бурения скважин в сложных геологических условиях. - М.:ВНИОЭНГ, 1986.- 36с.
20. Мысляк М.А. Василик Р.В. О предупреждении поглощений при продавке тампонажных растворов в процессе цементирования скважин // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. - Вып.23. - Львов: Вища школа, 1986. - С.47-50.
21. Кобрунов А.И., Мысляк М.А. Об одном алгоритме решения обратной задачи ротационной вискозиметрии. - Ивано-Франковск, 1986. - 9 с. - Деп. в УкрНИИНТИ 04.01.87. № 8 - Ук 87.
22. А.с. 1390341 СССР, МКИ Е 21 В 31/00, 31/03. Способ ликвидации прихвата колонны труб /В.Г.Ясов, М.А.Мысляк, А.В.Аниськовцев, Г.П.Новиков (СССР). - № 4106941 /22-03; заявл. 13.06.86; опубл. 30.03.88. - Бюл. № 12.
23. Мысляк М.А. Применение программируемых микрокалькуляторов для обработки данных ротационной вискозиметрии //ЗИ.Серия "Автоматизация и телемеханизация в нефтяной промышленности". - Вып.2. - М.: ВНИОЭНГ, 1988. - С.16-18.
24. Мысляк М.А. О методике определения реологических свойств дисперсных сред по данным ротационной вискозиметрии //Инженерно-физический журнал.- 1988. - Т.54. - С.975-979.
25. Мысляк М.А. О выборе технологических решений при разбуривании зон с аномально-высокими пластовыми давлениями //Технология бурения глубоких скважин. - Грозный, 1987. - С.143-150.
26. Мысляк М.А. О применении статистических методов для прогнозирования пластовых давлений в прсцессе бурения скважин //Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. - Вып.25. - Львов: Вища школа, 1988. - С.54-57.

27. Мыслук М.А. О некоторых задачах выбора и принятия технологических решений в бурении //Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. - Вып.26. - Львов: Вища школа, 1989.-С.82- 88.

28. А.с. I629477 СССР, МКИ Е 2I В 33/I3. Устройство для изоляции зон поглощения промывочной жидкости / М.А.Мыслук, Т.Г.Головатый, В.Г.Ясов и др. (СССР), - № 4378706/03; Заявл.15.02.88; Оpubл.23.02.91. - Бюл. № 7.

29. А.с. I659623 СССР, МКИ Е 2I В 3I/I07. Устройство для комбинированного воздействия на прихваченную колонну труб / М.А.Мыслук, В.Г.Ясов, В.В.Ткачук, А.В.Крайник (СССР). - № 4680170/03; Заявл.18.04.89; Оpubл.30.06.91. - Бюл. № 24.

30. А.с. I659622 СССР, МКИ Е 2I В 3I/03. Устройство для ликвидации прихватов бурильных труб / М.А.Мыслук, В.Г.Ясов, В.В.Ткачук (СССР). - № 4706711/03; Заявл.19.06.89; Оpubл.30.06.91. - Бюл. № 24.

31. Мыслук М.А. Об алгоритмах расчета некоторых стационарных течений неньютоновских жидкостей //Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. - Вып.27. - Львов: Вища школа, 1990. - С.58-63.

32. Мыслук М.А., Чепишко И.Д. Об одном способе прогнозирования поровых давлений в процессе бурения скважин //Нефтегазовая геология и геофизика: ЗИ ВНИИОЭНГ. - Вып.2. - М., 1990. - С.12-16.

33. А.с. I716083 СССР, МКИ Е 2I В 3I/03, 23/00. Способ ликвидации прихватов колонны труб в скважине / Ю.А.Зарубин, М.А.Мыслук, В.Г.Ясов, В.В.Ткачук (СССР). - № 4665690/03; Заявл.08.02.89; Оpubл.29.02.92. - Бюл. № 8.

34. А.с. I7799740 СССР, МКИ Е 2I В 3I/03. Способ ликвидации прихвата колонны труб / М.А.Мыслук, В.Г.Ясов, В.В.Ткачук, А.Я.Бомба (СССР). - № 4678259/03; Заявл.01.03.89; Оpubл. 07.12.92. - Бюл. № 45.

