На правах рукописи

Воронов Святослав Андреевич

Методы прогнозирования и регулирования эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ с единой водонапорной системой

Специальность: 25.00.17 – Разработка и эксплуатация

нефтяных и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва - 2013

Работа выполнена в Обществе с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

|  |  |
| --- | --- |
| **Научный руководитель -** | Михайловский Александр Артемович, доктор технических наук. |
| **Официальные оппоненты:** | Гужов Николай Александрович, доктор технических наук, главный научный сотрудник Центра разработки и эксплуатации газовых и нефтегазовых месторождений ООО «Газпром ВНИИГАЗ»; |
|  | Енгибарян Аркадий Арменович, кандидат геолого-минералогических наук, начальник Управления геологии ООО «Газпром ПХГ». |

**Ведущая организация -** ОАО «Газпром промгаз».

Защита состоится « » декабря 2013 г. в час. мин. на заседании диссертационного совета Д 511.001.01 созданного на базе ООО «Газпром ВНИИГАЗ», по адресу: Ленинский район, Московская область, п. Развилка, 142717.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Автореферат разослан « » ноября 2013 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

доктор геолого-минералогических наук Николай Николаевич Соловьев

**Общая характеристика работы**

***Актуальность темы***

В ряде случаев водоносные пласты-коллекторы (пласты), используемые для подземного хранения газа, осложнены несколькими структурными поднятиями (куполами). При сооружении многозалежных ПХГ в таких куполах происходит газогидродинамическое взаимодействие искусственных газовых залежей, которое оказывает существенное влияние на формирование и основные технологические показатели их циклической эксплуатации.

Существующие методы расчета однозалежных ПХГ не позволяют учесть особенности эксплуатации гидродинамически взаимосвязанных залежей в многокупольном водоносном пласте. В разработанных методах расчета многозалежных ПХГ учитывается только возможность газодинамического взаимодействия газовых залежей (межкупольные перетоки газа). Условия и характер гидродинамического взаимодействия газовых залежей по водоносной части пласта при их разновременном вводе в эксплуатацию и асинхронных закачках и отборах газа до настоящего времени не изучались.

Поэтому разработка методов прогнозирования и регулирования создания и циклической эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ с единой водонапорной системой является актуальной темой исследований.

***Целью работы*** является разработка методов прогнозирования и регулирования процессов создания и циклической эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ с единой водонапорной системой для повышения эффективности его работы.

***Основные задачи исследований***

1. Изучение основных гидродинамических проблем создания и циклической эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ с единой водонапорной системой.
2. Анализ существующих методов и разработка модифицированной балансовой модели гидродинамического расчета основных технологических показателей создания и циклической эксплуатации взаимодействующих газовых залежей ПХГ в многокупольном водоносном пласте.
3. Параметрические исследования влияния структурных и гидродинамических характеристик многокупольного водоносного пласта, режимов закачки и отбора газа на основные технологические показатели многозалежных ПХГ с единой водонапорной системой.
4. Разработка способа регулирования динамики газовых объемов залежей в структурных ловушках водоносного пласта с учетом проведенных исследований влияния систем размещения эксплуатационных скважин на распределение давления и газонасыщенности в пласте.

***Научная новизна***

Разработан комплекс методов гидродинамического расчета создания и циклической эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ в многокупольном водоносном пласте, позволяющий учесть гидродинамическое взаимовлияние газовых залежей, созданных в единой водонапорной системе, переменную газонасыщенность по зонам газоносности пласта в районе каждого купола и разнодренируемые области залежей.

Впервые изучено влияние определяющих структурных и гидродинамических факторов: расстояния между куполами, гидропроводности, размеров и граничных условий водоносного пласта, на технологические показатели работы многозалежных ПХГ с единой водонапорной системой. Результаты исследований позволяют совершенствовать методические основы технологического проектирования разведывательно-промышленной закачки и циклической эксплуатации многозалежных ПХГ с единой водонапорной системой.

Создана методика определения очередности и темпов заполнения ловушек газом многокупольного водоносного пласта с учетом геолого-технологических ограничений по максимально допустимому давлению разрыва покрышки, размерам газовых залежей в пределах ограниченных ловушек, условиям многолетней стабильной циклической эксплуатации залежей, позволяющая повышать эффективность сооружения и циклической эксплуатации многозалежных ПХГ.

Впервые проведены исследования влияния систем размещения эксплуатационных скважин и зонального распределения фильтрационно-емкостных свойств пласта (ФЕС) на динамику ГВК и пластового давления в газовых залежах многокупольного водоносного пласта ПХГ.

Разработан способ регулирования динамики газовых объемов в многокупольных водоносных пластах, позволяющий формировать компактные газовые залежи с максимальным коэффициентом газонасыщенности в пределах куполов путем распределения объемов и изменения темпов закачки и отбора газа по группам эксплуатационных скважин, расположенным в различных частях структурных ловушек, с учетом взаимовлияния залежей и зонального распределения ФЕС пласта.

***Защищаемые положения***

1. Комплекс методов расчета создания и циклической эксплуатации гидродинамически взаимосвязанных газовых залежей ПХГ в многокупольном водоносном пласте.
2. Методика определения очередности и темпов заполнения структурных ловушек, а также технологических режимов закачки и отбора газа на многозалежных ПХГ с единой водонапорной системой.
3. Способ регулирования динамики газовых объемов в структурных ловушках водоносного пласта, заключающийся в распределении темпов и объемов закачки и отбора газа по группам эксплуатационных скважин, расположенным в различных частях структурных ловушек.

***Практическая ценность***

Созданные методы прогнозирования и регулирования процессов создания и циклической эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ с единой водонапорной системой использованы при разработке технологических схем и проектов, составлении технологических режимов закачки и отбора газа на подземных хранилищах газа Российской Федерации (Карашурское, Невское, Гатчинское, Калужское, Краснодарское), Республики Беларусь (Прибугское, Осиповичское), Казахстана (Полторацкое), Голландии (Бергермеер).

Разработанные математические модели, составленные алгоритмы и компьютерные программы, позволяющие осуществлять достоверный гидродинамический прогноз и эффективное регулирование циклической эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ в многокупольном водоносном пласте, использованы при составлении технологического проекта Удмуртского Резервирующего Комплекса ПХГ, включающего Карашурское, Горюновское, Новотроицкое, Чежебашевское и Гардашурское поднятия.

Результаты выполненных параметрических исследований влияния структурных и гидродинамических характеристик многокупольного водоносного пласта использованы при подготовке проекта Федеральных норм и «Правил безопасности на подземных хранилищах газа».

