

*На правах рукописи*

УДК 622.276.031

**Рочев Алексей Николаевич**

**ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН**

Специальность 25.00.17 – «Разработка и эксплуатация нефтяных  
и газовых месторождений»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ухта 2004

Работа выполнена в Ухтинском государственном техническом университете.

Научный руководитель:

кандидат технических наук

А.А. Мордвинов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук  
кандидат технических наук

Л.М. Рузин  
Е.М. Гурленов

Ведущая организация:

ООО «Севергазпром»

Защита состоится 21 мая 2004 г. в 10 часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета Д212.291.01 Ухтинского государственного технического университета по адресу 169300, Ухта, Республика Коми, Первомайская 13.

С содержанием диссертации можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 19 апреля 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук

Н.М. Уляшева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Гидродинамические исследования скважин являются одним из основных методов получения наиболее достоверной информации о продуктивном пласте. Чем больше информации о пласте и чем точнее эта информация, тем эффективнее будет осуществляться разработка месторождений нефти и газа.

Технология гидродинамических исследований скважин, как известно, базируется на замерах показателей работы скважин (давления, дебиты и т.д.) и на интерпретации результатов этих замеров. В зависимости от примененной методики обработки замеров можно получить различную информацию о пластах и скважинах как по количеству, так и по качеству.

Часто под гидродинамическими исследованиями скважины понимается только исследования скважины на установившихся (например, снятие индикаторных диаграмм) и неустановившихся (например, снятие кривых восстановления давления) режимах работы. Обработка результатов таких гидродинамических исследований скважин основана на решении обратных задач подземной гидромеханики. Несмотря на то, что математический аппарат решения уравнений подземной гидромеханики разрабатывается и совершенствуется десятки лет, решение обратных задач часто, в конкретных практических ситуациях, наталкивается на значительные трудности. Одной из них является выбор модели пласта, к которой относится конкретная кривая восстановления давления. Применение численных моделей позволяет получить множество эталонных кривых для различных моделей пластов. Тогда возникает задача определения, к какой из моделей относится фактическая кривая восстановления давления. Для решения этой задачи необходимо привлечь высокоэффективные методы классификации. Другой сложностью при определении фильтрационных параметров пласта по кривым восстановления давления является то, что задача определения параметров оказывается некорректно поставленной. Некорректность может приводить к тому, что

незначительные вариации в исходных данных, которые всегда присутствуют в замерах, вызывают значительные изменения в конечных результатах. Все это требует создания и привлечения новых методов и алгоритмов при обработке результатов гидродинамических исследований скважин. Решению этих задач и посвящена диссертационная работа.

**Цель исследования** состоит в том, чтобы повысить вероятность принятия правильных решений по совершенствованию разработки месторождений нефти и газа за счет увеличения количества и повышения качества информации о пластах и скважинах, получаемой в результате гидродинамических исследований.

**Основные задачи исследования:**

изучить характер колебаний давления в нефтяных добывающих скважинах;

исследовать возможность применения инструментария искусственных нейронных сетей для определения модели пласта по кривой восстановления давления;

исследовать влияние архитектуры нейронной сети на качество классификации кривых восстановления давления;

рассмотреть особенности создания автоматизированных информационных систем для обработки результатов гидродинамических исследований скважин.

**Теоретической и методологической основой** исследования послужили работы отечественных и зарубежных авторов. Решению обратных задач подземной гидромеханики посвящено большое количество работ отечественной научной школы, среди которых особое место занимают труды В.Н. Щелкачева. Методы и особенности обработки результатов гидродинамических исследований скважин изложены в работах З.С. Алиева,

Г.И. Баренблатта, К.С. Басниева, С.Н. Бузинова, Л.Г. Кульпина, А.Х. Мирзаджанзаде, Ю.А. Мясникова, И.А. Чарного, Э.Б. Чекалюка, Р.Г. Шагиева и др.

В последние годы для задач классификации в ряде отраслей науки стали применяться искусственные нейронные сети. В этой связи автором изучены работы А.Н. Горбаня, В.Г. Царегородцева, С.А. Терехова, Ф. Уоссермена. Связи теории искусственных нейронных сетей с нелинейной динамикой посвящены публикации Г.Г. Малинецкого, А.Б. Потапова.

Методы регуляризации некорректно поставленных задач изложены в трудах А.Н. Тихонова. Примеры применения регуляризирующих алгоритмов к решениям некоторых задач нефтегазодобычи рассмотрены в работах А.Х. Мирзаджанзаде.

Нелинейная динамика и синергетика являются бурно развивающимися в настоящее время областями науки. Им посвящено большое количество публикаций. Учитывая междисциплинарность подходов, развиваемых в этих науках, среди авторов работ по нелинейной динамике можно встретить специалистов из самых различных областей. В нефтегазодобыче это в первую очередь труды А.Х. Мирзаджанзаде и его научной школы. Основы фрактальной геометрии заложены в работах Бенуа Мандельброта. Методы анализа временных рядов с позиций нелинейной динамики описываются в публикациях П. Берже, К. Видаль, И. Помо, Г.Г. Малинецкого, Е. Федерера и др.

**Научная новизна** диссертационного исследования заключается в привлечении инструментария искусственных нейронных сетей для классификации кривых восстановления давления и в применении алгоритмов фрактального анализа для изучения поведения динамики давления в скважинах.

