

Наука и Техника

№4 (68) 2016 в газовой промышленности

ГИЯ РАЗРАБОТКА ТРАНСПОРТИРОВКА

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ ЭНЕРГЕТИКА

ДЕЛЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

ДЕ ХРАНЕНИЕ ЭКОНОМИКА

ННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

А ГЕОФИЗИКА

ИЯ

**ТЕМА НОМЕРА
MAIN TOPIC**

**25 лет
научно-технического
сотрудничества и партнерства
ПАО «Газпром»
и BASF\Wintershall Holding GmbH
25 years
of scientific and technical
cooperation between
and partnership
of PJSC "Gazprom"
and BASF/Wintershall
Holding GmbH**

**Приветствие руководителей
научно-технического сотрудничества
ПАО «Газпром» и «Винтершалл Холдинг ГмБХ»**

**Salutatory Address of the PJSC "Gazprom" and Wintershall Holding GmbH
scientific and technical cooperation leaders**



О.Е. АКСЮТИН
Член Правления,
начальник Департамента
ПАО «Газпром»,
член-корреспондент РАН,
доктор технических наук

О.Е. AKSYUTIN
Member of the Managing Board,
Head of Department of
PJSC "Gazprom",
Corresponding member of RAS,
Doctor of Technical Sciences



ТИС ТИССЕН
Член Правления
«Винтершалл Холдинг ГмБХ»,
доктор технических наук

Dr. TIES TIESSEN
Member of the Managing Board
of Wintershall Holding GmbH
Doctor of Technical Sciences

важаемые коллеги!

имени ПАО «Газпром» и Винтершалл Холдинг ГмБХ
здравляем вас с 25-летием научно-технического
сотрудничества наших компаний!

следования и разработки, направленные на
шение общих производственных задач, составляют
жную часть стратегического партнерства,
тематика охватывает все основные аспекты
ектирования, строительства и эксплуатации
ъектов транспорта и подземного хранения газа,
щиты от коррозии, диспетчерского управления,
пользования современных информационных
нологий, обеспечения качества газа и
ганизации поставок его потребителям, охраны
ружающей среды.

вместные достижения в области науки и техники,
оторых мы с гордостью говорим сегодня, стали
возмоны благодаря обоюдному стремлению к
стижению доверия и взаимопонимания, а также
стоянному совершенствованию взаимодействия.

ерены, что продолжение тесной кооперации между
шими компаниями позволит и далее развивать
новационный потенциал как залог общего
госрочного экономического успеха!
лаем всем сотрудникам ПАО «Газпром» и
нтершалл Холдинг ГмБХ здоровья и благополучия,
бициозных целей и новых творческих успехов!

Dear colleagues!

On behalf of PJSC "Gazprom" and Wintershall GmbH
we are pleased to wish you joy on the 25th anniversary
of the scientific and technical cooperation between
our companies.

Research and development aimed at solution of general
business tasks constitute an important part of the
strategic partnership. Thematically they embrace all
key aspects of the gas transportation and underground
storage facility design engineering, construction and
operation, of anticorrosive protection, dispatcher control,
application of modern IT technologies, gas quality provi-
sion, consumer gas supply organization, environment
protection.

Joint achievements in science and technology, that we
proudly present today, became possible due to mutual
endeavors to ensure trust and understanding and to
constantly perfect collaborative work.

We believe that close cooperation between our compa-
nies will facilitate further development of innovative
potential as foundation of mutual long-term economic
success!

We use this opportunity to wish all employees of
PJSC "Gazprom" and Wintershall Holding GmbH health,
prosperity, ambitious aspirations and new creative
achievements!

Научно-технический журнал
«НАУКА И ТЕХНИКА
В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
издается с 1999 г.