Результаты диссертационной работы использованы при разработке СТО Газпром 2-3.5-442-2010 «Порядок создания подземных хранилищ газа», СТО Газпром 2-3.5-348-2009 «Порядок работ по авторскому надзору за созданием и эксплуатацией подземных хранилищ газа в пористых пластах», СТО Газпром 2-3.5-391-2011 «Технологическое проектирование подземных хранилищ газа. Исходные данные», СТО Газпром 056-2009 «Основные положения по расчету и управлению резервами газа на подземных хранилищах».

***Апробация работы***

Основные результаты выполненных исследований докладывались и обсуждались на отраслевых и международных конференциях, научных семинарах, производственных научно-технических советах, среди которых:

- Международная конференция «Экологическая безопасность в газовой промышленности» (ESGI 2009), 2009, Москва;

- Восьмая Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная 80-летию РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2010, Москва;

- Вторая Международная научно-практическая конференция «Мировые ресурсы и запасы газа и перспективные технологии их освоения», 2010, Москва;

- Третья Международная научно-техническая конференция «ПХГ: Надежность и эффективность» (UGS-2011), 2011, Москва;

- Девятая Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов “Новые технологии в газовой промышленности” (газ, нефть, энергетика), 2011, Москва;

- Третья научно-практическая молодежная конференция «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность», 2011, Москва;

- НТС молодых ученых и специалистов ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2012, 2013, Москва;

- Пятая Международная молодежная научно-практическая конференция «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность», 2013, Москва;

- Десятая Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов "Новые технологии в газовой промышленности" (газ, нефть, энергетика), 2013, Москва.

***Публикации***

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 25 статьях, в том числе 6 статьях в изданиях, включенных в "Перечень..." ВАК Минобрнауки РФ. Соискателю выдано 3 свидетельства, зарегистрированные в установленном порядке на программы для ЭВМ.

***Структура и объем диссертации***

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников из 60 наименований. Общий объем работы составляет 124 печатные страницы. Текст работы содержит 41 рисунок и 6 таблиц.

***Содержание работы***

***Во введении***  обоснована актуальность темы исследований, определена цель работы, поставлены задачи исследований, дана научная новизна, сформулированы защищаемые положения, показана практическая ценность, приведены сведения о внедрении результатов исследований и апробации работы.

Большой вклад в изучение проблемы эксплуатации взаимодействующих залежей внесли М.Т. Абасов, Н.К. Байбаков, К.С. Басниев, И.М. Бекетов, С.Н. Бузинов, С.А. Варягов, Ю.Н. Васильев, И.Г. Войцицкий, С.С. Гацулаев, П.А. Гереш, А.В. Григорьев, А.А. Енгибарян, С.Н. Закиров, Г.А. Зотов, А.П. Зубарев, Ю.П. Коротаев, Б.Б. Лапук, Е.В. Левыкин, В.М. Максимов, М.М. Максимов, Е.М. Минский, А.А. Михайловский, Г.В. Рассохин, Р.В. Сенюков, Ф.А. Требин, Ю.М. Фриман, С.А. Хан, А.Л. Хейн, И.А. Чарный, Е.В. Шеберстов, А.И. Ширковский, В.Н. Щелкачев и другие.

***Первая глава*** посвящена изучению основных гидродинамических проблем создания и циклической эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ с единой водонапорной системой.

Анализ работы ПХГ в многокупольных пластах-коллекторах показал, что в процессе создания и циклической эксплуатации искусственных газовых залежей с единой водонапорной системой может наблюдаться их активное газогидродинамическое взаимодействие.

Это приводит к тому, что при синхронных закачках и отборах газа в залежах происходит интенсивное повышение и снижение пластового давления в соответствующих сезонах, а так же продвижение ГВК в направлении областей повышенного напора при отборах и пониженного при закачке газа.

Так, в созданной Карашурской залежи Удмуртского Резервирующего Комплекса ПХГ, при амплитуде изменения пластового давления порядка 4 МПа относительно начального гидростатического значения, амплитуда изменения давления в Горюновском куполе составляет порядка 2 МПа.

В работах С.Н. Закирова, Б.Б. Лапука и П.А. Гереш выявлен ряд признаков, позволяющий определять наличие газогидродинамической связи между залежами ПХГ:

- тенденция к выравниванию пластовых давлений близкорасположенных залежей и одинаковый характер изменения статического давления по скважинам в залежах при различной производительности закачек и отборов газа;

- изменение пластового давления по наблюдательным скважинам не эксплуатируемых залежей ПХГ;

- более интенсивное падение давления по залежам, или ее отдельным участкам, не соответствующее величинам отбора газа.

Активное взаимодействие газовых залежей, созданных в единой водонапорной системе, обуславливает следующие основные проблемы и риски сооружения и циклической эксплуатации ПХГ:

В процессе закачки газа

- необходимость повышения давления нагнетания газа;

- опасность увеличения пластового давления в зоне расположения эксплуатационных скважин выше максимально допустимой величины, исходя из прочностных свойств покрышки и нарушения её герметичности;

- всплывание и растекание газа по прикровельной части пласта в направлении областей пониженного напора, опасность его ухода за замыкающую изогипсу и пластовых потерь;

В процессе отбора газа

- усиление избирательного продвижения и темпа обводнения отдельных участков залежей, приводящее к росту водного фактора по эксплуатационным скважинам ПХГ;

- значительное снижение пластового давления, которое вызывает уменьшение производительности эксплуатационных скважин и хранилища в целом;

- для устойчивой работы системы сбора и подготовки скважинной продукции в жестких ограничениях по минимальному давлению на входе в систему магистральных газопроводов необходим компрессорный отбор газа;

- межкупольные прорывы газа при значительных перепадах давления между взаимодействующими залежами в водоносном пласте.

Учет основных особенностей и проблем, возникающих при активном взаимодействии газовых залежей ПХГ, созданных в единой водонапорной системе, позволяет разрабатывать наиболее эффективные алгоритмы и методики для расчета прогнозирования и регулирования создания и циклической эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ с единой водонапорной системой.

***Во второй главе*** проведенанализ существующих методов и разработана модифицированная балансовая модель гидродинамического расчета основных технологических показателей создания и циклической эксплуатации взаимодействующих газовых залежей ПХГ в многокупольном водоносном пласте.