### **Защищаемые положения:**

- разработанные рекомендации по применению искусственных нейронных сетей для определения модели пласта по кривой восстановления давления;
- методика применения регуляризирующих алгоритмов для получения при обработке кривых восстановления давления более точных параметров пластов и скважин;
- вывод о том, что динамика давлений в фонтанирующих нефтяных скважинах может иметь детерминированный характер.

**Апробация, практическая ценность и реализация работы.** Основные результаты выполненной работы докладывались:

- на I Всероссийской геофизической конференции-ярмарке «Техноэкогеофизика – новые технологии извлечения минерально-сырьевых ресурсов в XXI веке», Ухта, 1-5 октября 2002 года;
- на 5-ой международной научно-практической конференции «Хазарнефтегазтаг –2002», Баку, 18-19 ноября 2002 года;
- на Всероссийской конференции «Большая нефть: реалии, проблемы, перспективы. Нефть и газ Европейского Северо-Востока» Ухта, 15-17 апреля 2003 года;
- на 1-ой международной конференции «Нефтеотдача 2003», Москва, 19-23 мая 2003 года.

Тема диссертации связана:

- с госбюджетной НИР «§47. Совершенствование разработки месторождений нефти и газа в осложненных условиях»;
- с хоздоговорной НИР «Проведение динамического анализа разработки месторождений ОАО НК «КомиТЭК» и ОАО «Коминнефть» на основе эволюционных синергетических моделей и оценки размерностных

характеристик процессов при добыче нефти с целью определения направлений нефтеотдачи пластов»;

- с хоздоговорной НИР «Разработка методики интерпретации кривых восстановления давления в газовых скважинах, вскрывших трещиновато-пористый пласт, с использованием модели Полларда».

Разработанное руководство автоматизированной информационной системы для обработки кривых восстановления давления «Поллард-Газ-КВД» принято к внедрению Вуктыльским ГПУ.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, библиографического списка, приложений. Работа изложена на 145 страницах, содержит 13 таблиц и 59 рисунков. Библиографический список включает 115 наименований.

Автор считает приятным долгом выразить искреннюю благодарность научному руководителю А.А. Мордвинову, доктору технических наук профессору А.Х. Мирзаджанзаде за постановку задачи о регуляризации и ректору УГТУ профессору Н.Д. Цхадая за содействие и постоянное внимание к работе на всех этапах подготовки диссертации. Также автор благодарит сотрудников Ухтинского государственного технического университета В.Н. Пушкина, В.П. Пятибрата, Ю.М. Фирсову за ценные советы; коллектив ООО ПФ «Аленд» и лично Н.В. Ирбахтина за возможность использования информационной базы по гидродинамическим исследованиям; ассистента О.М. Корохонько за помощь в оформлении текста диссертации и весь коллектив кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений и подземной гидромеханики за содействие и поддержку. Особую признательность автор выражает кандидату технических наук доценту В.А. Соколову за постоянные консультации по направлению исследований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** дается обоснование актуальности проблемы и темы исследования, характеризуется степень ее разработанности, определяются объект, цель и задачи исследования, раскрывается новизна работы и ее практическая значимость. Сформулированы положения, выносимые на защиту.

**Первый раздел** диссертации «Фрактальный анализ динамики давления в скважине» посвящен применению алгоритмов обработки временных рядов, разработанных в нелинейной динамике, к анализу динамики давления в нефтяных скважинах. Раздел содержит подразделы с теоретическими основами фрактального анализа, постановкой задачи и результатами расчетов и выводами.

Применение в последние десятилетия в практике нефтегазодобычи электронных приборов позволило выявлять и исследовать многие, недоступные ранее, интересные явления и процессы. Например, обнаружено, что при работе добывающих скважин динамика давления может носить сложный, нерегулярный характер. В работе проведен анализ замеров давления в добывающих нефтяных скважинах с позиций нелинейной динамики – дисциплины, изучающей нелинейные динамические системы.

Технологический режим эксплуатации скважин характеризуется, как известно, дебитом, давлением, температурой и составом продукции на устье скважины. Дебит скважины, давления на устье и на забое скважины – это характеристики скважины, которые замеряются наиболее часто. Логика говорит о том, что поведение давления в скважине должно быть информативным по отношению к процессам, происходящим в ней. Ниже представлены результаты исследования поведения давления в нефтяных скважинах с использованием фрактального анализа.

На рис. 1 приведена динамика давления в нескольких скважинах в ходе их фонтанной эксплуатации. Замеры осуществлены электронным манометром



типа Микон МС-107 (чувствительность прибора 0,001 МПа). В табл. 1 приведены основные параметры работы фонтанных скважин, замеров и результаты расчета корреляционной размерности. Величина  $M$  в табл. 1 – это то значение размерности пространства, начиная с которого прекращается рост корреляционной размерности (рис. 2).

