

На правах рукописи

Мохамед Абасс Абдо Алкхадафи

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ГАЗОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

Специальность 25.00.17 – "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений"

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа 2001

Работа выполнена на кафедре разработки и эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений Уфимского государственного нефтяного технического университета

Научный руководитель :

доктор технических наук, профессор

Пономарев А.И.

Официальные оппоненты :

доктор геолого-минералогических наук,
профессор

Токарев М.А.

кандидат технических наук

Дьячук А.И.

Ведущее предприятие: ОАО Уфимский филиал "ЮганскНИПИнефть"

Защита состоится 25 декабря 2001г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов,1.

С диссертацией можно ознакомиться в технической библиотеке УГНТУ.

Автореферат разослан 19 ноября 2001г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Матвеев Ю.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена анализу и усовершенствованию методики газогидродинамических исследований (ГДИ) горизонтальных газовых скважин (ГГС) на неустановившихся и квазистационарных режимах фильтрации. Работа выполнена на основе аналитических и численных исследований процессов перераспределения давления при притоке газа к ГГС в однородных и однородно-анизотропных пластах.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. В последнее время на месторождениях нефти и газа России и за рубежом наблюдается значительное увеличение численности фонда горизонтальных скважин (ГС). Применение ГС в слабопроницаемых и низкодебитных коллекторах позволяет увеличить дебиты в 5-10 раз. Однако из-за имеющихся существенных отличий притока пластовых флюидов к ГС в сравнении с притоком к вертикальным скважинам возникает необходимость в развитии теоретических основ ГДИ, техники и технологии, методов обработки и интерпретации результатов исследований скважин такого типа.

В общем комплексе проблем разработки залежи горизонтальными скважинами актуальной и малоразработанной проблемой является разработка гидродинамических методов исследований ГГС по кривым падения-восстановления давления (КПД-КВД). Анализ имеющихся работ в области процессов фильтрации флюидов к ГС показывает, что количество публикаций, посвященных исследованию ГГС на неустановившихся режимах фильтрации, недостаточно. В связи с этим актуальной научно-технической задачей является анализ и совершенствование методов исследования ГГС.

В скважинах, вскрывших пласты с низкими коллекторскими свойствами, процесс перераспределения давления при их пуске и остановке происходит медленно и может составлять месяцы. Исследование таких скважин на стационарных и нестационарных режимах фильтрации по стандартным технологиям становится нецелесообразным и приводит к значительным потерям добычи газа или его сжиганию при выпуске в атмосферу. При этом для испытания ГГС особенно в низкопроницаемых коллекторах актуальной задачей является усовер-

шенствование методики ГДИ ГГС, позволяющей существенно сократить продолжительность исследования ГГС без сколь-нибудь существенной для практики потери точности определения параметров пласта и скважин.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ заключается в усовершенствовании методики обработки и интерпретации результатов ГДИ ГГС на квазистационарных режимах для сокращения продолжительности исследования ГГС.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Теоретический анализ и обоснование использования приближенных полуаналитических решений задач фильтрации реального газа для простейших геометрий потоков (линейный поток (ЛП), билинейный поток (БЛП), радиальный поток (РП)) в гидродинамических исследованиях ГГС.

2. Усовершенствование методики анализа и интерпретации результатов ГДИ ГГС на неустановившихся режимах фильтрации.

3. Разработка методов исследования ГГС на квазистационарных режимах фильтрации. Оценка продолжительности исследования скважины на квазистационарном режиме, необходимой для определения параметров пласта с заданной точностью.

4. Разработка рекомендаций по применению глубинных измерительных и технических средств для проведения ГДИ ГГС. Разработка методов практического использования результатов интерпретации данных ГДИ ГГС.

5. Разработка методики интерпретации результатов исследования вертикальной газовой скважины на нестационарных режимах при пуске с постоянным забойным давлением.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

1. Получено аналитическое решение нестационарной задачи о сферическом притоке (СП) газа при пуске скважины с постоянным давлением с использованием производной давления. Разработаны типичные кривые давления и его производной.

2. Разработан подход к исследованию ГГС на квазистационарных режимах фильтрации для определения параметров пласта с заданной точностью с целью сокращения продолжительности исследования.

3. Предложен графоаналитический способ оценки времени выдержки ГГС на квазистационарном режиме в зависимости от параметра Фурье при заданной точности оценки параметров пласта и скважины.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. При решении задач в работе применялись аналитические и численные методы решения задач фильтрации газа, методы моделирования процесса падения-восстановления давления с использованием компьютерной техники, методы промысловых исследований ГГС.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ диссертационной работы заключается в разработке методов усовершенствования ГДИ ГГС на нестационарных режимах фильтрации, которые позволяют повысить точность определения параметров пласта, методов исследования ГГС на квазистационарных режимах фильтрации для определения параметров пласта с заданной степенью точности. Применение этих методов позволяет сократить время исследования ГГС в низкопроницаемых коллекторах.

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Предложенный метод обработки и интерпретации результатов исследования ГС на нестационарных режимах фильтрации рекомендован к использованию в методическом руководстве по проведению гидродинамических исследований ГС в БашНИПИнефть.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные результаты работы докладывались на 49-52-й научно-технических конференциях молодых специалистов по направлению "Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений" (УГНТУ, Уфа, 1999-2001гг.); на международной научной конференции "Методы кибернетики химико-технических процессов КХТП-V-99" (УГНТУ, Уфа, 1999г.); на III конгрессе нефтегазопромышленников России, секция «Проблемы нефти и газа» (Уфа, 2001г.); на межотраслевой научно-практической конференции "Проблемы совершенствования дополнительного профессиональ-

ного и социогуманитарного образования специалистов топливно-энергетического комплекса" (УГНТУ, Уфа, 2001г.) и на научно-методическом семинаре кафедры "Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений" (УГНТУ, Уфа, 2000г.).

ПУБЛИКАЦИИ. Содержание работы изложено в 15 печатных работах, в том числе в 9 статьях, 6 тезисах докладов. Восемь из них без соавторства.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, изложена на 152 страницах машинописного текста, включая 76 рисунков, 13 таблиц и список литературы из 144 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, определены общие задачи, поставлены цели и задачи исследования, представлена научная новизна и практическая значимость.