До настоящего времени в расчетах процессов создания и циклической эксплуатации многозалежных ПХГ учитывалась только возможность газодинамического взаимодействия газовых залежей. Геологические, гидродинамические, технологические условия и характер взаимодействия газовых залежей (по водоносной части пласта) до настоящего времени не изучались. Каждая залежь и водоносный пласт рассматривались как самостоятельная гидродинамическая система. В уравнении материального баланса при водонапорном режиме общее количество вторгающейся оттесняемой пластовой воды определялось перепадом давления между невозмущенной зоной водоносного пласта и газовой залежью.

В существующих методах для расчета давления на опорном контуре Pk,в качестве которого принимается замыкающая изогипса, в момент времени t, используется следующее соотношение (1):

, (1)

где Pk(0), Pk(t) - начальное и текущее давление на опорном контуре, в качестве которого принимается замыкающая изогипса, qw – объем воды поступивший или оттесненной из залежи; F( - функция влияния водоносного пласта.

В диссертации, основываясь на проведенных исследованиях, разработан метод, позволяющий учитывать гидродинамическое взаимодействие эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ в многокупольном водоносном пласте. Согласно этому методу, при расчете давления на опорном контуре Pk по формуле (1) предлагается учитывать работу взаимовлияющих залежей ПХГ в соответствии с формулой (2):

, (2)

где Fij – функция взаимовлияния залежей, - переток воды между взаимодействующими залежами.

В разработанной модифицированной балансовой модели детализация уравнения материального баланса газа в целом для газовой залежи проводится по следующим основным направлениям. В первом направлении рассматривается изменение средней газонасыщенности по укрупненным зонам газоносности. Второе направление связано с учетом общих депрессионных и репрессионных воронок давления в газовой части пласта, образующихся в результате неравномерности аккумулирования/дренирования укрупненных участков неоднородного пласта (зон, прослоев, блоков) или зоны расположения эксплуатационных скважин.

Для учета переменной газонасыщенности по зонам газоносности пласта в модели в районе каждого купола выделяются III зоны с разным уровнем газонасыщенности. Первая зона - осушенная зона. Она образуется вследствие неполного вытеснения воды газом. Принимается, что средний коэффициент газонасыщения постоянный и равен максимально возможной газонасыщенности пласта-коллектора. Вторая зона - обводненная зона. Это зона, которая образуется вследствие неполного вытеснения газа водой. Средний коэффициент газонасыщенности принимается постоянным и равным остаточной газонасыщенности. Третья зона – чисто водоносная. Это зона, в которой газонасыщенность равна нулю.

Для учета общих репрессионных и депрессионных воронок давления в газовой части пласта, в связи с особенностью расположения скважин на ПХГ, образующихся в результате неравномерности дренирования различных участков залежи, в первой зоне выделяется область концентрированного расположения эксплуатационных скважин. Таким образом, первая зона разделяется на зону расположения скважин и периферийную зону газовой залежи.

В работе показано, что ошибки в прогнозировании максимального и минимального пластового давления без учета взаимовлияния гидродинамически взаимосвязанных газовых залежей ПХГ, в многокупольном водоносном пласте могут составлять десятки атмосфер.

Установлено, что в условиях активной водоносной системы для обеспечения работы залежей ПХГ с максимальным пластовым давлением необходим меньший объем буферного газа.

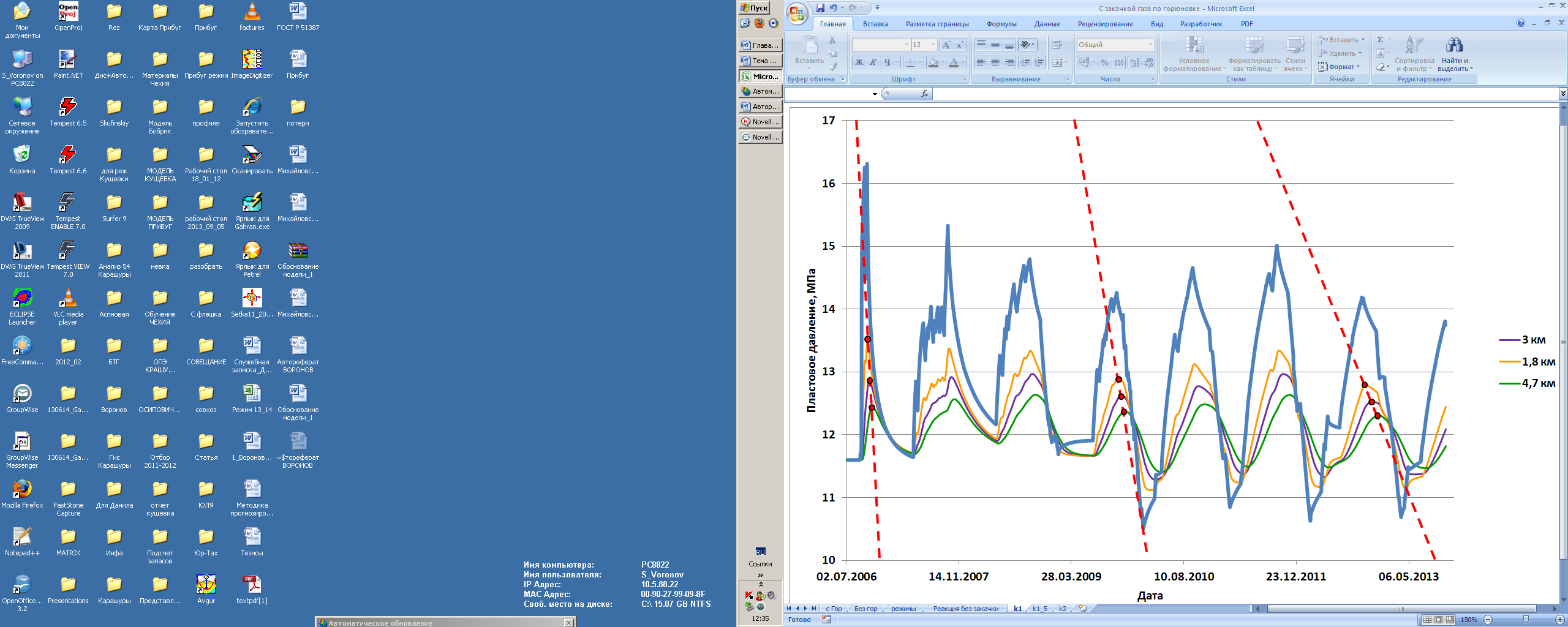
В работе показано, что при одновременном создании нескольких залежей происходит интенсивное увеличение в период закачки и снижение в период отбора газа пластового давления.