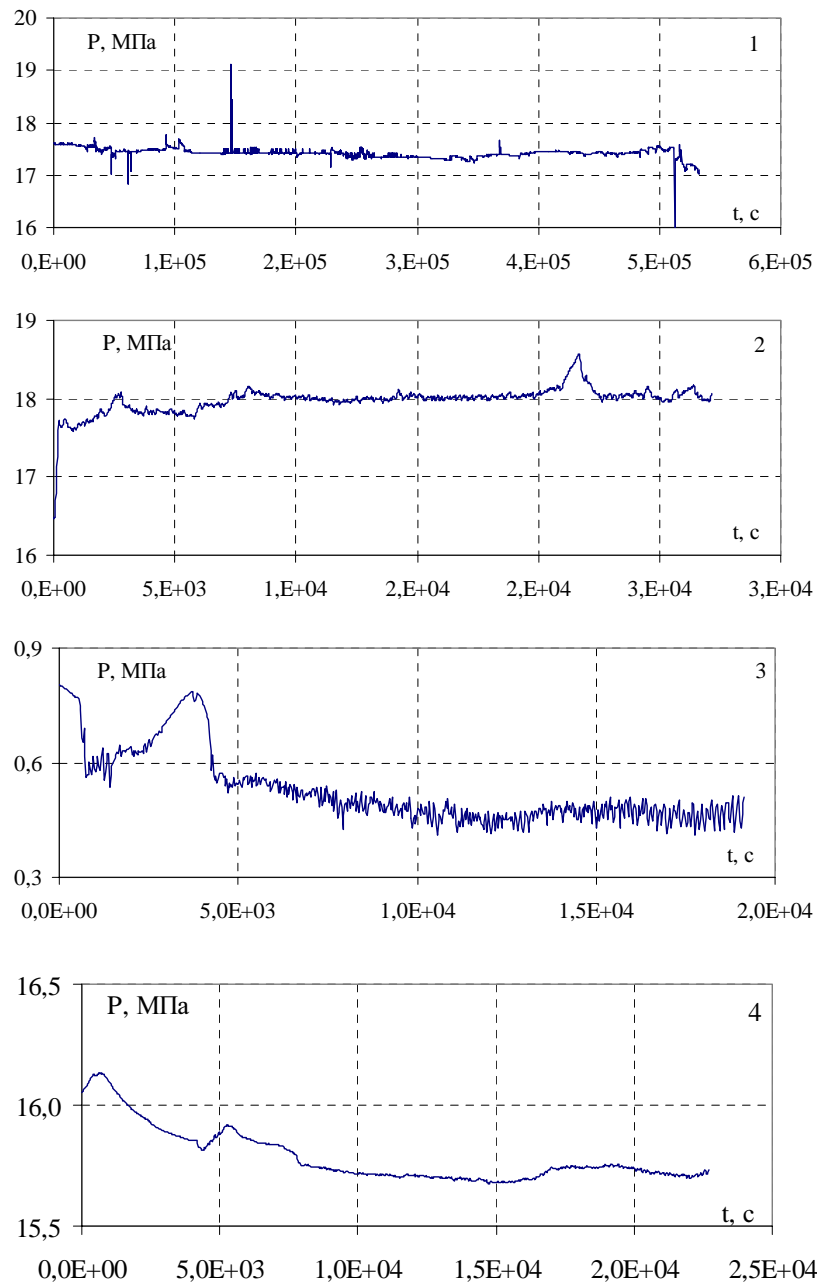


Рис. 1. Динамика давления в скважинах: 1- скв. 20 Щельюр (забойное);  
 2- скв. 201 Луза (забойное); 3 – скв. 224 Вост.-Сотчемью-Талыйюская  
 (устьевое); 4 - скв. 224 Вост.-Сотчемью-Талыйюская (забойное)

## Результаты расчета корреляционной размерности

| Скважина                                 | Время замера, с | Дискретность замера, с | $M$ |
|--|-----------------|------------------------|-----|
| 20 Щельяюр                               | 532 320         | 120                    | 3   |
| 201 Луза                                 | 27 165          | 15                     | 4   |
| 224 Восточно-Сотчемью-Тальйюская (устье) | 19 140          | 30                     | > 6 |
| 224 Восточно-Сотчемью-Тальйюская (забой) | 22 710          | 30                     | 3   |

На рис. 2 приведены результаты расчета корреляционной размерности. Расчет показывает, что размерность вложения для динамики забойного давления не превышает 4, в то время как для замера устьевого давления (см. рис. 2 диаграмма 3) корреляционная размерность продолжает расти и при размерности пространства, равной 6.

Таким образом, на основании проведенных расчетов можно говорить о детерминированном характере изменения давления на забое скважины. Следует отметить, что подобный характер изменения давления в скважине наблюдается далеко не всегда. Например, динамика давления в скважине 20 Щельяюр первоначально была монотонной, а переход к хаотическому поведению произошел после поступления в скважину воды. В продукции остальных двух скважин в течение всего периода исследования уже присутствовала пластовая вода. По всей видимости, поступление воды в скважину явилось тем фактором, который приводит динамику давления в скважине к хаотической. В этом случае оценка степени хаотичности динамики давления может служить признаком для раннего диагностирования обводнения продукции скважины в случаях, когда скорости подъема в насосно-компрессорных трубах не достаточно для выноса воды на поверхность и происходит ее накопление на забое скважины.