В первой главе приведены теоретические основы ГДИ ГГС на нестационарных режимах фильтрации. Проведен краткий обзор и анализ работ, посвященных вопросам линеаризации дифференциального уравнения нестационарной фильтрации газа. Способам линеаризации и их анализу в приложении ГДИ газовых скважин посвящен ряд работ отечественных и зарубежных исследователей : Г.И. Баренблатта, К.С. Басниева, С.Н. Бузинова, С.Н. Закирова, Г.А. Зотова, Ю.П. Коротаева, Б.Б. Лапука, Л.С. Лейбензона, Е.М. Минского, В.Н. Николаевского, Д.Д. Соколова, С.М. Тверковкина, И.Д. Умрихина, А.Л. Хейна, Г.П. Цибульского, И.А. Чарного, Э.Б. Чекалюка, В.Н. Щелкачева, а также Agarwal, Al-Hussainy, Aziz, Crawford, Kale, Lee, Ramey и других. В результате проведенного анализа методов линеаризации установлено, что путем линеаризации дифференциальных уравнений нестационарной фильтрации газа, заменой переменного коэффициента пьезопроводности постоянным коэффициентом можно свести решения задачи КПД-КВД ГГС к решениям задач линейной теории упругой жидкости. На примере иллюстрированы основные шаги линеаризации нелинейного уравнения.

Установлено, что обработка и интерпретация результатов исследования ГГС производится аналогично схемам, что и для горизонтальной нефтяной скважины. Рассмотрены различные способы линеаризации дифференциального уравнения, получены аналитические решения для исследования ГГС в различных терминах.

Для линеаризации нелинейного дифференциального уравнения в диссертационной работе предлагается использовать псевдодавление. Анализ зарубежных работ по различным способам линеаризации свидетельствует об эффективности применения функции псевдодавления для линеаризации нелинейного дифференциального уравнения. В диссертационной работе обоснована эффективность применения этого способа для линеаризации нелинейного уравнения. Для этого предлагается подход, который заключается в построении КПД в различных терминах (p, p^2, Ψ), результаты сравниваются с результатами численного решения.

Показано, что применение псевдодавления для линеаризации дифференциального уравнения фильтрации газа позволяет получить формулы неустановившихся процессов изотермической фильтрации реального газа к ГГС для различных моделей (ЛП, БЛП, РП и т.д.) путем преобразования формул нестационарной фильтрации к горизонтальным нефтяным скважинам. Мы получили возможности применения методов анализа и интерпретации, которые известны для горизонтальных нефтяных скважин (логарифмических производных давления, диагностических и характеристических графиков и т.д.) для анализа результатов исследований ГГС. Важно отметить, что для перевода давления в псевдодавление имеются различные способы, отличающиеся между собой величиной нижнего предела интегрирования. Нами предложено и обосновано при расчете функции псевдодавления использовать в качестве нижнего предела интегрирования начальное забойное давление.

Достоверность этого метода подтверждается сравнением с результатами численного интегрирования (рис.1). Расчет $\Psi(p)$ представляется достаточно

сложным, однако благодаря применению ЭВМ и наличию различных корреляционных зависимостей для вязкости и сжимаемости газа, расчет упрощается. Нами разработана программа WELL-TEST для выполнения этих расчетов.

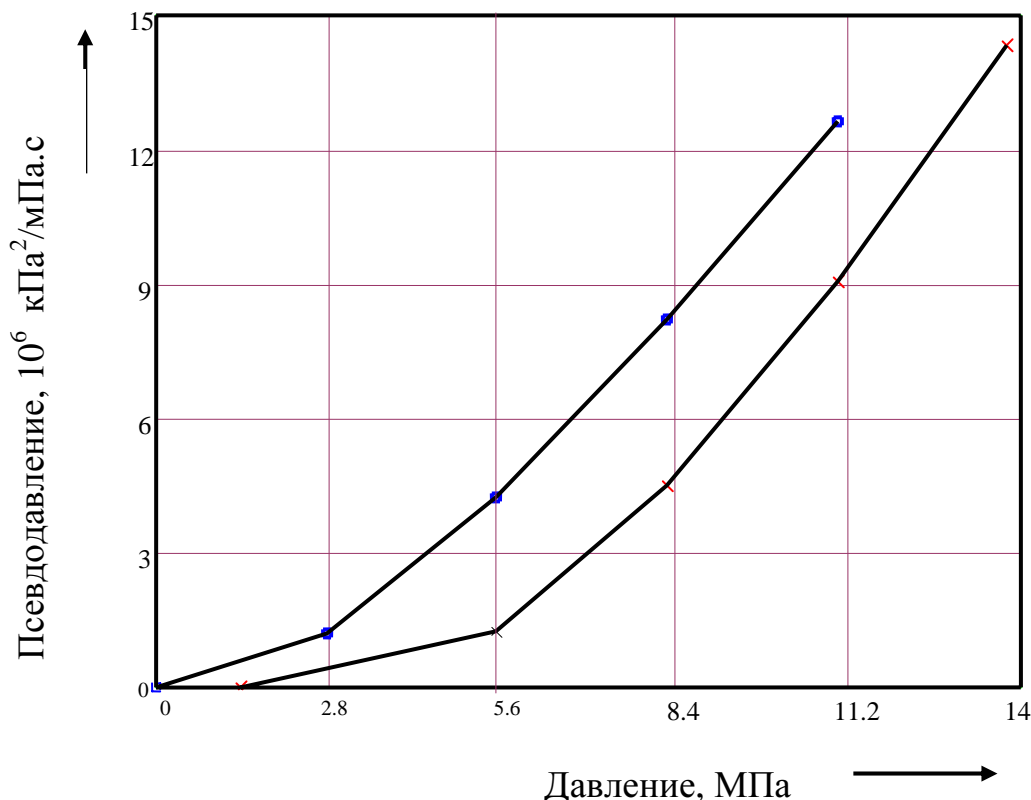


Рис.1. График зависимости давления от псевдодавления:
- численное интегрирование; $\times\times\times$ -предложенный подход

Вторая глава посвящена методам обработки и интерпретации ГГС на нестационарных режимах фильтрации. В настоящее время результаты исследования ГС на нестационарных режимах фильтрации обрабатываются стандартными методами, предназначенными для ВС. Поэтому в работе предлагаются методы обработки и интерпретации ГГС на нестационарных режимах фильтрации. Проведен краткий обзор и анализ отечественных и зарубежных работ по ГДИ ГС на нестационарных режимах, сформулированы конкретные задачи диссертационной работы. Известно, что основным концепциям притока к ГГС посвящены работы следующих авторов : З.С. Алиев, В.В. Шермет, Ю.П. Борисов, В.П. Пилатовский, В.П. Табаков, С.Н. Бузинов, М.А. Гуссейнзаде, З.С. Закиров, В.А. Черных и др.

Рассмотрены особенности нестационарного притока газа к ГГС. Главная особенность притока газа к ГГС заключается в проявлении режимов притока газа к горизонтальному стволу, характеризующихся различной геометрией потока. Поэтому обработка результатов ГДИ ГГС производится с учетом этих особенностей.

