

А.А. Михайловский

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ  
ОБЪЕМОВ ГАЗА  
В ПЛАСТАХ-КОЛЛЕКТОРАХ ПХГ**



Открытое акционерное общество «Газпром»  
Общество с ограниченной ответственностью  
«Научно-исследовательский институт природных газов  
и газовых технологий – «Газпром ВНИИГАЗ»

**А.А. Михайловский**

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОБЪЕМОВ ГАЗА  
В ПЛАСТАХ-КОЛЛЕКТОРАХ ПХГ**

Москва 2013

УДК 622.691.24

**Михайловский А.А. Аналитический контроль объемов газа в пластах-коллекторах ПХГ / А.А. Михайловский. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2013. – 250 с.**

Монография посвящена актуальной в теории и практике скважинной разработки газовых залежей проблеме – аналитическому контролю объемов газа в пластах-коллекторах применительно к специфическим условиям сооружения и циклической эксплуатации подземных хранилищ газа.

Изложены усовершенствованные модельные (объемный и гидродинамический), а также разработанные автором статистические (балансово-объемный и объемно-гидродинамический) методы.

Описаны виды и признаки пластовых потерь газа на подземных хранилищах, способы их оценки, списания и компенсации. Рассмотрен баланс активного и буферного газа в пластах-коллекторах подземных хранилищ.

Для специалистов в области мониторинга объемов и баланса газа в пластах-коллекторах подземных хранилищ, а также учащихся высших и средних специальных учебных заведений нефтегазового профиля.

ISBN 978-5-89754-079-2

© Михайловский А.А.

© ООО «Газпром

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	5
<b>Глава 1</b>	
<b>Активный и буферный газ ПХГ</b> .....	6
<b>Глава 2</b>	
<b>Этапы функционирования ПХГ</b> .....	9
<b>Глава 3</b>	
<b>Периоды существования искусственной газовой залежи ПХГ</b> .....	13
<b>Глава 4</b>	
<b>Основные проектные и фактические технологические показатели функционирования ПХГ по объему газа в пласте</b> .....	17
<b>Глава 5</b>	
<b>Технологические требования к объемам газа в пласте на конец сезонов закачки и отбора газа</b> .....	21
<b>Глава 6</b>	
<b>Методы аналитического контроля объемов газа в пласте ПХГ</b> .....	23
<b>Глава 7</b>	
<b>Цели и задачи методов контроля объемов газа в пласте на основе геологической и гидродинамических моделей</b> .....	25
<b>Глава 8</b>	
<b>Объемный метод контроля объемов газа в пласте</b> .....	26
8.1. Определение объема газа в пласте на основе детальной геологической модели .....	26
8.1.1. Метод определения объема газа в пласте с использованием сеточной цифровой геологической модели .....	26
8.1.2. Пример определения объема газа в пласте с использованием сеточной цифровой геологической модели .....	28
8.2. Дифференциация объемов газа в пласте на конец сезонов закачки и отбора по пластовым составляющим .....	30

8.3. Факторы, влияющие на точность определения объема газа в пласте объемным методом. Расчетный разбаланс объема газа в пласте	38
8.4. Приближенные объемные методы оценки составляющих объемов газа в пласте	43
8.4.1. Методы оценки объема свободного газа в газовой залежи, защемленного газа в обводненной и дисперсного газа в переходной, слабогазонасыщенной области пласта	43
8.4.1.1. Метод осредненных подсчетных параметров	43
8.4.1.2. Метод удельных объемов скважин	45
8.4.2. Метод оценки объема газа, адсорбированного горной породой	45
8.4.3. Метод оценки объема растворенного газа в остаточной воде	52
8.4.4. Метод оценки объема растворенного газа, диффундированного в приконтактную водоносную область пласта	53

## Глава 9

<b>Гидродинамическое моделирование пластов ПХГ</b>	56
9.1. Систематизация гидродинамических моделей пластов ПХГ	56
9.1.1. Полнота описания в гидродинамических моделях физических процессов, происходящих в пласте	56
9.1.2. Динамико-кинематическая схематизация фильтрационных потоков. Размерность гидродинамической модели. Система координатных осей	59
9.1.3. Пространственная дискретизация пласта. Цифровая фильтрационная модель пласта	59
9.2. Разновидности гидродинамических моделей пластов ПХГ	62
9.2.1. Балансовая OD модель газовой залежи	62
9.2.1.1. Балансовая OD( <i>G</i> ) модель газовой залежи при газовом режиме	63
9.2.1.2. Простая балансовая OD( <i>W</i> ) модель газовой залежи при водонапорном режиме	64
9.2.2. Модификации балансовой ODm модели газовой залежи	67
9.2.2.1. Общая характеристика модификаций балансовой модели газовой залежи	67
9.2.2.2. Модель двухобъемного дренирования газовой залежи при газовом и водонапорном режимах ODm(2Ω)	71
9.2.2.3. Модель зонального дренирования газовой залежи при газовом и водонапорном режимах ODm( <i>P<sub>n</sub></i> )	72
9.2.2.4. Модель зональной газонасыщенности пласта при водонапорном режиме ODm( <i>S<sub>n</sub></i> )	74
9.2.3. Краткое описание многомерных гидродинамических моделей пластов	76
9.2.4. Аналитические модели водоносной области пласта	80