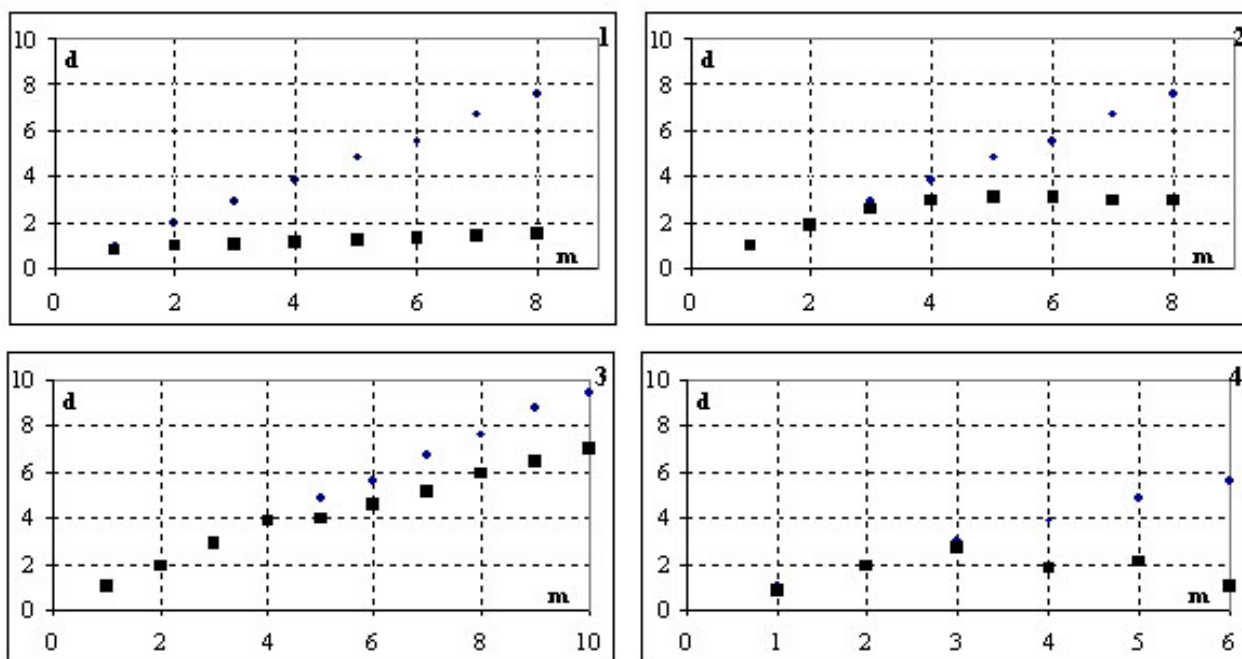


Рис. 2. Изменение корреляционной размерности с ростом размерности вложения для динамики давления: 1- скв. 20 Щельюр (забойное); 2- скв. 201 Луза (забойное); 3 – скв. 224 Вост.-Сотчемью-Тальюсская (устьевое); 4 - скв. 224 Вост.-Сотчемью-Тальюсская (забойное). Кругами обозначена зависимость для случайной последовательности, квадратами – для замера давления ( $d$  – корреляционная размерность,  $m$  – размерность пространства).

**Второй раздел** диссертации «Применение искусственной нейронной сети для классификации кривых восстановления давления» разбит на семь подразделов. В первом и втором подразделах приводятся основные понятия и положения теории искусственных нейронных сетей, рассматривается область применения искусственных нейронных сетей. Подразделы с третьего по пятый посвящены постановке задачи, формированию обучающего множества, и приведению задачи к безразмерному виду. Шестой подраздел является основным. В нем описаны методы и результаты исследования по применению искусственных нейронных сетей для классификации кривых восстановления давления.

Процесс обработки результатов гидродинамического исследования скважины состоит из двух основных этапов. Первый – выбор модели пласта, второй – расчет фильтрационных параметров. На современном этапе благодаря

развитию численного моделирования исследователь имеет возможность рассмотреть очень большое количество различных моделей. Наиболее распространенным подходом в настоящее время является сопоставление фактической кривой с рядом модельных и выбор той из них, с которой наблюдается наибольшее соответствие. Сопоставление, как правило, выполняется визуально, т.е. исследователь должен сравнить фактическую кривую с каждой из возможных моделей. В случае, когда количество моделей ограничено или их круг можно сузить за счет имеющейся априорной информации, обработка нескольких кривых не представляет значительной трудности. Однако нередко, особенно на ранних стадиях разведки и разработки, возникает необходимость рассмотрения широкого круга моделей. Информации для того, чтобы отдать какой-то из них предпочтение недостаточно. Также может иметь место необходимость сопоставить с новой моделью большое количество ранее снятых кривых, хранящихся в базе данных. В этих ситуациях процедура сравнения фактических и эталонных кривых может привести к значительным затратам времени или привлечению дополнительного количества специалистов.

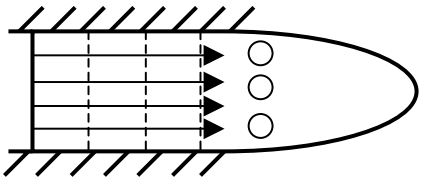
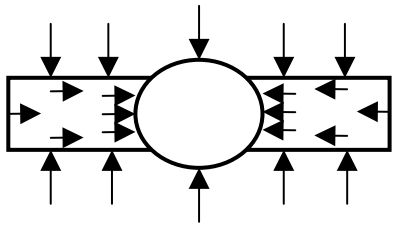
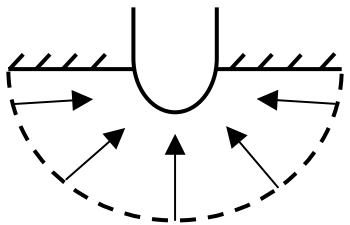
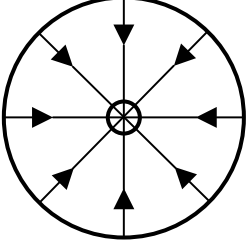
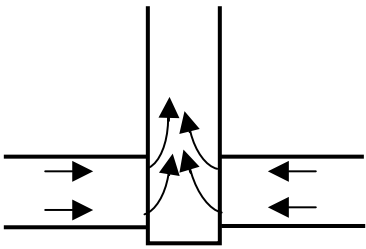
В работе рассмотрена возможность применения инструментария искусственных нейронных сетей (ИНС) для выбора наиболее подходящей модели пласта по фактической кривой восстановления давления. По сути дела задача выбора модели – это задача классификации. Из литературных данных известно, что в ряде отраслей задачи классификации успешно решаются путем применения ИНС. Вместе с тем применение нейросетевых алгоритмов допускает большое количество подходов к решению подобной задачи. На данный момент не существует общих правил по выбору архитектуры сети для решения той или иной задачи. В связи с этим немаловажное значение представляет выбор архитектуры сети (количество слоев, вид функции активации) и алгоритма обучения сети.