В работе предлагается процедура обработки результатов ГДИ ГГС на нестационарных режимах фильтрации. Практическая применимость предлагаемой процедуры проиллюстрирована на примере ГГС 3тг, пробуренной на восточном участке первого эксплуатационного объекта Оренбургского ГКМ. График изменения давления во времени представлен на рис.2. Обработка КПД-КВД произведена по предлагаемой процедуре, определены параметры пласта (табл.1).

Представляет теоретический и практический интерес исследование и анализ основных простейших фильтрационных потоков к ГГС, а также исследование характерных диагностических признаков и использование характеристических графиков. На основании полученных зависимостей произведен анализ различных потоков к ГГС, установлены характерные признаки и способы их диагностики. Этот анализ в отечественной теории и практике, насколько нам известно, представляется впервые.

Таблица 1

Результаты анализа ГДИ горизонтальной газовой скважины 3тг
ОГКМ

Параметры	Значения
Проницаемость пласта : вертикальная, м ² горизонтальная, м ²	1,85·10 ⁻¹⁵ 2,56·10 ⁻¹⁵
Скин-фактор	-2,72
kh, м ³	91,2·10 ⁻¹⁵
kL, м ³	156,1·10 ⁻¹⁵
Пластовое давление, МПа	16,468

Выявлено, что неустановившиеся процессы перераспределения давления в ГГС могут быть представлены как комбинация фильтрационных простейших режимов (влияние притока в скважину, РП, ЛП, БЛП и т.д.), где показаны признаки

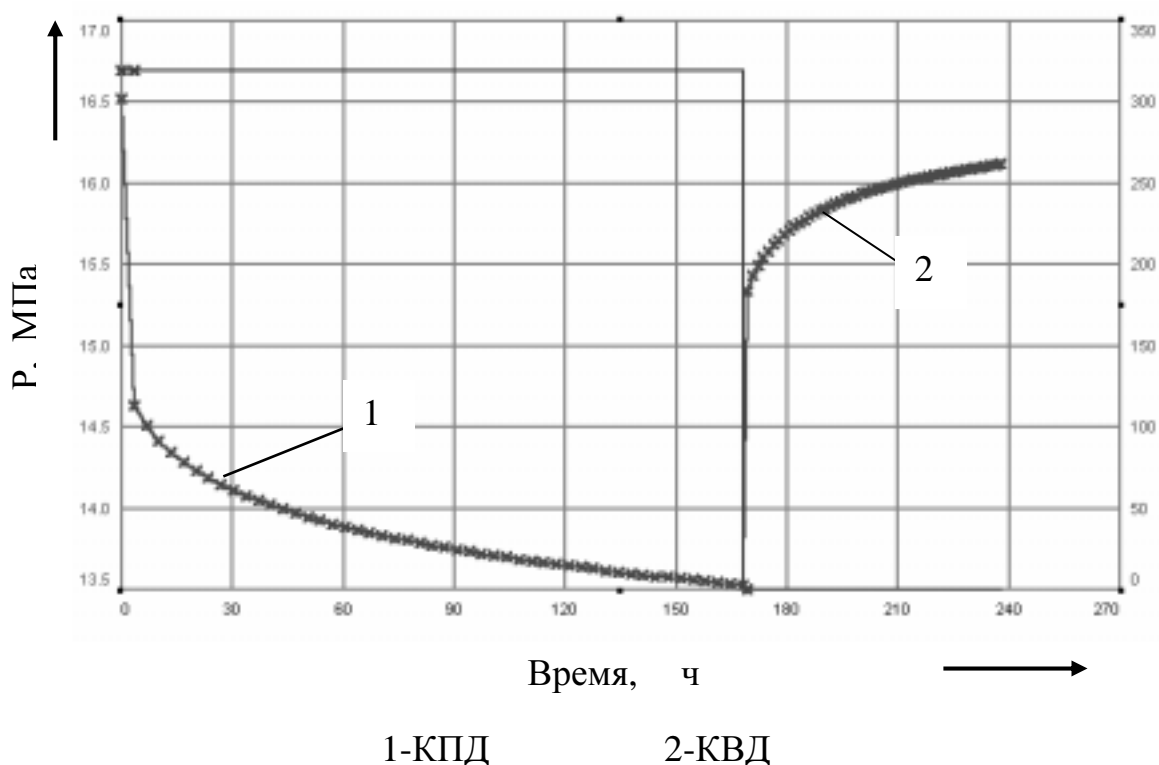


Рис.2. Кривая изменения давления горизонтальной газовой скважины
3тг Оренбургского ГКМ

и особенности характеристических графиков. На билогарифмических диагностических графиках в координатах давления и его производной во времени все графики одномерных потоков представляются характерными прямыми с соответствующими уклонами. Характеристические графики для различных режимов течений и аналитические формулы приведены в табл.2. Для простейших фильтрационных потоков строятся характеристические графики в соответствующих координатах $[\lg t, \Delta \Psi_c(t)]$ для РП; $[\sqrt{t}, \Delta \Psi_c(t)]$ для ЛП; $[\sqrt[4]{t}, \Delta \Psi_c(t)]$ для БЛП. На этих характеристических графиках выделяются прямолинейные участки, начиная с момента времени начала и окончания их проявления. Выполненный автором анализ фильтрационных потоков позволил предложить методику

Таблица 2

Характеристические графики различных режимов неустановившихся течений к ГГС

Поток	Аналитическая формула	Диагностический признак на графике производной	Характерный график	Уклон прямолинейного участка
Линейный поток	$\Delta\Psi = \frac{0,082 QT}{Lh} (S_c + S) \times$ $\times \left[\sqrt{\frac{t}{m\mu_n\beta_n r_c^2}} + \frac{17,3h}{\sqrt{k_r k_e}} \right]$	уклон = 0,5	$\Delta\Psi - \sqrt{t}$	$i = \frac{0,082QT}{Lh\sqrt{m\mu_n\beta_n k_r}}$
Радиальный поток	$\Delta\Psi = \Psi_n - \Psi_c(t) = \frac{1,62QT}{\sqrt{k_r k_e} L} \times$ $\times \left[\log \frac{\sqrt{k_r k_e} t}{m\mu_n\beta_n r_c^2} - 3,22 + 0,8S \right]$	уклон = 0	$\Delta\Psi - \ln t$	$i = \frac{1,62QT}{\sqrt{k_r k_e} L}$
Билинейный поток	$\Delta\Psi = \frac{2,45Q\mu B}{2\pi h (k_r m\mu\beta)^{\frac{1}{4}} (k_r L)^{\frac{1}{2}}} \cdot \sqrt[4]{t}$	уклон = 0,25	$\Delta\Psi - \sqrt[4]{t}$	$i = \frac{2,45Q\mu B}{2\pi h (k_r m\mu\beta)^{\frac{1}{4}} (k_r L)^{\frac{1}{2}}}$

μ_n – вязкость при начальных условиях, мПа.с;

Ψ_n – псевдадавление, соответствующее начальному давлению, МПа²/мПа.с;

Ψ_c – псевдадавление, соответствующее забойному давлению, МПа²/мПа.с;

β_n – сжимаемость при начальных условиях, МПа⁻¹;

T – температура, С;

k_r, k_e – горизонтальная и вертикальная проницаемости соответственно, м²;

r_c – радиус скважины, м;

Z – коэффициент сверхсжимаемости газа;

S – скин-фактор;

L – длина горизонтального ствола скважины, м.