Учредитель



АО «Газпром промгаз»

Включен в перечень ВАК
Министерства образования и науки РФ
ведущих рецензируемых научных журналов
и изданий, в которых должны быть
опубликованы основные научные результаты
диссертации на соискание ученой степени
доктора и кандидата наук

Главный редактор

Ю.И. Спектор

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ

Ответственный редактор
Е.Д. Нащекина

Редактор
Н.В. Воронкова

**Оформление
и компьютерная верстка**
Д.А. Буров

Коррентура
С.Г. Снворцова

142702, Московская обл., Ленинский район,
г. Видное, Вокзальная ул., д. 23
АО «Газпром промгаз»
Тел.: (495) 817-00-80,
E-mail: E.Nashkina@promgaz.gazprom.ru
www.naukaitehnika.com

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе
по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций
от 20.09.2012 ПИ № ФС77-51277

Подписано в печать 18.11.2016
Уч.-изд. л. 12,0
Тираж 600 экз.

Подписной индекс по каталогу
Роспечать 36619
Выходит 4 раза в год
Составление, оформление
АО «Газпром промгаз», 2016
Отпечатано в ООО «ТПС Принт»

Цена свободная

Перепечатка материалов
или их фрагментов, все виды
копирования и воспроизведения
запрещены

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

А.Н. Арабский, д.т.н.

К.С. Басниев, профессор, д.т.н.

В.Н. Башкин, профессор, д.б.н.

А.И. Гриценко, чл.-корр. РАН, д.т.н.

А.Н. Дмитриевский, академик РАН, д.г.-м.н.

В.В. Елгин, профессор, д.э.н.

О.М. Ермилов, академик РАН, д.т.н., к.э.н.

А.И. Ермолаев, профессор, д.т.н.

Е.С. Мелехин, д.э.н.

М.Ю. Недзвецкий, к.э.н.

Б.А. Никитин, профессор, д.т.н.

А.Д. Седых, к.т.н.

Н.Н. Соловьев, д.г.-м.н.

Р.М. Тер-Саркисов, профессор, д.т.н.

А.Е. Череповицин, профессор, д.э.н.

Л.В. Эдер, профессор, д.э.н.

СОДЕРЖАНИЕ № 4, 2016

**Тема номера: 25 лет научно-технического сотрудничества
и партнерства ПАО «Газпром
и BASF/Wintershall Holding GmbH**

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ДОБЫЧА УГЛЕВОДОРОДОВ

- 3 **Б.И. Шарипов, Д.А. Сизиков, В.В. Шишляев, Р.В. Кузнецов**
Анализ применимости различных систем разработки
метаноугольных залежей в горно-геологических условиях
Нарыкско-Осташкинского метаноугольного месторождения
- 10 **А.Ю. Корякин, М.Г. Жариков, О.В. Осипович,
И. Нойберт, Н.А. Завьялов, А.Н. Нестеренко,
В.П. Тюрин, С.В. Скворцов, А.С. Самойлов**
Использование забойных датчиков при мониторинге
разработки ачимовских газоконденсатных залежей
- 17 **С.В. Добкин, В. Девентер, Г. Намазова,
И.Ю. Юшков, А.Н. Нестеренко**
Моделирование продуктивности
газоконденсатных скважин
- 32 **С.В.Дж. Беренцен, Дж.Р. Шауль, С.Дж. де Патер,
Дж. Парк, П. Домбровский, С.В. Добкин,
О.А. Бухалова, А.Н. Нестеренко, И.Ю. Юшков**
Прокси-метод задания характеристик гидравлического
разрыва пласта при полномасштабном моделировании
разработки неоднородного газоконденсатного
месторождения

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

*Анализ применимости различных систем разработки
метаноугольных залежей в горно-геологических условиях Нарыкско-
Осташкинского метаноугольного месторождения
Шарипов Б.И. , Сизиков Д.А. , Шишляев В.В. Кузнецов Р.В.*

Аннотация: Одной из основных задач разработки метаноугольных месторождений является организация системы разработки с целью наиболее полного извлечения метана из угольных пластов. В настоящей работе представлены основные направления организации системы разработки метаноугольных месторождений с различными методами заканчивания скважин и интенсификации притока газа.