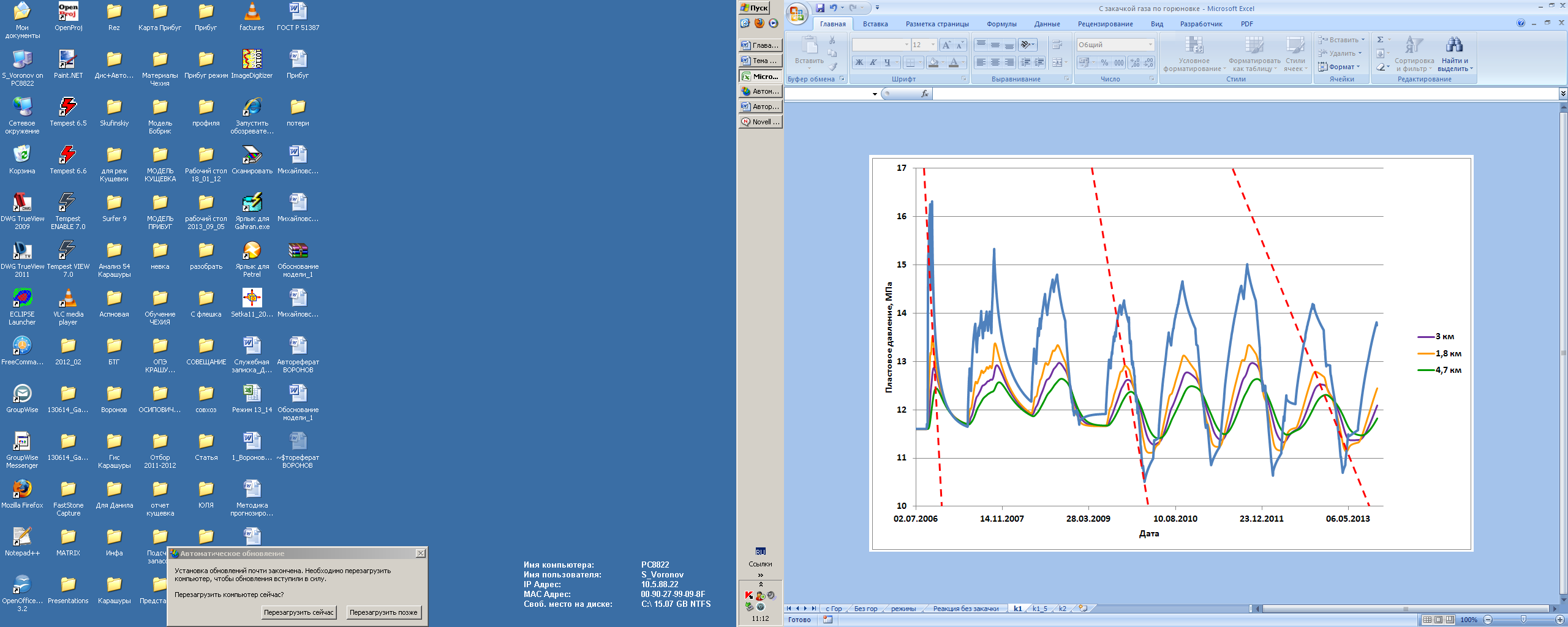
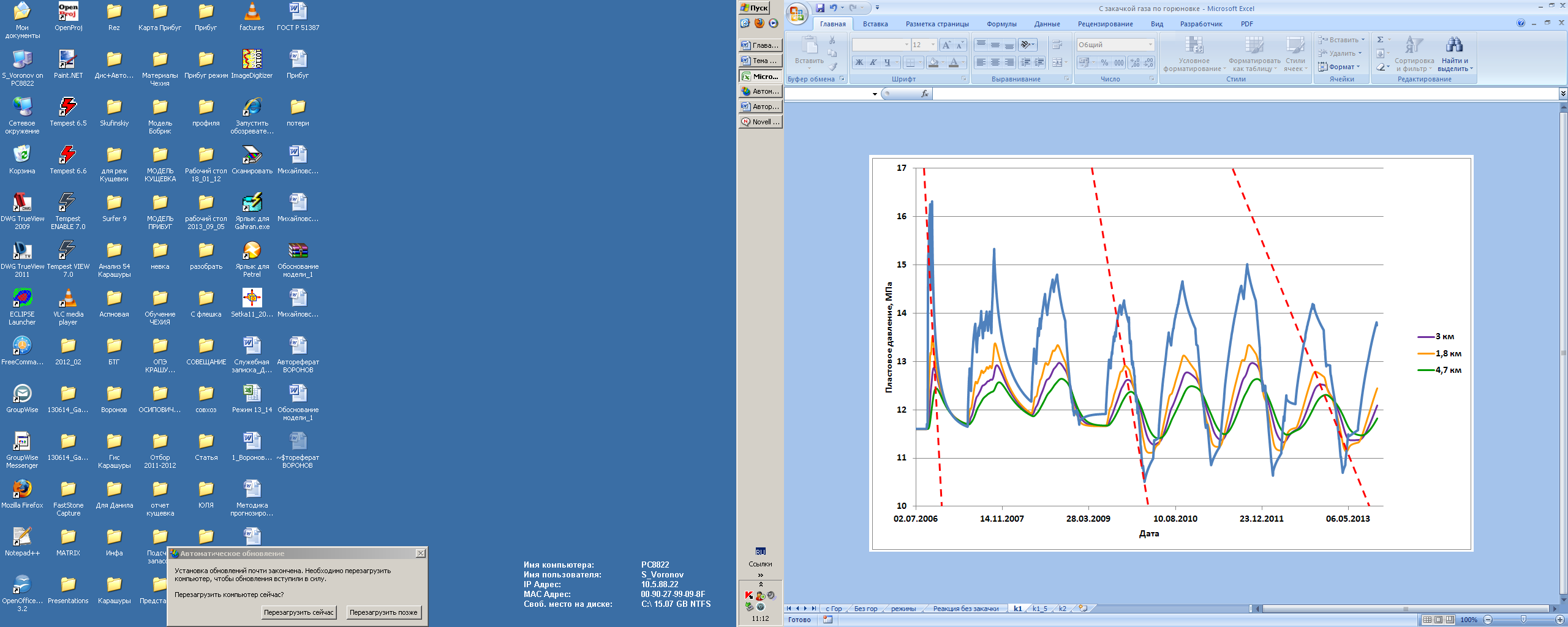
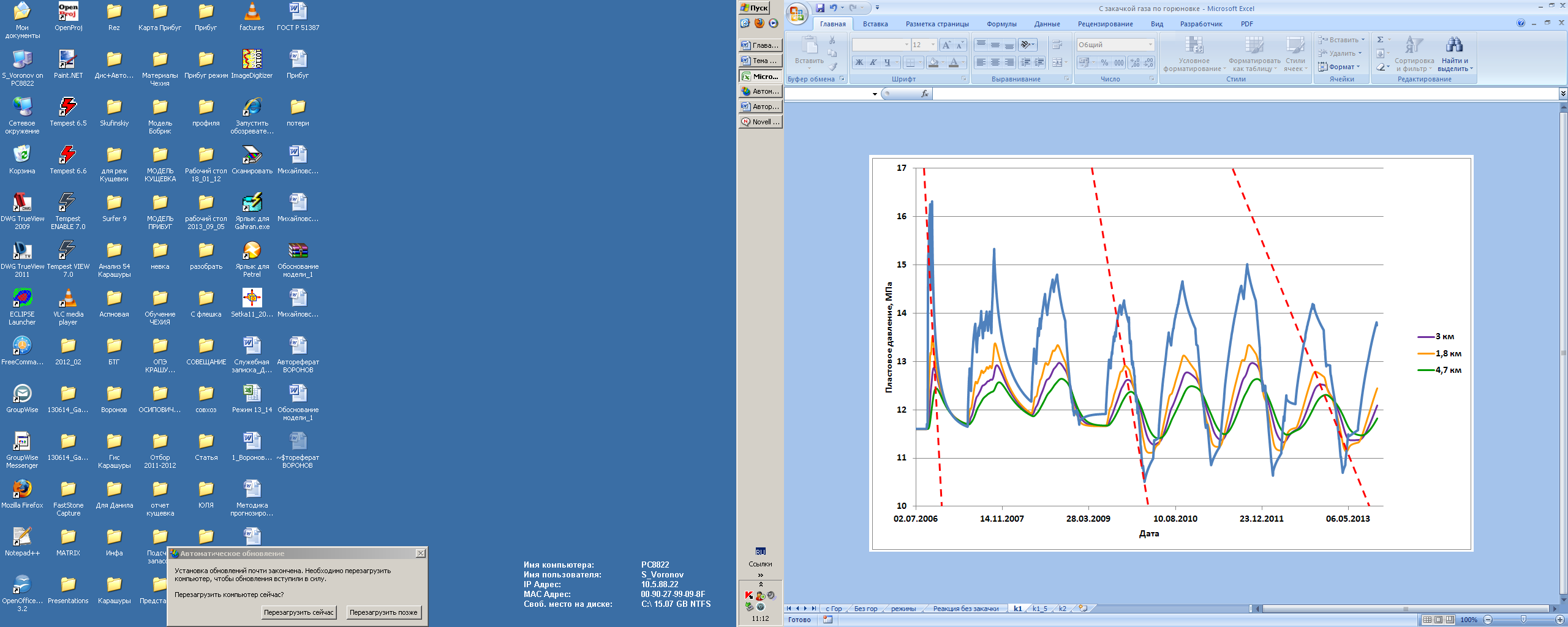
Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается сравнением с результатами ряда опубликованных работ, включая как теоретические, так и экспериментальные исследования, использованием численных методов, хорошо обоснованных математически и апробированных на широком классе задач, а так же сопоставлением результатов расчетов реальных объектов с фактическими данными.