анализа и интерпретации результатов ГДИ ГГС по КПД-КВД для определения параметров пласта.

Проведен анализ характеристик кривых изменения давления для СП с использованием характеристических графиков, диагностических логарифмических графиков псевдодавления и производной. Поставлена задача о СП при пуске газовой скважины с постоянным давлением. Поставленная задача имеет большое значение для месторождений природного газа с большим этажом газонасыщенности, такие условия могут иметь место на Шебелинском, Карачаганском и других месторождениях.

Получено решение указанной задачи в виде аналитической формулы, описывающей перераспределение давления при режиме постоянного давления на стенке скважины, которое имеет следующий вид :

$$\Psi_{\delta} = \Psi_{c\delta} \cdot \operatorname{erfc} \left[\frac{r_{\delta} + 1}{2\sqrt{t_{\delta}}} \right], \quad (1)$$

где Ψ_{δ} – псевдодавление, соответствующее безразмерному давлению;

$\Psi_{c\delta}$ – псевдодавление, соответствующее безразмерному забойному давлению;

erfc – дополнительная функция ошибок.

Это решение в практике ГДИ газовой скважины представляется впервые. Одним из главных достижений в области анализа результатов ГДИ скважин является применение типичных кривых, которые представляют собой безразмерные логарифмические графики изменения давления для различных фильтрационных потоков. Определение параметров пласта по эталонным графикам осуществляется с помощью процедуры совмещения. Процедура совмещения заключается в построении фактических данных в тех же координатах, что и типовой кривой. На рис.3 показаны разработанные нами типовые кривые изменения давления и производной для СП в случае пуска скважины с постоянным забойным давлением. Эти кривые построены в результате теоретического решения дифференциального уравнения.

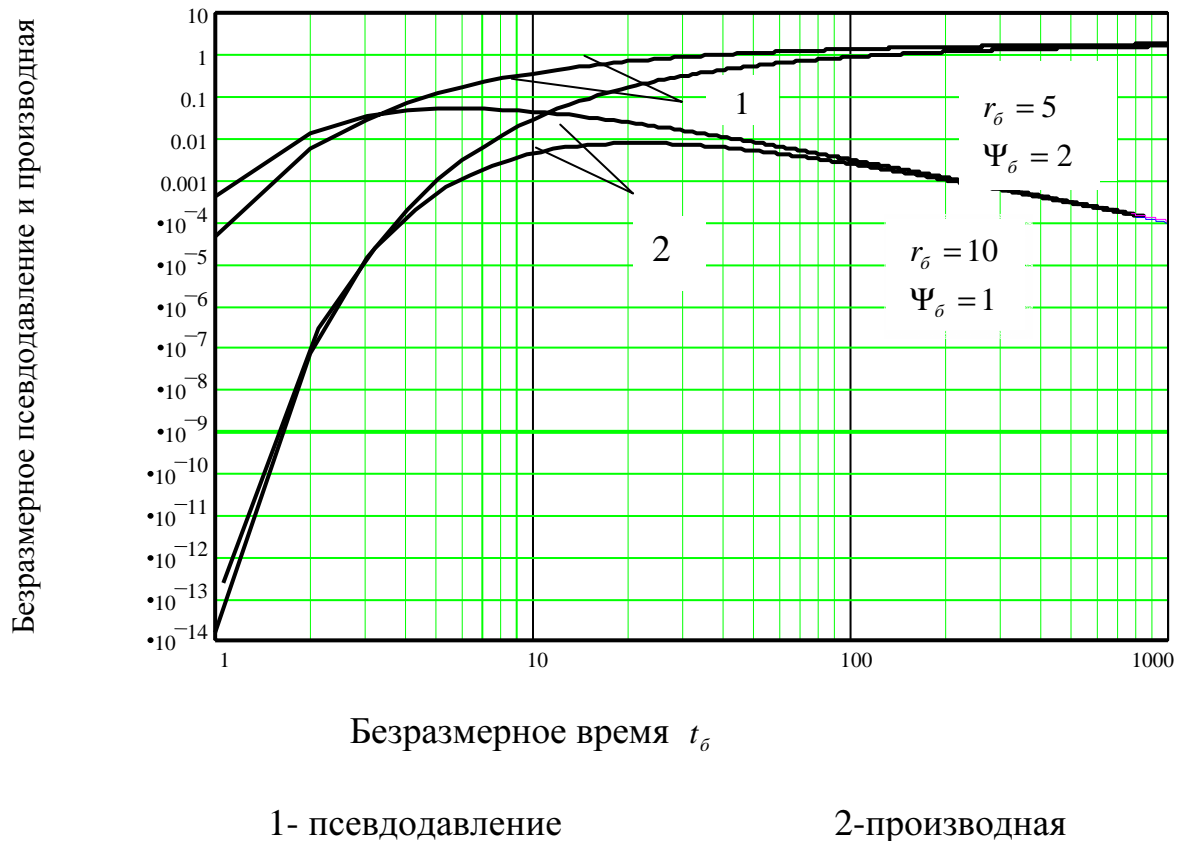


Рис. 3. Билогарифмический типовой график давления и его производной для сферического потока (постоянное забойное давление)

В диссертационной работе предложен один из методов усовершенствования ГДИ горизонтальной газовой скважины с помощью производной давления. По методу производной давления различные участки кривой билогарифмических графиков производной давления могут иметь характерные признаки, отражающие различные типы фильтрационных потоков в пласте. По кривой производной диагностического графика КВД, по величине уклонов прямолинейных участков идентифицированы типы потоков, т.е. расчленена сложная кривая производной давления на более простые составляющие, по которым, в свою очередь, определены параметры пласта.

