

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

**Рубин Р. Кучумов, Р. Я. Кучумов**

**ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБОТКИ  
НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ СКВАЖИНАМИ**

Тюмень  
ТюмГНГУ  
2011

УДК 622.279  
ББК 33.361  
К 95

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор Т. В. Мальцева  
кандидат технических наук, доцент А. В. Красовский

**Кучумов, Рубин Р.**

К 95

Программно-информационное обеспечение расчетов показателей разработки нефтегазовых месторождений с горизонтальными скважинами / Рубин Р. Кучумов, Р. Я. Кучумов. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – 252 с.

ISBN 978-5-9961-0306-5

Книга посвящена созданию программно-информационного обеспечения расчетов показателей разработки нефтегазовых месторождений с горизонтальными скважинами. Проведен системный анализ эффективности работы горизонтальных и наклонных скважин, разработаны алгоритмы и программные продукты для расчета показателей установившихся и неуставившихся притоков жидкости и газа к горизонтальным и разветвленно-горизонтальным скважинам, несовершенной галерее, а также для обработки данных гидрогазодинамического исследования этой группы скважин.

Издание предназначено для студентов старших курсов нефтегазовых вузов, занимающихся моделированием и управлением процессами разработки нефтяных и газовых месторождений, а также для работников отраслевых НИИ и промысловых лабораторий.

УДК 622.279  
ББК 33.361

ISBN 978-5-9961-0306-5

© Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет», 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>РАЗДЕЛ I. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ<br/>ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ СКВАЖИН .....</b>                           | <b>8</b>  |
| 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРИТОКА ЖИДКОСТЕЙ К<br>НАКЛОННЫМ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СКВАЖИНАМ.....                                     | 8         |
| 1.1. Краткий анализ эффективности работы наклонных и<br>горизонтальных скважин .....  | 8         |
| 1.2. Математические модели притока к горизонтальному стволу<br>скважины .....   | 18        |
| 1.3. Математические модели притока к наклонным скважинам .....  | 22        |
| 2. АЛГОРИТМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ<br>ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ СКВАЖИН.....                                     | 26        |
| 2.1. Анализ методов оценки эффективности работы горизонтальных<br>и наклонных скважин .....                                   | 26        |
| 2.2. Алгоритм определения продуктивности наклонно-направленных<br>скважин по методу Борисова.....                             | 37        |
| 2.3. Описание программного продукта для системного анализа<br>эффективности работы горизонтальных и наклонных скважин.....    | 40        |
| 3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ<br>РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ СКВАЖИН .....                           | 46        |
| 3.1. Исследование дебитов горизонтальных и наклонных скважин<br>методом Борисова .....  | 46        |
| 3.2. Исследование коэффициентов продуктивности горизонтальных<br>и наклонных скважин .....                                    | 53        |
| <b>РАЗДЕЛ II. АЛГОРИТМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ<br/>УСТАНОВИВШЕГОСЯ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ К<br/>ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ.....</b> | <b>61</b> |
| 1. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ<br>УСТАНОВИВШЕГОСЯ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ К<br>ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ .....           | 61        |
| 1.1. Применение теории потенциала для решения задач<br>установившегося притока жидкости к горизонтальной скважине .....       | 61        |
| 1.2. Методы расчёта дебита горизонтальной скважины.....   | 68        |
| 1.3. Решение двух плоских задач для установившегося притока к<br>горизонтальной скважине .....                                | 71        |
| 1.4. Алгоритм расчета показателей установившегося притока к<br>горизонтальной скважине .....                                  | 74        |

|   |           |
|---|-----------|
| 1.5. Реализация алгоритма для расчёта параметров установившегося притока к горизонтальной скважине .....                        | 78        |
| 1.6. Описание программного продукта для расчета установившегося притока к горизонтальной скважине .....                         | 80        |
| <b>2. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ К ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ .....</b>          | <b>84</b> |
| 2.1. Исследования влияния длины ствола, толщины и проницаемости пласта на дебит горизонтальных скважин в изотропном пласте..... | 84        |
| 2.2. Исследования влияния анизотропии пласта и радиуса контура питания на дебит горизонтальных скважин.....                     | 97        |

### **РАЗДЕЛ III. АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ПРИТОКА ЖИДКОСТИ К РАЗВЕТВЛЕННО-ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СКВАЖИНАМ .....**

|  |            |
|--|------------|
| <b>1. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИТОКОВ ЖИДКОСТИ К РАЗВЕТВЛЕННО-ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СКВАЖИНАМ .....</b>                      | <b>107</b> |
| 1.1. Приток жидкости к наклонным и многозабойным скважинам в слоистом пласте .....   | 107        |
| 1.2. Установившийся приток жидкости к горизонтальным и многозабойным скважинам в однородном пласте ограниченной толщины .....            | 114        |
| 1.3. Стационарный приток жидкости к горизонтальным скважинам, эксплуатирующим нефтегазовые залежи с подошвенной водой .....              | 125        |
| 1.4. Математические модели горизонтальных скважин на нестационарных режимах фильтрации.....  | 130        |
| 1.5. Описание программного продукта при установившемся и неустановившемся притоке жидкости к разветвленно-горизонтальным скважинам ..... | 136        |
| <b>2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ.....</b>   | <b>144</b> |