В работе рассмотрено применение нескольких вариантов архитектур для решения задачи классификации кривых восстановления давления. Обучение

сети проведено по алгоритму обучения с учителем. В качестве обучающего набора данных использовался ряд модельных кривых восстановления давления. В табл. 2 приведен перечень моделей, которые использовались для обучения сети (в формулах таблицы:  $P$  - давление,  $t$  - время,  $c$  - константа).

Таблица 2

Модели пласта для формирования обучающего множества

| Вид модели                             | Иллюстрация модели   | Аналитическое решение                                |
|--|--|--|
| Линейный<br>фильтрационный<br>поток    |    | $\frac{\partial P}{\partial \ln(t)} = 0,5ct^{0,5}$   |
| Билинейный<br>фильтрационный<br>поток  |   | $\frac{\partial P}{\partial \ln(t)} = 0,25ct^{0,25}$ |
| Сферический<br>фильтрационный<br>поток |  | $\frac{\partial P}{\partial \ln(t)} = -0,5ct^{0,5}$  |
| Радиальный<br>фильтрационный<br>поток  |   | $\frac{\partial P}{\partial \ln(t)} = 0,5$           |
| Влияние ствола<br>скважины             |  | $\frac{\partial P}{\partial \ln(t)} = \frac{t}{c}$   |

Модельные кривые приводились к безразмерному виду, а затем использовались для обучения сети. Для этого каждой модели было сопоставлено числовое значение. Обучение сети состояло в подаче на входы сети точек модельных кривых. После того, как ошибка обучения сети (т.е. разница между тем числовым значением, которое выдает сеть и тем, что было задано для данной модели) снижалась до заданного заранее уровня, процесс обучения считался завершенным и проводился экзамен сети. Экзамен заключался в подаче на входы сети кривой восстановления давления, не использовавшейся для обучения, и проверке – правильно ли сеть классифицирует кривую. Общий объем обучающего множества составлял 150 кривых восстановления, по 30 кривых для каждой из моделей. Экзаменационное множество состояло из 50 кривых, по 10 для каждой из моделей. В табл. 3 представлены результаты обучения и тестирования сети для нескольких вариантов архитектур. Создание, обучение и тестирование искусственной нейронной сети проведено с помощью модуля Neural Analyzer аналитического пакета Deductor производства компании BaseGroup Labs. Для анализа использовалась свободно распространяемая версия пакета Neural Analyzer 2.0 Lite.

Проведенные расчеты показали, что искусственная нейронная сеть может успешно применяться для определения модели пласта по кривой восстановления давления. В табл. 3 приняты следующие обозначения:

- а – крутизна сигмоиды;
- величины в скобках столбца 3 – скорость и момент обучения;
- значения в скобках столбца 4 – количество нейронов в слое (первая цифра – в первом слое, вторая – во втором и т.д).

Таблица 3

## Результаты обучения и экзамена сети

| Вариант архитектуры | Активационная функция | Алгоритм обучения                          | Количество скрытых слоев | Количество циклов обучения | Качество обучения (% распознанных примеров на обучающем/тестовом множествах) | Результаты экзамена (% распознанных примеров / макс отклонение) |
|---------------------|-----------------------|--|--------------------------|----------------------------|--|---|
| 1                   | 2                     | 3  | 4                        | 5                          | 6  | 7   |
| 1                   | Сигмоид (a=1)         | Обратное распространение ошибки (0,1, 0,9) | 2 (8, 8)                 | 630                        | 100 /100   | 100/0,141   |
| 2                   | Сигмоид (a=1)         | Обратное распространение ошибки (0,1, 0,9) | 1 (10)                   | 1500                       | 38,3/36,7  | Нет экзамена  |
| 3                   | Сигмоид (a=1)         | Обратное распространение ошибки (0,1, 0,9) | 1 (20)                   | 1333                       | 98,3/100   | 100/0,130   |
| 4                   | Сигмоид (a=1)         | Обратное распространение ошибки (0,1, 0,9) | 1 (30)                   | 1500                       | 52/40  | Нет экзамена  |
| 5                   | Сигмоид (a=1)         | Обратное распространение ошибки (0,1, 0,9) | 1 (40)                   | 1021                       | 90/100   | 100/0,12  |
| 6                   | Сигмоид (a=1)         | Обратное распространение ошибки (0,1, 0,9) | 2 (8, 6)                 | 462                        | 95/100   | 100/0,13  |

В третьем разделе «Регуляризация обратных задач гидродинамических исследований скважин» описываются теоретические основы методов регуляризации некорректно поставленных задач, приводятся примеры подобных задач, возникающих при обработке кривых восстановления давления, представлен метод их решения с помощью регуляризирующего алгоритма.

После того как определена модель пласта, к которой относится конкретная кривая восстановления давления, необходимо определить фильтрационные параметры. Распространенным подходом является линеаризация кривой восстановления в тех или иных координатах и дальнейшее определение параметров этой линейной зависимости методом наименьших квадратов (МНК).