***В третьей главе*** представлены результаты параметрических исследований влияния структурных и гидродинамических характеристик многокупольного водоносного пласта, режимов закачки и отбора газа на основные технологические показатели многозалежных ПХГ с единой водонапорной системой.

В работе показано, что после выхода одной из залежей ПХГ на циклическую эксплуатацию, процесс стабилизации пластового давления в водоносном пласте в целом может продолжаться до 10-15 лет, в зависимости от ФЕС и граничных условий водоносного пласта.

Установлено, что динамика пластового давления и время реакции взаимодействующих залежей ПХГ на закачку и отбор газа зависят от расстояния между куполами многозалежных ПХГ. В процессе выхода ПХГ на циклическую эксплуатацию происходит рост газонасыщенного порового объема (ГПО) и оттеснение пластовых вод на периферию, что приводит к снижению среднего давления в многозалежных ПХГ, увеличению времени реакции и уменьшению амплитуды пластового давления по залежам ПХГ (рисунок 1).

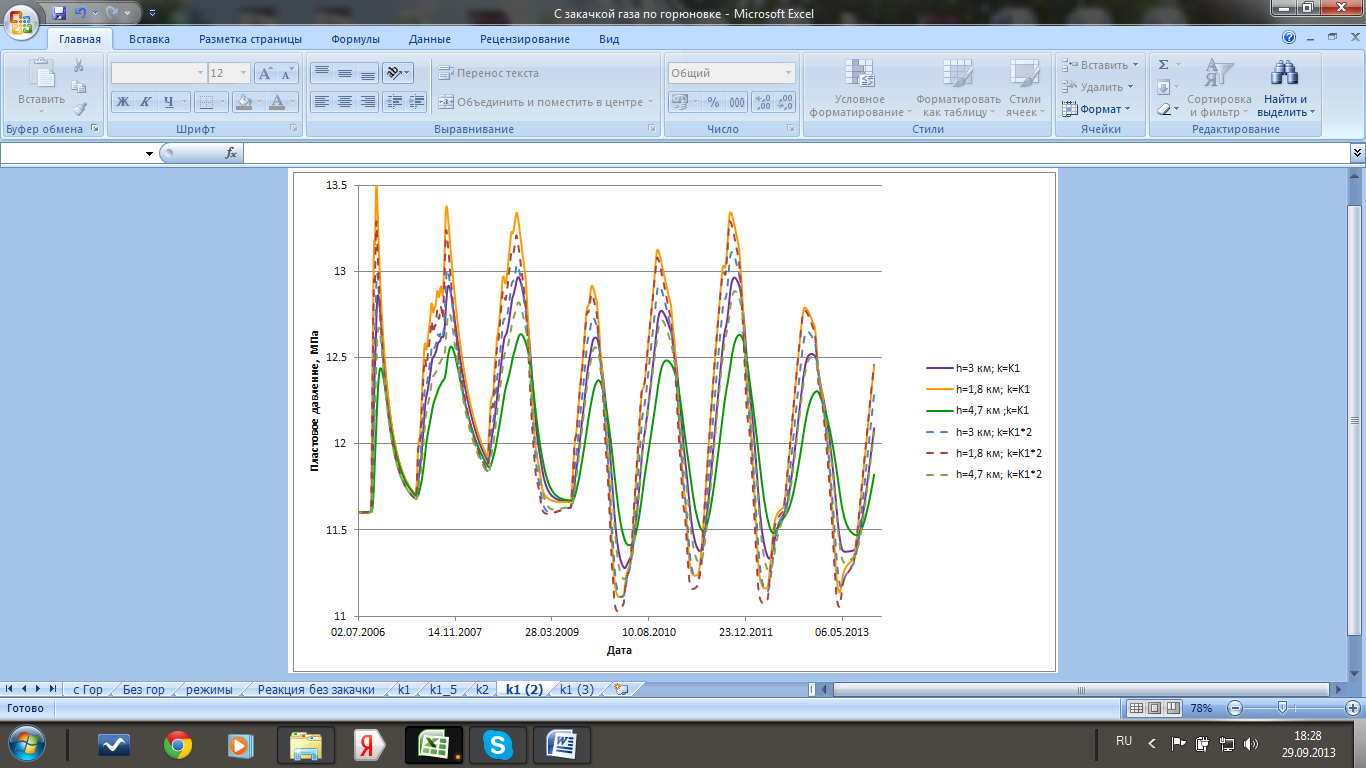
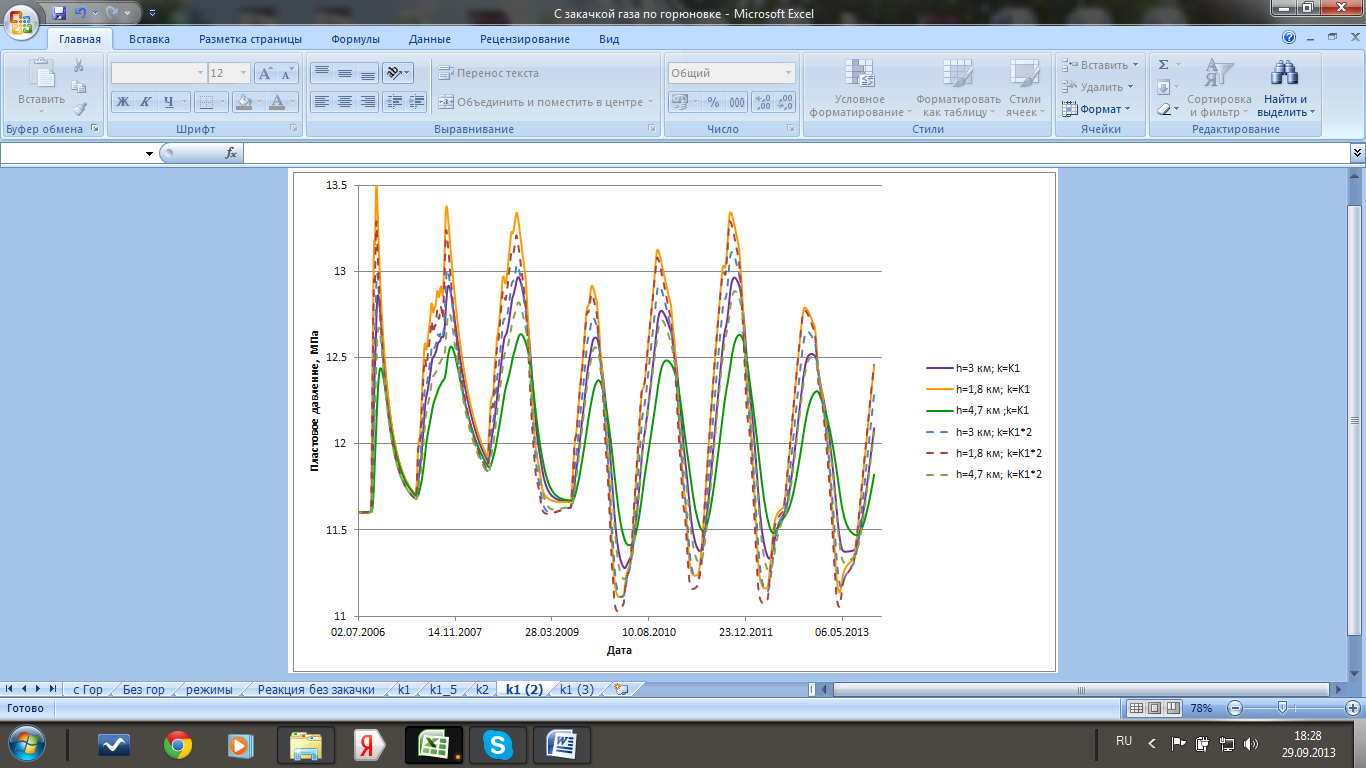
****

Расстояние между куполами ПХГ****

**Рисунок 1** – Динамика давления по гидродинамически связанным куполам многозалежных ПХГ.

Проведенный анализ показал, что при относительно малых расстояниях между куполами (соизмеримых с размерами куполов) многозалежных ПХГ изменение ФЕС пласта практически не оказывает влияние на динамику пластового давления, амплитуду и время реакции на закачку и отбор газа. При увеличении расстояния между взаимодействующими залежами ПХГ изменение ФЕС пласта оказывает значительное влияние на основные технологические показатели их работы: изменяется амплитуда давления и время реакции на закачку и отбор газа (рисунок 2).