Использование данного метода проводилось на примере промысловых исследований скважины 21 Серебрянского газового месторождения (I объект). Интерпретация данных произведена по двум вариантам. В первом варианте был использован лишь диагностический билогарифмический график псевдодавления

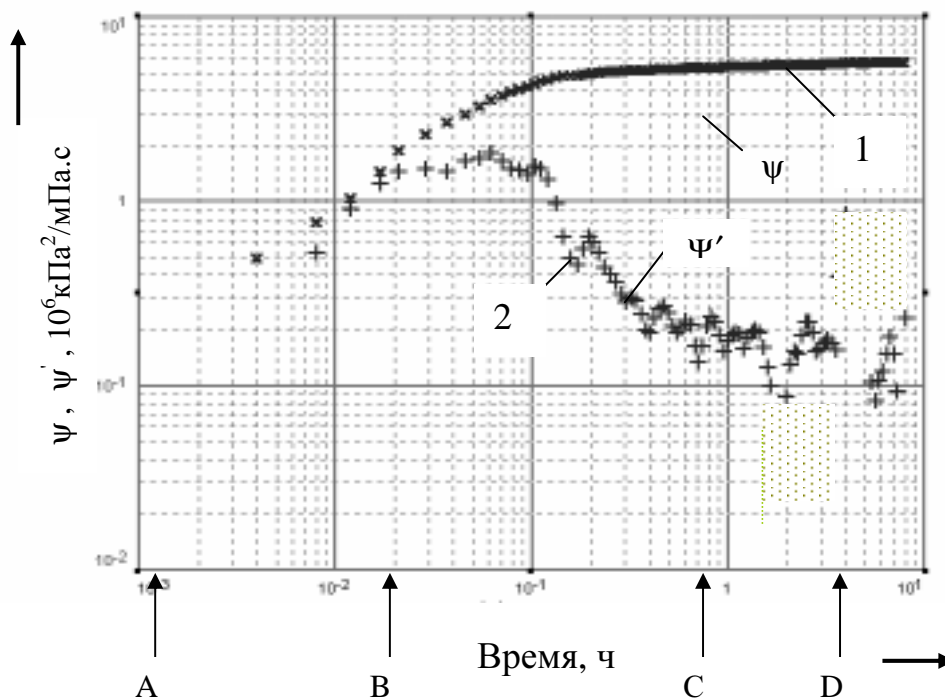
ния. Определение параметров (табл.3) производилось традиционным методом с использованием полулогарифмических графиков в координатах Хорнера.

Таблица 3

Результаты расчетов исследования скв 21 методом КВД по вариантам

Показатели	Вариант	
	I	II
Коэффициент подвижности, $\text{мкм}^2/\text{мПа}\cdot\text{с}$	2,46	3,1
Коэффициент проницаемости, мкм^2	0,032	0,040
kh , $\text{мкм}^2\cdot\text{см}$	15,36	19,2
Коэффициент гидропроводности, $\text{мкм}^2\cdot\text{см}/\text{мПа}\cdot\text{с}$	1181,5	1476,9
Скин-фактор	13,656	16,329
Пластовое давление, МПа	11,254	11,263

Во втором варианте был использован диагностический билогарифмический график производной (рис.4). На этом графике идентифицированы простейшие фильтрационные потоки (влияние притока в скважину(AB), РП (CD)). Таким образом точно определяется диапазон появления радиального потока, затем определяются параметры (табл.3).



1- псевдодавление

2-производная

Рис. 4. Диагностический график псевдодавления и производной скважины 21 Серебрянского газового месторождения

Следовательно, анализ и интерпретация данных ГДИ с использованием производной давления позволяет оценить большее число параметров пласта. Поэтому с использованием этого метода производится более качественная интерпретация. Применение этого метода показано на примере исследования скважины 3тг ОГКМ.

В третьей главе рассматриваются вопросы применяемой техники при проведении ГДИ ГГС. На основе анализа неустановившихся процессов перераспределения давления в ГС при линейном упругом режиме и на основе промысловых исследований ГС, а также обобщения отечественного и зарубежного опыта ГДИ автором дана рекомендация по применению измерительных и технических средств для ГДИ ГГС.

Совершенствование ГДИ ГГС связано с созданием соответствующих приборов и аппаратуры, обеспечивающих проведение всего комплекса исследований и получение исходных данных с достаточной степенью точности. Роль современных приборов в совершенствовании ГДИ газовых скважин показана на примере промысловых исследований газовой скважины. Показано, что качество соответствующих логарифмических диагностических графиков, используемых для последующего анализа и оценки параметров пласта, существенно зависит от наличия посторонних шумов и помех. Диагностический график производной псевдодавления газовой скважины 412 Курганного газового месторождения, снятый с помощью механического манометра, показал очень зашумленную кривую производной псевдодавления (по сравнению с графиком на рис.4), полученным с помощью электронного прибора), по которому, к сожалению, не удастся идентифицировать типы фильтрационных потоков.

Результаты ГДИ предлагается использовать для обоснования методов интенсификации притока газа. По результатам ГДИ оценивается состояние скважины и пласта, точно определяются параметры, регулирующие продуктивность скважин (проницаемость и скин-фактор). Нами рекомендовано применить кривые производной давления как для диагностики, так и для обоснования методов обработки ПЗП. Согласно этому методу, билогарифмический график

поведения давления разбивается на несколько режимов, каждый из которых отражает все более отдаленные зоны пласта. Первый режим отражает поведение флюидов в стволе скважины, при этом кривые давления и производной накладываются и возрастают вдоль прямой с единичным наклоном. По мере стабилизации флюидов в стволе скважины давление продолжает нарастать, но уже более медленными темпами. Кривая производной уходит вниз и практически становится горизонтальной по мере продвижения переходного процесса от ствола скважины и достижения условий радиального притока.

При обосновании методов воздействия на пласт с помощью ГДИ актуальным является правильный выбор подходящего метода анализа результатов ГДИ. Использование только стандартных методов может привести к неправильной оценке параметров, характеризующих ПЗП.

На некоторых газовых месторождениях для определения пластового давления скважины должны простаивать длительное время, исчисляемое месяцами. Вместе с тем остановка скважины на несколько месяцев для определения продуктивной характеристики по технологическим и экономическим причинам оказывается невозможной. В таких случаях необходимо правильно выбрать методы обработки результатов исследования газовых скважин с целью обоснования необходимости воздействия на ПЗП, не останавливая скважины длительное время.

Методы исследования по стандартной методике практически не выполнимы в низкопроницаемых пластах. Формирование асимптотической прямой линии займет длительный период времени. Перед проектированием способов обработки ПЗП ГС или перед оценкой их эффективности необходимо проводить ГДИ скважин.

Предложен подход комплексного изучения состояния скважины, ПЗП и удаленных зон пласта при помощи исследования на установившихся и неустановившихся режимах фильтрации. На промысловом примере показано применение этого подхода.

В четвертой главе представлены методы сокращения времени исследования ГГС. При исследовании ГГС в низкопроницаемых пластах остро встает вопрос разработки методов сокращения времени исследования и использования более эффективных и экономически выгодных методов испытаний.