Как известно, определение параметров по методу наименьших квадратов сводится к решению уравнения вида

$$A \cdot z = u, \quad (1)$$

где  $z$  – искомые переменные;

$A, u$  – параметры.

В тех случаях, когда матрица  $A$  оказывается плохо обусловленной, решение задачи оказывается некорректно поставленным. В этих случаях малое изменение параметров в правой части уравнения (1) может привести к значительному разбросу полученных результатов. На рис. 3 приведен пример плохой обусловленности при обработке кривой восстановления давления методом касательной. Здесь вверху показана кривая восстановления давления, снятая на забое добывающей нефтяной скважины, а внизу – обработка кривой восстановления методом касательной. На кривую был наложен случайный шум, интенсивность которого не превышает чувствительности прибора. Различным реализациям шума соответствуют различные прямые на этом рисунке. Видно, что незначительное изменение в исходных данных приводит к значительным изменениям параметров прямой. Так как по параметрам прямой рассчитываются фильтрационные характеристика продуктивного пласта, то некорректность задачи приводит к значительным вариациям в получаемых значениях фильтрационных характеристик.



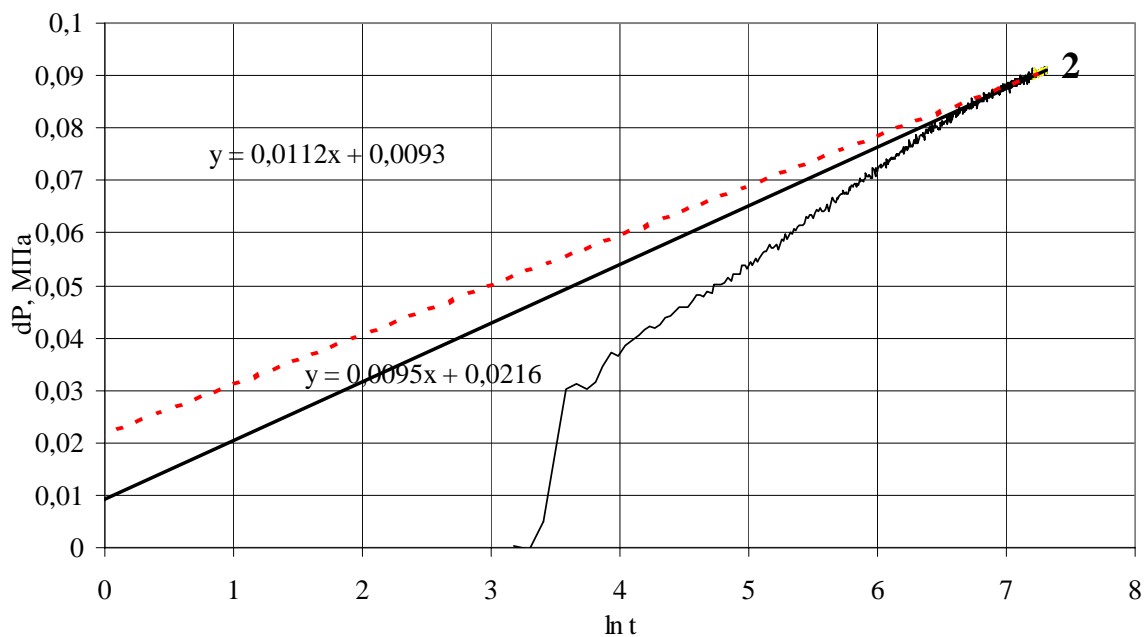
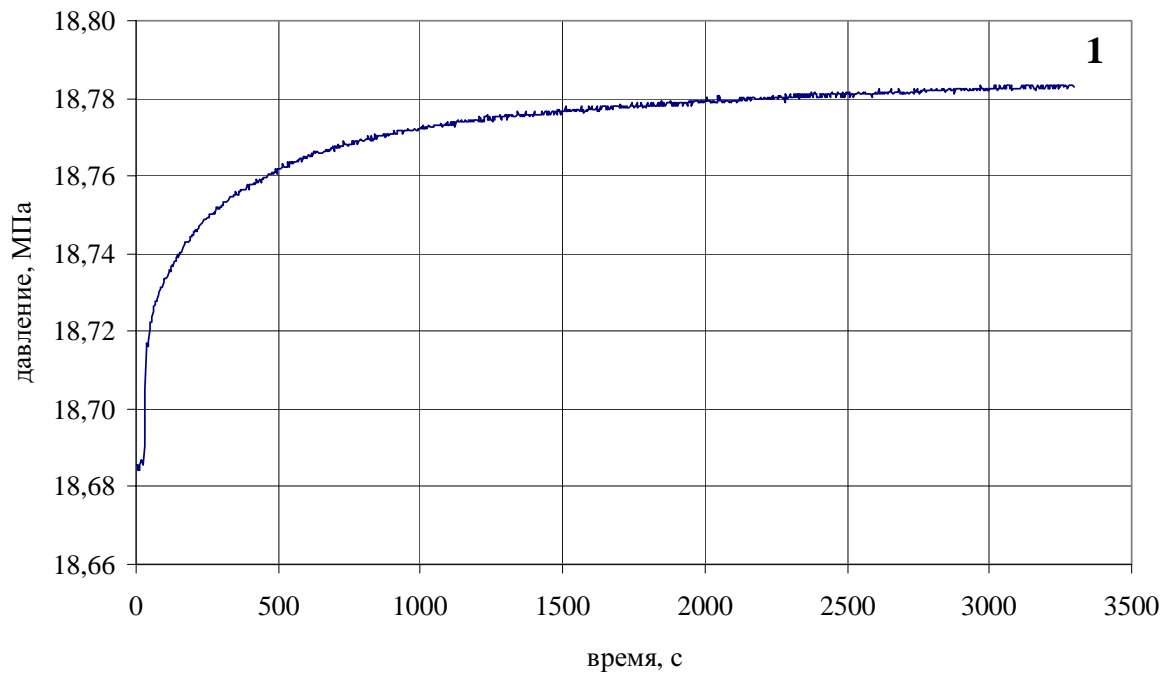


Рис. 3. Кривая восстановления давления (1) и обработка ее методом касательной (2) (скважина 51 Израель).