Проведенный анализ влияния размеров и граничных условий водоносного пласта на технологические показатели работы многозалежных ПХГ с единой водонапорной системой показал, что при увеличении ФЕС и размеров водонапорного бассейна происходит снижение амплитуды давлений по взаимовлияющим залежам ПХГ. Интенсивное снижение реакции происходит по наиболее удаленным куполам, что связанно с расформированием репрессионных и депрессионных воронок вблизи куполов.

****

h - расстояние между залежами; k - гидропроводность водоносного пласта.

**Рисунок 2** - Динамика давления в залежах ПХГ при изменении ФЕС водоносного пласта.

Исследования показали, что на динамику пластового давления в залежах значительное влияние оказывает производительность и временной график закачки и отбора газа в купола многозалежных ПХГ.

Как показано в работе С.А. Воронова и С.Н. Бузинова: «Управление работой пласта при создании и эксплуатации ПХГ», для однокупольных ПХГ с целью повышения производительности при отборе нагрузки по темпам и объемам закачки газа смещают на конец сезона.

Такой подход сохраняется в многокупольных ПХГ для залежи, по которой есть необходимость повышения производительности при отборе. По остальным залежам ПХГ темпы и объемы закачки следует увеличивать в начале сезона. Это объясняется тем, что в начале сезона закачки газа, когда ГПО минимальный, рост пластового давления обуславливается, главным образом, темпом оттеснения пластовой воды. В конце сезона закачки, когда практически полностью сформирована газовая залежь и ГПО достигает максимальных значений, темпы изменения пластового давления определяются сжимаемостью газа.