35. Мыслук М.А., Ткачук В.В., Крайник А.В. О расчете закачки

тампонажного раствора при цементировании скважин // Нефтяная и газовая промышленность. - 1990. - № 3. - С.26-28.

36. Мыслук М.А., Стефурак Р.И. О выборе рационального расхода промывочной жидкости при бурении скважин //Проблемы изучения залежей высоковязких нефтей. - К., 1989. - С.48-58.

37. Мыслук М.А., Чарковский В.М. О расчете динамических характеристик ударных механизмов при ликвидации прихватов колонны труб /Ивано-Франковский институт нефти и газа. - Ивано-Франковск, 1990. - 13 с. - Деп.в УкрНИИТИ II.09.90, № I586 - Ук 90.

38. Бомба А.Я., Мыслук М.А. Об одной задаче фильтрационного течения в зоне прихвата колонны труб /Ивано-Франковск. ин-т нефти и газа. - Ивано-Франковск, 1990. - II с. - Деп.в УкрНИИТИ II.09.90, № I587 - Ук90.

39. Мыслук М.А. О прогнозировании аномально-высоких пластовых давлений в процессе бурения скважины //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - Вып.28. - Львів: Світ, 1991. - С.64-67.

40. Ясов В.Г., Мыслук М.А. Осложнения в бурении. - М.: Недра, 1991. - 334 с.

41. А.с. I745867 СССР, МКИ Е 2I В 23/00, 3I/03. Устройство для ликвидации прихвата труб/М.А.Мыслук, В.В.Ткачук и М.П.Мельник (СССР). - № 4888760/03; Заявл.05.12.90; Оpubл.07.07.92. - Бол.№25.

42. А.с. ... СССР. Способ гидродинамического исследования поглощающего пласта /М.А.Мыслук, В.В.Ткачук, Н.М.Мыслук (СССР). - Положит.реш.по заявке № 4 844 I38/03; Заявл.25.06.90.

43. А.с. ... СССР. Способ гидродинамического исследования поглощающего пласта / М.А.Мыслук, В.В.Ткачук, Н.М.Мыслук (СССР). - Положит.реш. по заявке № 4 880 9I9/03; Заявл.05.II.9I.

44. А.с. ... СССР. Способ изоляции поглощающего пласта в скважине /М.А.Мыслук, В.В.Ткачук, М.П.Мельник, М.Н.Мацалак (СССР). - Положит.реш. по заявке № 4 920 484/03; Заявл.08.02.9I.

45. А.с. ... СССР. Способ ликвидации прихвата бурильного инструмента / В.В.Ткачук, М.А.Мыслюк, В.М.Чарковский и др. (СССР). - Положит.реш.по заявке № 4944718/03; Заявл.05.03.91.

46. А.с. ... СССР. Способ освобождения прихваченной колонны труб /М.А.Мыслюк, В.В.Ткачук, М.П.Мельник, Т.Г.Головатый (СССР). - Положит. реш.по заявке № 4929571/03; Заявл. 19.04.91.

47. Мыслюк М.А., Лужаница А.В. Методы прогнозирования аномально высоких поровых давлений в процессе бурения скважин. - Ивано-Франковск, 1991. - 36 с. - Деп.в УкрНИИТИ № 1488-Ук.91.

48. Бомба А.Я., Мыслюк М.А., Ткачук В.В. Про особливості фільтрації та масопереносу в зоні прихвату колони труб// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - Вип.29. - Львів:Світ,1992. - С.27-32.

49. Мыслюк М.А., Мельник М.П., Лужаница О.В. Розрахунок гідродинамічних тисків при спуско-підіймальних операціях колони труб у свердловині //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - Вип.29. - Львів: Світ, 1992. - С.59-65.

Соискатель

М.А. Мыслюк

Мыслюк М.А.

Зам. 145, тир. 100

Підписано до друку 12.03.1993, формат паперу 60x84 1/16, с.б.-1, Од. арк.

Відділ оперативної поліграфії ОУС, м. Ів.-Франківськ, вул. Пашівська 1, 6

17000

AB 26.986

AB 26.986