9.3. Принципы гидродинамического моделирования пластов ПХГ .....	83
9.3.1. Соответствие физической, геометрической и динамико-кинематической моделей задаче исследования .....	84
9.3.2. Соответствие модели сложности геологического строения пласта и объему достоверных исходных данных .....	85
9.3.3. Объединение (комплексирование) разных по сложности моделей отдельных областей пласта в его полномасштабной модели .....	86
9.3.4. Контроль правильности результатов расчетов с использованием разных по сложности моделей .....	86
9.4. Долевое использование разных по сложности гидродинамических моделей пластов на разных этапах функционирования ПХГ .....	87
9.5. Критерии адаптации гидродинамических моделей пласта по фактическим данным изменения пластового давления и продвижения воды .....	89
9.6. Условность идентифицированных параметров цифровых фильтрационных моделей неоднородного пласта относительно темпов и систем разработки месторождения, закачки и отбора газа на ПХГ .....	92
<b>Глава 10</b>	
<b>Исследование объемов газа в пласте при циклических закачках и отборах газа в условиях водонапорного режима на подробной осесимметричной профильной 2D(<i>r, z</i>) модели .....</b>	<b>94</b>
10.1. Гистерезис относительных фазовых проницаемостей и капиллярного давления. Закономерности многократно чередующегося вытеснения газа и воды в гидрофильных пористых средах .....	94
10.2. Расчетная гидродинамическая модель неустановившейся двухфазной фильтрации газа и воды .....	99
10.2.1. Основные допущения .....	99
10.2.2. Основные расчетные формулы .....	101
10.3. Эффект гистерезиса фазовой газопроницаемости при многократно чередующемся вытеснении газа и воды в гидрофильных пористых пластах ....	107
10.4. Исследование стабилизации и установившейся циклической эксплуатации газовых залежей ПХГ при водонапорном режиме с использованием расчетной гидродинамической модели пласта .....	111
10.4.1. Исследование зависимости среднего пластового давления в зоне скважин от объема закачанного газа в пласте .....	111
10.4.2. Влияние системы размещения эксплуатационных скважин на установившуюся циклическую эксплуатацию газовых залежей ПХГ .....	114
10.4.3. Исследование изменения газонасыщенного порового объема в процессе установившейся циклической эксплуатации газовых залежей ПХГ .....	116



- 10.4.4. Некорректность оценки объемов газа в пласте при водонапорном режиме методом касательных к графикам изменения среднего давления (плотности газа) в зоне скважин от объема закачанного газа . . . . . 119

## Глава 11

<b>Гидродинамический метод контроля объемов газа в пласте ПХГ . . . . .</b>	<b>126</b>
11.1. Методы определения аккумулируемых/дренируемых объемов газа в пласте по изменению средневзвешенного пластового давления на основе балансовых моделей . . . . .	126
11.1.1. Метод удельных объемов аккумулирования/дренирования скважин ПХГ . . . . .	126
11.1.2. Метод подъема/падения средневзвешенного пластового давления в газовой залежи ПХГ при газовом режиме. Графическая интерпретация метода . . . . .	128
11.1.3. Метод подъема/падения средневзвешенного пластового давления в газовой залежи ПХГ при водонапорном режиме . . . . .	132
11.1.3.1. Особенности применения метода подъема/падения средневзвешенного пластового давления в газовой залежи ПХГ при водонапорном режиме . . . . .	132
11.1.3.2. Методика определения аккумулируемых/дренируемых объемов газа по данным подъема/падения средневзвешенного пластового давления при водонапорном режиме в сезонах закачки и отбора газа . . . . .	133
11.1.3.3. Пример определения дренируемых объемов газа по падению в сезоне отбора средневзвешенного пластового давления в газовой залежи ПХГ с учетом вторжения пластовой воды . . . . .	137
11.2. Проблема определения средневзвешенного пластового давления и объема оттесненной/вторгшейся пластовой воды в газовой залежи ПХГ . . . . .	142
11.2.1. Особенности определяемых на ПХГ значений пластового давления в газовых скважинах, вскрывающих неоднородные пласты . . . . .	143
11.2.1.1. Восстановление забойных давлений в газовых скважинах, вскрывающих слоисто-неоднородные пласты . . . . .	143
11.2.1.2. Восстановление забойных давлений в газовых скважинах, вскрывающих зональнонеоднородные пласты . . . . .	148
11.2.1.3. Использование не полностью восстановленных забойных давлений в газовых скважинах, вскрывающих неоднородные пласты, для определения в них объемов газа . . . . .	150
11.2.2. Способы определения среднего пластового давления в газовой залежи по промысловым данным . . . . .	152
11.2.2.1. Способ определения среднего пластового давления по удельным объемам дренирования скважин . . . . .	152
11.2.2.2. Способ определения среднего пластового давления по дебитам скважин . . . . .	152