Расчеты показали возможность снижения на 18-20% объемов буферного объема газа в одной из взаимодействующих залежей за счет изменения технологического режима закачки и отбора газа в ПХГ

В работе показано, что основным параметром, ограничивающим производительность и объемы закачки газа в залежи ПХГ в условиях их активного гидродинамического взаимодействия, является максимально допустимое давление разрыва покрышки. В однородном пласте достижение давления разрыва покрышки в близкорасположенных залежах ПХГ происходит при закачке меньших объемов газа по сравнению с удаленными залежами.

Учитывая это, при одновременном создании нескольких залежей ПХГ с целью закачки больших объемов газа и сокращения сроков их создания целесообразно использовать залежи с наименьшим гидродинамическим взаимодействием.

По результатам проведенных исследований разработана методика определения очередности и темпов заполнения ловушек газом многокупольного водоносного пласта, которая заключается в следующем:

1. Оценивается емкость ловушек многокупольного водоносного пласта с учетом коэффициентов их использования;
2. На основе гидродинамической модели, представленной во второй главе, определяется степень гидродинамического взаимодействия залежей ПХГ;
3. Устанавливается очередность закачки газа в купола, которая определяется степенью гидродинамического взаимодействия газовых залежей. В качестве первоочередных для закачки газа принимаются залежи с наименьшей степенью гидродинамического взаимодействия;
4. Рассчитываются темпы заполнения ловушек и сроки создания залежей ПХГ исходя из условия не превышения максимально допустимого давления разрыва покрышки;
5. Определяются максимально возможные объемы хранения газа по куполам и в целом по хранилищу.

Разработанная методика определения очередности и темпов заполнения структурных ловушек газом многозалежных ПХГ с единой водонапорной системой позволяет определять производительность закачек и отборов газа в зависимости от изменения газонасыщенного порового объема залежей, расстояния между куполами и фильтрационно-емкостных свойств водоносного пласта, а так же определять условия на начало создания залежей.

***Четвертая глава*** посвящена разработке способа регулирования динамики газовых объемов в структурных ловушках водоносного пласта с учетом проведенных исследований влияния систем размещения эксплуатационных скважин и зонального распределения ФЕС пласта на изменение давления и газонасыщенности в пласте.

В работе показано, что изменение положения эксплуатационных скважин позволяет регулировать динамику ГВК не только в условиях малоамплитудных, но и высокоамплитудных структурных ловушек.

Установлено, что одним из основных способов регулирования динамики газовых объемов в структурных ловушках водоносного пласта ПХГ при активной водонапорной системе является сводовое размещение эксплуатационных скважин. Такое размещение позволяет ограничивать растекание закачиваемого газа по прикровельной части пласта, обеспечивать повышенные газонасыщенные толщины в зоне расположения эксплуатационных скважин и снизить водный фактор при отборе газа.

Анализ результатов исследований влияния систем размещения эксплуатационных скважин на взаимодействующих залежах ПХГ показал следующее.

В условиях однородного высокопроницаемого (проницаемость 1-1,5 10-12 м2) пласта и активного взаимодействия залежей изменение расположения эксплуатационных скважин на какой либо одной структуре существенным образом влияет на динамику ГВК и пластового давления по остальным залежам ПХГ.

Сводовое расположение скважин на структурах позволяет наиболее компактно формировать залежи и снизить их ГПО в период циклической эксплуатации ПХГ (рисунок 3 базовый вариант).

Смещение положения эксплуатационных скважин в сторону взаимодействующих залежей (рисунок 3 вариант а) приводит к росту их ГПО и деформации контура ГВК в направлении областей повышенных и пониженных напоров.

Удаленное расположение эксплуатационных скважин (рисунок 3 вариант б) на структурах многозалежных ПХГ способствует росту ГПО и усилению растекания газа по кровле структуры в направлении областей пониженных напоров.

Сводовое расположение эксплуатационных скважин по взаимодействующим куполам обеспечивает снижение пластового давления в зоне их расположения. Такой способ регулирования позволяет не превышать максимально допустимое пластовое давление в период создания залежей ПХГ, когда для оттеснения пластовых вод требуется повышенное давление нагнетания газа.

Вариант расположения эксплуатационных скважин на крыльях структуры характеризуется повышенным пластовым давлением по сравнению с их сводовым размещением.

В работе показано, что в условиях зонально-неоднородного пласта газ преимущественно аккумулируется в зонах наилучших ФЕС независимо от расположения скважин на структурах как в малоамплитудных, так и высокоамплитудных структурных ловушках.

При сводовом размещении эксплуатационных скважин и произвольном положении зон повышенных ФЕС на структуре за счет преимущественного аккумулирования закачиваемого газа в этих зонах наблюдается

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Базовый вариант | **Рисунок 3** – Распределение газонасыщенности в структурных ловушках водоносного пласта-коллектора в зависимости от системы размещения эксплуатационных скважин в однородном пласте.  Коэффициент  газонасыщенности, д.е |
|  | Вариант а |
|  | Вариант б |

уменьшение растекания газа и сокращение ГПО по залежам ПХГ (рисунок 4, вариант а).

Применение разработанного в диссертации способа регулирования движения ГВК и пластового давления в газовых залежах ПХГ путем изменения расположения скважин на структурах, позволяет формировать на

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Вариант а | **Рисунок 4** - Распределение газонасыщенности в структурных ловушках водоносного пласта-коллектора в зависимости от системы размещения эксплуатационных скважин в зонально-неоднородном пласте.  Коэффициент  газонасыщенности, д.е |
|  | Вариант б |

конец сезонов закачки и отбора компактные газовые залежи с предельными коэффициентами газонасыщенности коллекторов в районах расположения эксплуатационных скважин и обеспечивать минимальные значения водного фактора.

В случае размещения эксплуатационных скважин на крыльях структур и сводового положения зон повышенных ФЕС наблюдается более активное растекание газа в залежах ПХГ (рисунок 4, вариант б).

***Заключение***

По результатам проведенных в рамках диссертационной работы исследований по разработке методов прогнозирования и регулирования эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ с единой водонапорной системой можно сделать следующие выводы.