Для оценки продуктивных характеристик нами предлагается проводить исследование ГГС на квазистационарных режимах фильтрации. Был выполнен анализ работ по исследованию ГГС на нестационарных режимах фильтрации. Проведенный анализ существующих моделей ГГС показывает, что наиболее распространенной практичной является модель нестационарной фильтрации ГС, вскрывшей полосообразный пласт с закрытыми границами, которая позволяет выяснить периоды притока. Для этих моделей проанализированы приближенные аналитические формулы неустановившейся фильтрации к ГС при различных граничных условиях. Исследованы асимптотические зависимости поздних фильтрационных потоков при больших значениях времени. Подобный анализ, насколько нам известно, в отечественных публикациях представляется впервые. Исследовано наступление квазистационарного состояния в ГГС при больших значениях времени. Установлено, что параметры, характеризующие приток газа в условиях исследуемых неустановившихся фильтрационных потоков при поздних временах, асимптотически приближаются к соответствующим величинам, характерным для условий установившегося потока. Приведены понятия квазистационарного состояния, установлены основные признаки его наступления. Нами предложен способ оценки времени наступления квазистационарного состояния для модели бесконечного пласта.

В работе предложен подход к оценке времени наступления квазистационарного состояния для полосообразного пласта. Считается, что время окончания позднего потока является временем окончания неустановившегося состояния. После этого момента времени наступает квазистационарное состояние, которое представляет собой переходное между стационарным и нестационарным состоянием. Поэтому предлагается использовать это время для оценки момента

наступления квазистационарного режима. На рис.5 показаны КПД ГС, на которых определяется время перехода на квазистационарное состояние.

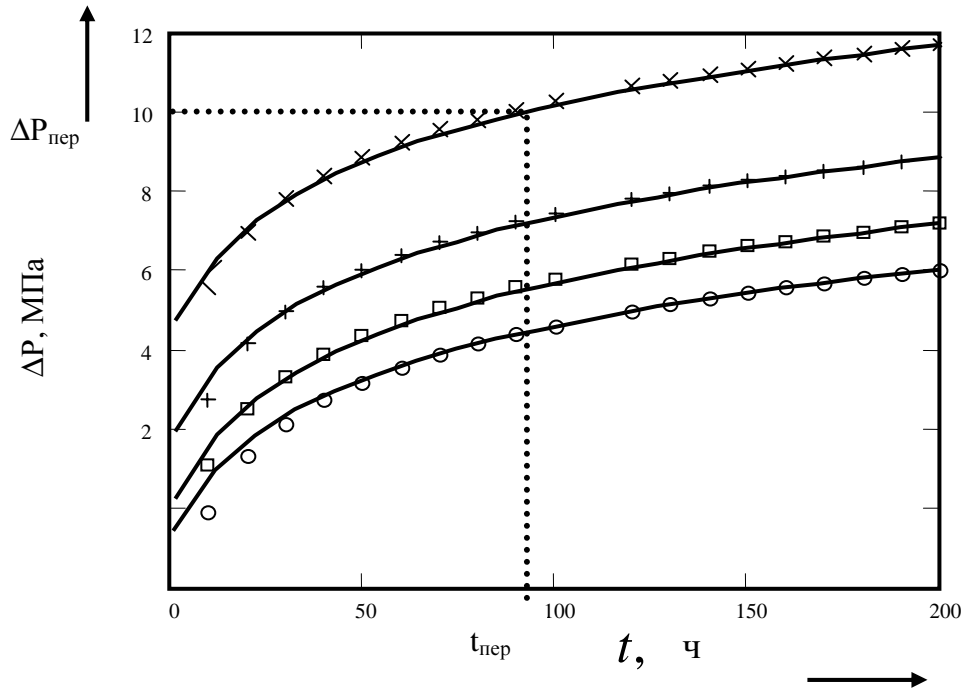


Рис.5. Кривые падения давления ГС различной длины РП в условиях полосообразного пласта

+++ - 500м; xxx - 1000м; - 1500м; ooo - 2000м

Для универсальности кривые строятся в безразмерной форме. Использование этих универсальных кривых позволило получить выражение для определения времени перехода на квазистационарное состояние для конкретных условий. Построены кривые падения давления в безразмерной форме для условий Оренбургского ГКМ: с толщиной пласта в диапазоне 2-36 м, с горизонтальной проницаемостью $0,5-30 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$, с вязкостью газа 15 мПа.с, с длиной горизонтального ствола 100-1000 м, с пористостью 0,09-0,3.

На рис.6 представлена универсальная кривая изменения давления в безразмерной форме. На этой кривой показано время наступления квазистационарного состояния. Время перехода на квазистационарное состояние для конкретных условий предлагается оценить по формуле

$$t_{nep} = \frac{\tau \cdot m \cdot \mu \cdot \beta \cdot L^2}{k_r}, \quad (2)$$

где τ - параметр Фурье (определяется из универсальной кривой).

Рассмотрены основные особенности исследования ГГС на нестационарных режимах фильтрации при больших значениях времени. Предложены способы оценки поздних фильтрационных потоков при переходе на квазистационарное состояние для различных типов пласта. Показано, что для бесконечного пласта заключительным потоком является только радиальный. В случае полу-бесконечного пласта в позднее время заключительным потоком является линейный.

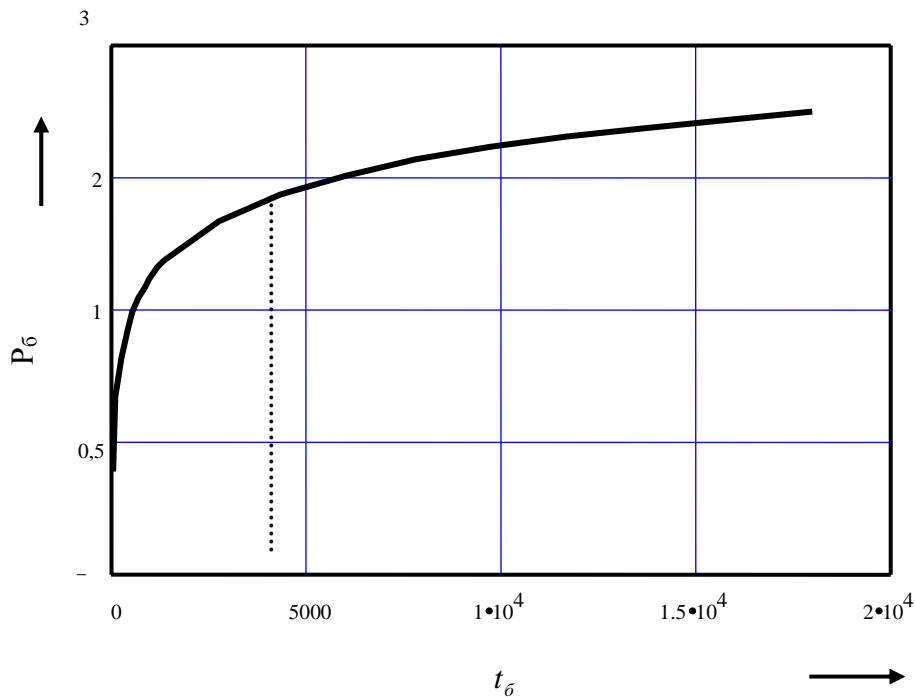


Рис.6. Универсальная кривая безразмерного давления для позднего потока к ГС в условиях ОГКМ

В работе исследовалось влияние геолого-физических и геометрических характеристик факторов ГГС на длительность перехода на квазистационарный режим. Также оценена степень расхождения продуктивных характеристик от стационарного значения. Работа выполнена для однородного и неоднородного пластов.