### **РАЗДЕЛ IV. АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧ УСТАНОВИВШИХСЯ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ ПРИТОКОВ ЖИДКОСТИ К НЕСОВЕРШЕННОЙ ГАЛЕРЕЕ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ.....**

|   |            |
|---|------------|
| <b>1. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИТОКОВ ЖИДКОСТИ К ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЕ.....</b> | <b>156</b> |
| 1.1. Установившийся приток реального газа к горизонтальной скважине по линейному и нелинейным законам фильтрации .....      | 156        |

|   |                |
|---|----------------|
| 1.2. Приближенное аналитическое решение Алиева-Шеремета задачи притока реального газа к горизонтальной скважине по нелинейному закону фильтрации..... | 159            |
| 1.3. Методика расчета оптимальной длины горизонтального участка ствола скважины в зависимости от расхода закачиваемого газа в ПХГ .....               | 163            |
| 1.4. Неустановившийся приток жидкости к несовершенной галерее (вертикальной трещине ГРП) и горизонтальной скважине.....                               | 170            |
| 1.5. Описание программного продукта .....   | 179            |
| <b>2. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТАНОВИВШИХСЯ И НЕУСТАНОВИВШИХСЯ ПРИТОКОВ ЖИДКОСТИ К ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЕ.....</b>   | <b>186</b>     |
| <br><b>РАЗДЕЛ V. АЛГОРИТМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН.....</b>                              | <br><b>197</b> |
| <br><b>1. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН.....</b>                                  | <br><b>197</b> |
| 1.1 Анализ режимов притока к горизонтальному стволу.....  | 197            |
| 1.2. Метод построения индикаторных линий и их обработка .....   | 207            |
| 1.3. Метод построения кривой восстановления давления и их обработка .....   | 213            |
| 1.4. Интерпретация результатов гидродинамических исследований горизонтальных скважин по методике В. С. Евченко .....                                  | 216            |
| 1.5. Интерпретация результатов гидродинамических исследований горизонтальных скважин при нестационарных режимах фильтрации (по В.А. Черных).....      | 221            |
| 1.6. Описание программного продукта для обработки данных гидродинамических исследований горизонтальных скважин .....                                  | 226            |
| <b>2. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН .....</b>  | <b>234</b>     |
| <br><b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>  | <br><b>248</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

Горизонтальные скважины нашли широкое применение при разработке низкопроницаемых пластов газовых и газоконденсатных месторождений на суше и на море, а также нефтегазовых месторождений с подошвенной водой. При этом требуется решение таких сложных задач, как определение производительности скважин и забойных давлений в условиях анизотропного пласта, оптимального местоположения скважин и протяженности горизонтального ствола, а также получения достоверной информации геологофизических параметров пласта и эффективности воздействия на прискважинную зону.

Основные трудности аналитических решений задач притока к горизонтальным скважинам связаны с нелинейной зависимостью между градиентом давления и скоростью фильтрации, а также определением потерь на трение при движении газа и газоконденсатной смеси в горизонтальном стволе, особенно при значительных дебитах и большой длине ствола. Аналитические решения задач фильтрации газа к горизонтальным стволам весьма ограничены.

Исследование притока жидкости к многозабойным и горизонтальным скважинам приводит к постановке весьма сложных пространственных задач подземной гидродинамики. Однако во многих случаях пластовые условия позволяют упростить постановку задач и свести их к решению соответствующих плоских задач. Например, при получении расчетных формул дебита или продуктивности горизонтальной скважины обычно используют замену исходной пространственной задачи решением двух плоских задач – течению к очень тонкой пластине в горизонтальной области и притоку к точечному стоку в вертикальной области. При описании течения к точечному стоку в полосе наибольшая точность достигается при учете влияния непроницаемых кровли и подошвы по сравнению с радиальным потоком. Поток к горизонтальной скважине имеет наибольшее значение на концах ствола и минимальное в середине.

Известно, что использование горизонтальных скважин эффективно в пластах небольшой толщины. В связи с этим важно найти оптимальное решение при выборе профиля забоя в процессе заканчивания скважины. Одним из путей решения является предположение, что бурящаяся скважина имеет фиксированную длину забоя, ствол которого может быть вертикальным, горизонтальным или наклонно-направленным.

Современным направлением формирования оптимальной системы разработки и повышения производительности малодебитных скважин в сложнопостроенных залежах на поздней стадии их разработки является строительство пологих, горизонтальных и разветвленных скважин. Большое влияние на результат оказывает эффективность проектирования профиля, которая обеспечивает эксплуатационную надежность добывающих

скважин. Согласование проектной траектории ствола скважин с естественными особенностями геологического строения продуктивного коллектора, в частности, с анизотропией пласта по проницаемости, может существенным образом расширить возможности регулирования процессов извлечения нефти.

За рубежом аналогичные исследования направлены на создание цифровых моделей, учитывающих влияние перфорации, гидравлических сопротивлений и профиля ствола скважины и т.д. Ввиду большой сложности этих моделей, авторы данной работы решают задачу программно-информационного обеспечения расчетов показателей разработки нефтегазовых месторождений с горизонтальными скважинами.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность Ивановой В.А., Григорьевой Е.Н., Широковой А.С., Махт О.А., Тулубаевой А.А., Лобанову Н. Ю. за оказанную помощь при подготовке к изданию данной книги.