1. Выявлены основные признаки, позволяющие определять наличие газогидродинамической связи между залежами в многокупольном водоносном пласте ПХГ, и проблемы их сооружения и циклической эксплуатации.
2. Анализ существующих методов расчета основных технологических показателей создания и циклической эксплуатации взаимодействующих газовых залежей ПХГ в многокупольном водоносном пласте показал, что эти методы не позволяют учесть гидродинамическое взаимодействия газовых залежей по водоносной части пласта при их разновременном вводе в эксплуатацию и асинхронных закачках и отборах.
3. Разработан комплекс методов расчета создания и циклической эксплуатации гидродинамически взаимосвязанных искусственных газовых залежей ПХГ в многокупольном водоносном пласте, позволяющий учесть разнодренируемые области газовых залежей, переменную газонасыщенность по зонам газоносности пласта и осуществлять достоверный прогноз и эффективное регулирование сооружения и циклической эксплуатации многозалежных ПХГ.
4. Выявлены зависимости изменения основных технологических показателей многозалежных ПХГ от гидродинамических параметров, размеров, граничных условий водоносного пласта и расстояния между куполами,.
5. Анализ проведенных исследований показал, что определяющим фактором регулирования эксплуатации искусственных газовых залежей ПХГ является технологический режим закачки газа. Режим отбора имеет подчиненный характер.
6. Создана методика определения очередности и темпов заполнения структурных ловушек, а также технологических режимов закачки и отбора газа на многозалежных ПХГ с единой водонапорной системой, основанная на результатах проведенных исследований влияния расстояния между куполами, гидродинамических параметров, размеров и граничных условий водоносного пласта на технологические показатели их работы.
7. Разработан способ регулирования динамики газовых объемов в многокупольных водоносных пластах, заключающийся в распределении темпов и объемов закачки и отбора газа по группам эксплуатационных скважин. Использование способа позволяет формировать компактные газовые залежи с предельными коэффициентами газонасыщенности коллекторов в районах расположения эксплуатационных скважин на конец сезонов закачки и обеспечивать минимальные значения водного фактора в сезонах отбора.

***Основные публикации по теме диссертации***

1. Воронов С.А. Повышение эффективности реализации программы энергосбережения в подземном хранении газа путем внедрения современных энергосберегающих технологий и оборудования /Марущенко И.В., Воронов С.А., Бухгалтер Э.Б.// Научно-технический журнал «Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе», 2010. - №5. - С. 4-8.
2. Воронов С.А. Поддержание уровней добычи газа путем забуривания боковых стволов на месторождениях Западной Сибири, находящихся на завершающей стадии эксплуатации / Полупанова В.В., Исхаков Р.Р., Воронов С.А., Соловьев В.В. // Труды РГУ нефти и газа: Сб. науч. тр. - М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2010. - №2/259. - С. 47-60.
3. Воронов С.А. Энергосберегающие технологии утилизации пластовых потерь газа при эксплуатации ПХГ/ Воронов С.А., Солдаткин С.Г., Марущенко И.В. // Газовая промышленность, 2010. - №9. - С. 56-59.
4. Воронов С.А. Методические подходы к проектированию боковых стволов скважин на газовых месторождениях Западной Сибири, находящихся в завершающей стадии эксплуатации / Воронов С.А., Исхаков Р.Р. // Тезисы докладов второй Международной научно-практической конференции «Мировые ресурсы и запасы газа и перспективные технологии их освоения». - М.: ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2010. - С. 71.
5. Воронов С.А. Интеллектуализация процессов работы подземных хранилищ газа / Бузинов С.Н., Дудникова Ю.К., Шулепин М.В., Николаев О.В., Воронов С.А., Кодаш М.В. // Тезисы докладов третьей Международной научно-технической конференции «ПХГ: Надежность и эффективность» (UGS-2011). - М.: ООО "Газпром ВНИИГАЗ", 2011. - С. 27.
6. Воронов С.А. Опыт внедрения энергосберегающих технологий на Осиповичском ПХГ / Воронов С.А., Марущенко И.В // Тезисы докладов третьей Международной научно-технической конференции «ПХГ: Надежность и эффективность» (UGS-2011). - М.: ООО "Газпром ВНИИГАЗ", 2011. - С. 25
7. Воронов С.А. Оптимизация выбора направления для забуривания боковых стволов на газовых месторождениях / Воронов С.А., Исхаков Р.Р. // Тезисы докладов девятой Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов “Новые технологии в газовой промышленности” (газ, нефть, энергетика). - М.: "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2011. - С. 75.
8. Воронов С.А. Применение оптимизационных алгоритмов расстановки скважин при создании ПХГ / Воронов С.А. Исхаков Р.Р.// Тезисы докладов третьей Научно-практической молодежной конференции «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность». - М.: ООО "Газпром ВНИИГАЗ", 2011. - С. 38.
9. Воронов С.А. Методика проектирования боковых стволов скважин на месторождениях Западной Сибири с учетом поздней стадии разработки / Воронов С.А., .Исхаков Р.Р., Ермолаев А.И., Воронова В.В. // Нефтяное хозяйство, 2012. - №1. - С. 38-41.
10. Воронов С.А. Управление работой пласта при создании и эксплуатации ПХГ / Воронов С.А., Бузинов С.Н. // Газовая промышленность, Спецвыпуск, 2012. - №684/2012. - С.76-79.
11. Воронов С.А. Увеличение производительности газовых скважин путем расширения призабойной зоны пласта / Воронова В.В., Грязнова И.В., Воронов С.А. // Управление качеством в нефтегазовом комплексе, 2012. - №4. - С. 59 - 61.
12. Свидетельство о государственной регистрации Программы для ЭВМ "Программа для ЭВМ «Butan» №2012613370 от 10.04.2012. Авторы: Бузинов С.Н., Дудникова Ю.К., Воронов С.А., Бузинова Т.Н.
13. Свидетельство о государственной регистрации Программы для ЭВМ "Программа для ЭВМ «Оптимизация режимов работы скважин» №2012661314 от 12.12.2012. Авторы Грязнова И.В. Воронова В.В, Воронов С.А.
14. Свидетельство о государственной регистрации Программы для ЭВМ "Программа для ЭВМ «Выбор оптимальной длины и направления для забуривания бокового ствола на бездействующем фонде скважин» №2012614781 от 29.05.2012г. Авторы Мохов М.А., Воронов С.А., Исхаков Р.Р., Воронова В.В.
15. Воронов С.А. Методика прогнозирования технологических показателей и регулирования работы многозалежных ПХГ/ Воронов С.А. // Тезисы докладов десятой Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов "Новые технологии в газовой промышленности". - М.: "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2013. - С. 75.

Подписано к печати 14 ноября 2013 г.

Заказ № 4136

Тираж 120 экз.

1 уч. - изд.л. ф-т 60х84/16

Отпечатано в ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

По адресу: 142717, Московская область,

Ленинский р-н, п. Развилка, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»