Для обработки результатов ГДИ ГГС с длительной стабилизацией забойного давления могут быть использованы различные методы, ускоряющие процесс их исследования. Нами разработан подход к оценке параметров пласта при исследовании на квазистационарных режимах фильтрации с заданной степенью точности, достаточной для практических целей. При этом под квазистационарным состоянием будем понимать такое состояние, когда текущее изменение давления отличается от стационарного значения на заданной точности.

Кривые падения давления построены на основе моделирования результатов исследования ГГС с исходными данными и параметрами пласта и скважины при различных граничных условиях. Моделирование выполнено с помощью компьютерной программы «Анализ результатов исследования скважин». Эта программа позволяет моделировать процессы падения-восстановления давления ГГС для любых периодов времени.

Данный подход апробирован на примере исследования ГГС, вскрывшей полосообразный однородный пласт. Этот подход в условиях низкопроницаемых пластов, в которых периоды стабилизации давления длятся долго, позволяет сократить время их исследования.

Практическая реализация методики оценки параметров пласта показана на примере скважины 3тг ОГКМ. Скважина работала с постоянным дебитом в течение 7 сут, затем была остановлена для восстановления давления. Время выхода на квазистационарный режим составило 36 часов. Несмотря на длительную выдержку скважины на режиме, установившееся состояние можно достичь лишь при больших значениях времени (после 700 часов). Поэтому скважину предлагается исследовать, например, 40 часов, при этом можно определить параметры пласта с точностью 1%, не дожидаясь момента стабилизации давления. Таким образом можно сократить время исследования.

Представляет необходимость разработка способов оценки времени выдержки ГГС на квазистационарных режимах для использования в практических целях.

Для оценки времени выдержки на квазистационарном режиме нами разработан графоаналитический способ. На рис.7 представлен график зависимости погрешности определения параметров от параметра Фурье ГГС различной длины. По графику определяется параметр Фурье, исходя из требуемой погрешности определения параметров пласта и в зависимости от длины горизонтального ствола.

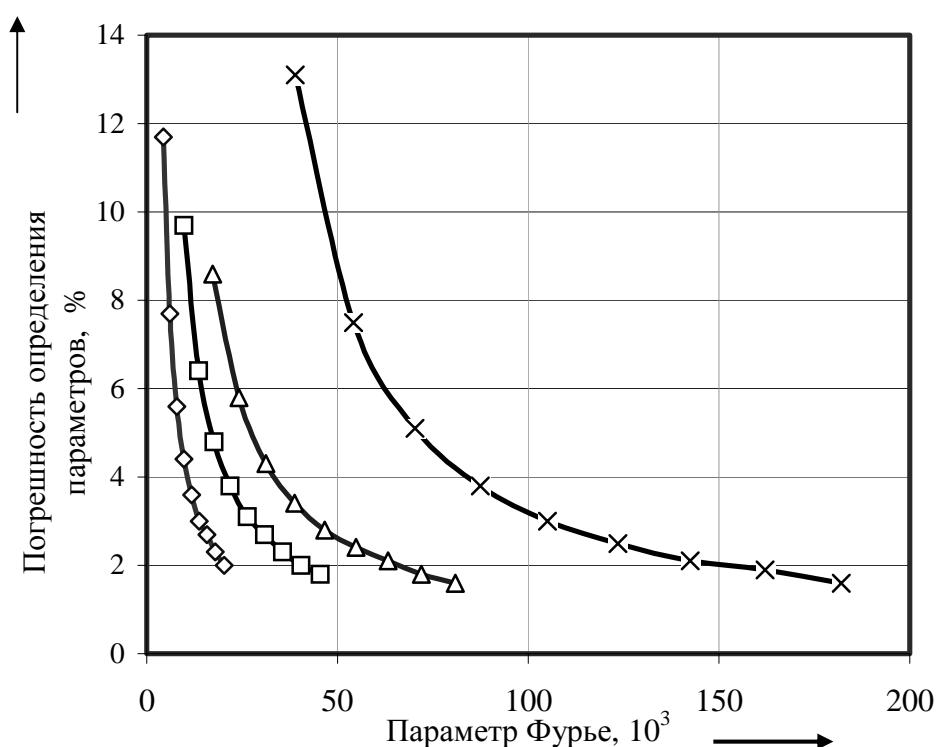


Рис.7. График зависимости погрешности определения параметров от параметра Фурье ГГС различной длины горизонтального ствола:

—◇— -L1; —□— -L2; —△— -L3; —×— -L4

Параметр Фурье характеризует безразмерное время перехода на квазистационарное состояние, зависит от физических свойств флюида и пласта, а также от длины горизонтального ствола. Параметр Фурье подставляется в формулу (2), и оценивается время выдержки на квазистационарном режиме. Время выдержки на квазистационарном режиме можно также определить графическим способом (рис.8).