Для решения подобных задач в работе применен метод регуляризации А.Н. Тихонова. Суть метода состоит в минимизации функционала

$$M = \|Az - \tilde{y}\|^2 + \alpha\Omega(z), \quad (2)$$

где  $\tilde{y}$  – неточно заданная правая часть;

$\Omega$  – стабилизирующий функционал;

$\alpha$  - параметр регуляризации.

Стабилизирующий функционал определяется выражением

$$\Omega(z) = \|z - z_0\|^2, \quad (3)$$

где  $z_0$  – первое приближение.

Как видно из формул (2) и (3) для применения регуляризирующего алгоритма необходимо наличие априорной информации ( $z_0$ ). В качестве априорной информации могут выступать, например, фильтрационные параметры пласта, определенные по анализу кернов или определенные по более ранним гидродинамическим исследованиям. В данном случае использовался второй вариант.

В табл. 4 представлен результат применения регуляризирующего метода к обработке ряда кривых восстановления давления. Анализ таблицы показывает, что применение метода регуляризации существенно уменьшает вариации в результатах обработки.

Таблица 4

Результаты регуляризации обработки кривых восстановления давления

| Скважина        | Первое приближение |         | Угол МНК |       | Отрезок МНК |       | Угол регуляриз. |       | Отрезок регуляриз. |       |
|-----------------|--------------------|---------|----------|-------|-------------|-------|-----------------|-------|--------------------|-------|
|                 | угол               | отрезок | мин.     | макс. | мин.        | макс. | мин.            | макс. | мин.               | макс. |
| 3 Мастерель     | 0,0864             | 0,2969  | 0,099    | 0,62  | 0,046       | 0,194 | 0,1             | 0,102 | 0,167              | 0,185 |
| 1 Юж. Терехевей | 0,247              | 0,578   | 0,163    | 0,233 | 0,694       | 1,329 | 0,224           | 0,271 | 0,359              | 0,78  |
| 502 Израель     | 0,115              | 0,346   | 0,216    | 0,311 | 0,51        | 1,347 | 0,322           | 0,329 | 0,355              | 0,412 |
| 51 Израель      | 0,13               | 3,00    | 0,013    | 0,172 | 2,583       | 4,176 | 0,105           | 0,156 | 2,742              | 3,25  |
| 51 Израель      | 0,172              | 0,538   | 0,143    | 0,185 | 0,436       | 0,764 | 0,155           | 0,191 | 0,387              | 0,67  |

На основании проведенных расчетов сделан вывод о том, что применение регуляризирующих алгоритмов позволяет получить более надежное значение искомых параметров.

**Четвертый раздел** диссертации посвящен описанию созданной автоматизированной информационной системы для обработки кривых восстановления давления в газовых скважинах - «Поллард-Газ-КВД». Система

была создана с целью автоматизации процесса обработки кривых восстановления давления методом Полларда.

Согласно модели П. Полларда, кривую восстановления давления в трещиновато-пористых газовых коллекторах можно представить аддитивно-экспоненциальной моделью вида

$$P_{nl}^2 - P_c^2(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right), \quad (4)$$

где  $n$  обычно равно трем;

$P_{nl}$  и  $P_c(t)$  – пластовое и забойное давления;

$A_i$  – предэкспоненциальные коэффициенты;

$\tau_i$  – характерные времена процессов.

При  $t = 0$  имеем

$$P_{nl}^2 - P_c^2(0) = \sum_{i=1}^3 A_i = \Delta P_1^2 + \Delta P_2^2 + \Delta P_3^2. \quad (5)$$

Уравнение (5) означает, что первоначальный перепад квадратов давления, наложенный на газовый трещиновато-пористый пласт, складывается из трех слагаемых, а именно:

$\Delta P_1^2$  – перепад между пластовым и средним давлением в трещинах всей зоны дренирования (при закрытии скважины скорость его убывания во времени зависит от скорости перетока газа из пористых блоков в трещины);

$\Delta P_2^2$  – перепад давления, затрачиваемый на преодоление гидравлических сопротивлений при движении газа в трещинах до окрестностей скважины;

$\Delta P_3^2$  – перепад между давлением в окрестностях скважины и давлением на стенке скважины, обусловленный скин-эффектом.

Процесс обработки КВД по методу Полларда состоит в определении значений предэкспоненциальных коэффициентов и характерных времен.

Разработанная система “Поллард-Газ-КВД” предназначена для расчета гидродинамических параметров пласта различными методами обработки кривой восстановления давления. В системе реализованы следующие методы обработки КВД: метод Хорнера, метод касательной (в рамках закона Дарси),

метод касательной (при нарушении закона Дарси), метод Полларда, а также предусмотрен пересчет кривой восстановления, в результате которого учитывается влияние ствола скважины на темп восстановления давления.