11.2.2.3. Способ определения среднего пластового давления как среднеарифметического по замерам пластового давления в скважинах .....	153
11.2.2.4. Способ определения среднего пластового давления по картам изобар .....	153
11.3. Оценка аккумулируемых/дренируемых объемов газа по многолетним промысловым данным с использованием балансовой $OD(G)$ модели газовой залежи при газовом режиме .....	154
11.3.1. Годограф приведенного среднего пластового давления при циклической эксплуатации газовой залежи ПХГ в условиях газового режима .....	154
11.3.2. Диагностирование объемов газа в пласте по годографу приведенного среднего пластового давления в газовой залежи ПХГ при газовом режиме .....	156
11.4. Оценка аккумулируемых/дренируемых объемов газа по многолетним промысловым данным с использованием простой балансовой $OD(W)$ модели газовой залежи при водонапорном режиме .....	161
11.4.1. Диагностирование объемов газа в пласте ПХГ по годографу приведенного среднего пластового давления при водонапорном режиме .....	161
11.4.2. Оценка аккумулируемых/дренируемых объемов газа с использованием простой балансовой $OD(W)$ модели газовой залежи при водонапорном режиме .....	164
11.5. Определение аккумулируемых/дренируемых объемов газа по промысловым данным с использованием модификаций балансовой модели газовой залежи .....	166
11.5.1. Определение аккумулируемых/дренируемых объемов газа с использованием $ODm(2W)$ модели двухобъемного дренирования газовой залежи .....	166
11.5.2. Определение аккумулируемых/дренируемых объемов газа с использованием $ODm(P_n)$ модели зонального дренирования газовой залежи .....	168
11.5.3. Определение аккумулируемых/дренируемых объемов газа с использованием $ODm(S_n)$ модели зональной газонасыщенности пласта при водонапорном режиме .....	170
11.6. Определение аккумулируемых/дренируемых объемов газа по картам изобар с использованием двухмерной площадной $2D(x, y)$ гидродинамической модели пласта при газовом режиме .....	172

## Глава 12

<b>Статистические методы аналитического контроля объемов газа в пласте.</b> .....	179
12.1. Цели и задачи статистических методов аналитического контроля объемов газа в пласте и способы их решения .....	179



12.2. Балансово-объемный метод контроля объемов газа в пласте на конец сезонов закачки и отбора газа .....	182
12.2.1. Описание балансово-объемного метода контроля объемов газа в пласте .....	182
12.2.2. Корректирование объемов газа в пласте на конец сезона закачки с использованием балансово-объемного метода контроля .....	184
12.2.3. Корректирование объемов газа в пласте на конец сезона отбора с использованием балансово-объемного метода контроля .....	187
12.3. Объемно-гидродинамический метод контроля объемов газа в пласте .....	191
12.3.1. Описание объемно-гидродинамического метода контроля объемов газа в пласте .....	191
12.3.2. Корректирование дренируемых частей объемов газа в пласте с использованием объемно-гидродинамического метода контроля .....	192
12.3.2.1. Корректирование дренируемой части объема газа в пласте на конец сезона закачки .....	193
12.3.2.2. Корректирование дренируемой части объема газа в пласте на конец сезона отбора .....	196
12.3.3. Корректирование аккумулируемых частей объемов газа в пласте с использованием объемно-гидродинамического метода контроля .....	198
12.3.3.1. Корректирование аккумулируемой части объема газа в пласте на конец сезона отбора .....	200
12.3.3.2. Корректирование аккумулируемой части объема газа в пласте на конец сезона закачки .....	202
12.4. Сводные результаты корректированных объемов газа в пласте на конец сезонов закачки и отбора .....	205
<b>Глава 13</b>	
<b>Пластовые потери газа на ПХГ.</b>	
<b>Виды и признаки пластовых потерь .....</b>	<b>211</b>
<b>Глава 14</b>	
<b>Способы оценки пластовых потерь газа на ПХГ .....</b>	<b>217</b>
<b>Глава 15</b>	
<b>Затраты закачиваемого в пласт буферного газа.</b>	
<b>Списание и компенсация пластовых потерь газа .....</b>	<b>221</b>
<b>Глава 16</b>	
<b>Баланс активного и буферного газа в пласте ПХГ .....</b>	<b>225</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>231</b>