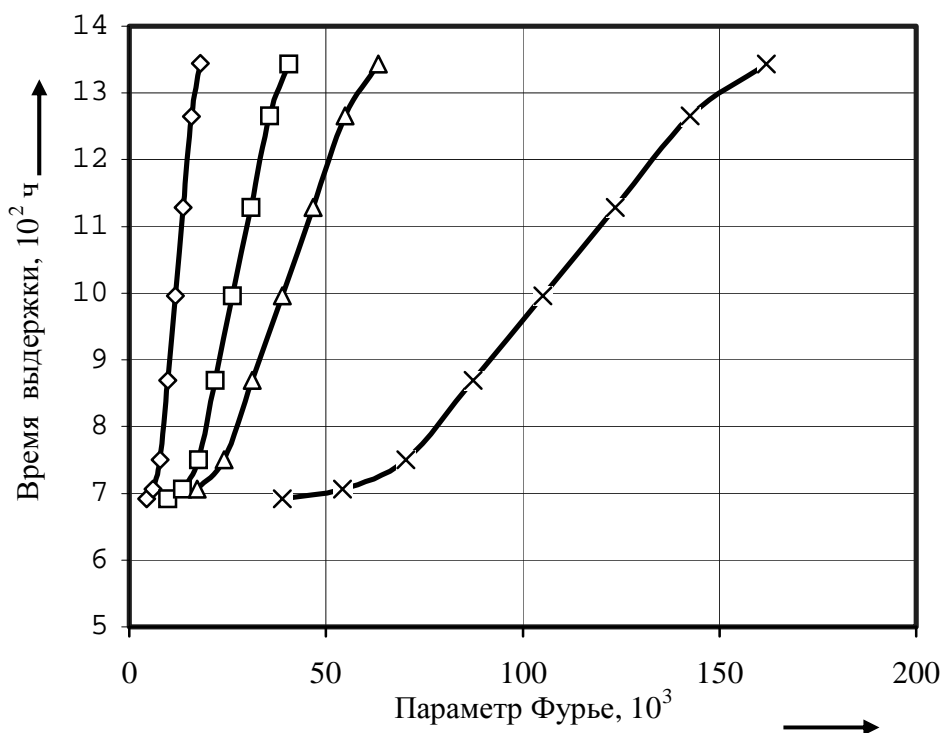


Рис.8. График определения времени выдержки на режиме ГГС различной длины горизонтального ствола :

—◇— -L1; —□— -L2; —△— -L3; —×— -L4

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Выполнен анализ фильтрационных потоков к ГГС, показаны их характерные признаки и способы их диагностики, а также приведены основные формулы неустановившейся изотермической фильтрации реального газа различных моделей (ЛП, БЛП, РП и др.).

2. Впервые проведен анализ СП с использованием характеристических, диагностических графиков псевда давления и производной с целью оценки фильтрационных параметров пластов. Получено аналитическое решение для СП при пуске газовой скважины с постоянным давлением.

3. Предложена процедура обработки и интерпретации результатов ГДИ ГГС на нестационарных режимах фильтрации. Применимость предлагаемой процедуры показана на примере горизонтальной газовой скважины 3тг ОГКМ.

4. Предложена рекомендация по применению глубинных измерительных и технических средств для проведения ГДИ ГГС. Предложен способ обоснова-

ния необходимости проведения обработки ПЗП в низкопроницаемых коллекторах и выбора метода анализа данных ГДИ ГС.

5. Разработан подход к исследованию ГГС на квазистационарных режимах фильтрации для определения параметров пласта с заданной точностью с целью сокращения продолжительности исследования. На примере ГГС ОГКМ показана практическая реализация данного подхода.

6. Предложен графоаналитический способ оценки времени выдержки ГГС на квазистационарном режиме в зависимости от параметра Фурье при заданной точности оценки параметров пласта и скважины.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Мохамед А.А., Шагиев Р.Г., Левченко В.С., Левченко И.Ю. Анализ данных исследования газовых скважин с использованием производной давления // Сб. тр./ БашНИПИнефть.-Уфа, 1999.- Вып. 99. - С. 179-184.

2. Мохамед А.А. Рекомендация по применению глубинных приборов для газогидродинамических исследований горизонтальных газовых скважин // Научные проблемы Западно-Сибирского нефтегазового региона: гуманитарные, естественные и технические аспекты: Тез. докл. научн-техн конф.-Тюмень, 1999. - С. 214-215.

3. Мохамед А.А. Поведение нестационарного течения ГГС по КПД-КВД. // Сб. науч. тр., посвященных 50-летию УГНТУ.- Уфа: УГНТУ, 1999. - С. 213-218.

4. Мохамед А.А. Анализ и характеристика кривых изменения давления для сферического фильтрационного потока // Сб. тр./ БашНИПИнефть.-Уфа, 1999.- Вып. 99. - С. 169-175.

5. Мохамед А.А. Анализ методов линеаризации нелинейного дифференциального уравнения неустановившейся фильтрации газа // Научные проблемы Западно-Сибирского нефтегазового региона: гуманитарные, естественные и технические аспекты: Тез. докл. научн-техн. конф.-Тюмень, 1999. - С. 178.

6. Мохамед А.А. Анализ простейших нестационарных фильтрационных потоков горизонтальных газовых скважин // Научно-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Секция горно-геологическая: Тез. докл. Научн. конф.-Уфа : УГНТУ, 1999. - С. 13.

7. Мохамед А.А. Применение первой производной давления при анализе и интерпретации результатов исследования газовых скважин // Методы кибернетики химико-технологических процессов (КХТП-V-99): Тез. докл. научн конф.-Уфа: УГНТУ, 1999 - С. 216.

8. Мохамед А.А., Шагиев Р.Г., Левченко В.С., Левченко И.Ю. Роль современных приборов в усовершенствовании газогидродинамических исследо-

ваний газовых скважин// Сб. тр./ БашНИПИнефть.-Уфа, 1999.- Вып. 99. - С. 176 - 178.

9.Мохамед А.А. Алгоритм для численного обратного преобразования Лапласа//Наука и технология углеводородных дисперсных систем.: Труды второго международного симпозиума.- Т. 1.- Уфа: Реактив, 2000. - С. 149.

10.Мохамед А.А. Обоснование методов воздействия на пласт горизонтальных газовых скважин// Наука и технология углеводородных дисперсных систем.: Труды второго международного симпозиума.- Т. 1.- Уфа: Реактив, 2000. - С. 147-148.

11.Мохамед А.А., Пономарев А.И. Приближенный анализ формул нестационарной фильтрации горизонтальных газовых скважин при больших временах// Наука и технология углеводородных дисперсных систем.: Труды второго международного симпозиума.- Т. 1.- Уфа: Реактив, 2000. - С. 146.

12.Мохамед А.А., Пономарев А.И. Исследование горизонтальных газовых скважин на квазистационарных режимах фильтрации// Проблемы нефти и газа. : Тез. докл. III Конгресса нефтегазопромышленников России.-Уфа: Реактив, 2001. - С. 187-188.

13.Мохамед А.А., Пономарев А.И. Особенности исследования горизонтальной газовой скважины на нестационарных режимах при больших временах// Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов топливно-энергетического комплекса: Материалы межотраслевой научно-практической конференции.- Т. 2.- Уфа: Реактив, 2001. - С. 139-140.

14.Мохамед А.А., Пономарев А.И. Оценка времени наступления квазистационарного состояния для модели бесконечного пласта// Проблемы нефти и газа. : Тез. докл. III Конгресса нефтегазопромышленников России.-Уфа: Реактив, 2001. - С. 209-210.

15.Мохамед А.А., Пономарев А.И. Оценка степени изменения во времени параметров пласта горизонтальной газовой скважины// Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов топливно-энергетического комплекса: Материалы межотраслевой научно-практической конференции.- Т. 2.-Уфа: Реактив, 2001. - С. 140-141.

Соискатель

Мохамед А.А.