В системе автоматизированы следующие функции:

- ввод, хранение, редактирование данных кривой восстановления давления (массив времен и давлений) и данных о скважине, на которой произведен замер КВД, включая эксплуатационные характеристики скважины и данные, полученные в результате предшествующих исследований скважины;
- визуализация КВД в табличном и графическом представлении;
- обработка КВД методами Хорнера, касательной и Полларда с сохранением результатов обработки в базе данных;
- пересчет КВД с целью учета влияния ствола скважины;
- формирование информационного отчета о процессе обработки и результатах обработки КВД, содержащего также полные сведения о скважине и ее конструкции, с возможностью вывода отчета на печать и сохранения в файле.

Достоинства разработанной системы:

- возможность более гибкого сглаживания исходных данных двумя способами, что обеспечивает получение более адекватной дифференциальной кривой для прогнозирования истинного значения пластового давления;
- возможность учета влияния ствола скважины;
- возможность оценки гидравлических потерь в призабойной зоне пласта.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Методами фрактального анализа временных рядов установлено, что колебания давления на забое фонтанных скважин имеют детерминированный характер.

2. Показано, что задача определения модели пласта по кривой восстановления давления может рассматриваться как задача классификации.

3. Установлено, что для решения задачи классификации кривой восстановления давления могут быть применены методы, основанные на искусственных нейронных сетях.

4. Установлено, что в тех случаях, когда задача определения фильтрационных параметров пласта по КВД оказывается некорректно поставленной, для ее решения может быть применен метод регуляризации по А.Н. Тихонову.

5. Разработана АИС для обработки кривых восстановления давления, снятых в газовых скважинах, позволяющая автоматизировать процесс обработки КВД методом Полларда.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих печатных работах.

1. Рочев А.Н. О применении механических и электронных манометров при исследовании скважин / А.Н. Рочев, А.Н. Ирбахтин // Тезисы докладов Межрегиональной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех – 2002» (Ухта, 19-21 марта, 2002 г). – Ухта, 2002. - С. 69-70.

2. Соколов В.А. Оценка эффективности воздействия на пласты при разработке трудноизвлекаемых запасов / В.А. Соколов, А.Н. Смирнов, А.Н. Рочев // Материалы I Всероссийской геофизической конференции-ярмарки «Техноэкогеофизика - новые технологии извлечения минерально-сырьевых ресурсов в XXI веке» (Ухта, 1-5 октября 2002 г.). Под ред. акад. РАЕН

О.Л. Кузнецова. – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2002. – С.151-157.

3. Соколов В.А. Прогнозирование колебательных и хаотических режимов работы пластов и скважин / В.А. Соколов, А.Н. Смирнов, А.Н. Рочев // Доклады 5-ой международной научно-практической конференции «Хазарнефтегазтаг – 2002» (Баку, 18-19 ноября 2002 г.). – Баку, 2002. – С.241-252.

4. Соколов В.А. Мягкая эволюционная синергетическая трехмерная модель для расчета сценариев воздействия на пласт / В.А. Соколов, А.Н. Смирнов, А.Н. Рочев // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – Баку, 2003. – № 1. – С.1-7.

5. Соколов В.А. Применение эволюционных моделей для прогнозирования сценариев воздействия на пласт с целью поддержания системной самоорганизации при разработке нефтегазовых залежей / В.А. Соколов, А.Н. Смирнов, А.Н. Рочев // Большая нефть: реалии, проблемы, перспективы. Нефть и газ Европейского Северо-Востока: Материалы Всероссийской конференции (Ухта, 15-17 апреля 2003 г.). – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2003. – С.124-126.

6. Смирнов А.Н. Автоматизированная информационная система «Поллард-Газ-КВД» / А.Н. Смирнов, В.А. Соколов, А.Н. Рочев // Большая нефть: реалии, проблемы, перспективы. Нефть и газ Европейского Северо-Востока: Материалы Всероссийской конференции (Ухта, 15-17 апреля 2003 г.). – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2003. – С.131-133.

7. Соколов В.А. Схема расчетов для определения параметров нелинейных эволюционных моделей с трехмерным фазовым портретом / В.А. Соколов, А.Н. Рочев // Большая нефть: реалии, проблемы, перспективы. Нефть и газ Европейского Северо-Востока: Материалы Всероссийской конференции (Ухта, 15-17 апреля 2003 г.). – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2003. – С.133-135.

8. Рочев А.Н. Диагностирование структуры объекта по характеристикам хаотичности переходных процессов в неоднородных пластах / А.Н. Рочев // Большая нефть: реалии, проблемы, перспективы. Нефть и газ Европейского Северо-Востока: Материалы Всероссийской конференции (Ухта, 15-17 апреля 2003 г.). – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2003. – С.135-137.

9. Соколов В.А. Мягкое эволюционное моделирование процессов разработки месторождений / В.А. Соколов, А.Н. Смирнов, А.Н. Рочев // Материалы 1-ой международной конференции «Нефтеотдача 2003», (Москва, 19-23 мая 2003 г.). – М., 2003. – С.151-158.

10. Рочев А.Н. Фрактальный анализ динамики давления в скважинах / А.Н. Рочев, А.А. Мордвинов // Материалы XXX юбилейной научно-технической конференции, посвященной 50-летию ПГТУ (Пермь, ноябрь 2003 г.). – Пермь, 2003. – С.133-141.

Соискатель

Рочев А.Н.

---

Отпечатано в Отделе оперативной полиграфии  
Ухтинского государственного технического университета.  
Усл. п.л. 1,3. Уч-изд. л. 1,0. Сдано в печать 14.04.2004. Тираж 100 экз. Заказ .  
169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Октябрьская, 13.