Ключевые слова: система разработки, метаноугольное месторождение, горно-геологические условия, гидроразрыв пласта, многозабойные скважины

В условиях ухудшения структуры сырьевой базы газового комплекса России одним из перспективных направлений ее развития является освоение нетрадиционных ресурсов углеводородного сырья, в частности метаноугольных месторождений. Освоение ресурсов метана угольных пластов как самостоятельного полезного ископаемого позволяет не только обеспечить угледобывающие регионы собственным газом, но и способствует комплексному использованию недр, значительному повышению уровня безопасности работы шахтеров при добыче угля, а также улучшить экологическую обстановку в регионах за счет снижения выбросов в атмосферу продуктов горения угля [1, 2].

Для добычи метана, как самостоятельного полезного ископаемого, интерес представляют угольные пласты с мощностью от 1,0 м, II-III стадии метаморфизма, с развитой эндогенной трещиноватостью, с глубиной залегания по вертикали от 300-400 м до 1200-1300 м. Природные геолого-

промысловые характеристики угольного пласта (газоносность, угленосность и фильтрационно-емкостные параметры) определяют применение различных систем разработки, отличающихся способами проводки скважин, методами заканчивания и интенсификации.

Как отмечено в работе [3] для Нарыкско-Осташкинского метанугольного месторождения характерны синклинальные и антиклинальные структуры, либо крылья моноклинали с углами падения пластов 5 - 35°. Площадь представлена в основном угольными пластами малой и средней мощности (до 3,5 м), а также единичными пластами мощностью 3,5-10,0 м.

Наиболее универсальной системой разработки метанугольных месторождений является применение вертикальных и наклонно направленных скважин с ГРП. Вертикальные скважины с ГРП позволяют вскрывать продуктивные объекты различной мощности, находящиеся на разных гипсометрических уровнях и при практических любых углах залегания (до 45 °).

Для оценки влияния ГРП на добычные возможности скважин разработана упрощенная численная фильтрационная модель, где в качестве исходной геологической информации использованы геолого-промысловые и физико-механические свойства угольных пластов: гипсометрическое положение пластов, распределения пористости, проницаемости, зольности и начальной метаноносности из геолого-структурной модели.

Для продуктивной группы угольных пластов с геолого-промысловыми характеристикам, представленных в таблице 1, сделан прогноз возможных дебитов скважин в зависимости от полудлины трещины ГРП. Оценка влияния трещины ГРП выполнена с помощью модели скважины с трещиной ГРП неограниченной проводимости на однородном изотропном пласте с горизонтальной кровлей и подошвой пласта.

Таблица 1 – Геолого-промысловые и технологические свойства угольных пластов, используемые при моделировании технологических параметров работы скважин

Параметр	Значение
Глубина залегания пласта, м	740
Проницаемость, мД	1
Эффективная мощность пласта, м	2
Давление Ленгмюра, кПа	2115
Объем Ленгмюра, м ³ /т (с.б.м.)	25,59
Объемная плотность угля, т/м ³ (г/см ³)	1,33
Начальное пластовое давление, кПа	7200
Начальная метаноносность пласта, м ³ /т (с.б.м.)	19
Начальная водонасыщенность порово-трещинных каналов, %	100
Коэффициент пористости угля, %	1
Коэффициент объемной упругости твердого скелета пласта, 1/кПа	$1,45 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент объемного сжатия пластовой жидкости, 1/кПа	$7 \cdot 10^{-7}$
Радиус ствола скважины, м	0,112

На рисунке 1 приведены кривые прогноза технологических параметров работы вертикальной одиночной скважины, вскрывающей один пласт. Результаты исследования методом гидродинамического моделирования показывают, что включение в разработку пластов без интенсификации не целесообразно. Выбор методов и параметров технологий интенсификации газоотдачи пластов определяются конкретными горно-геологическими условиями промысловых объектов и поверхностными условиями размещения скважин.

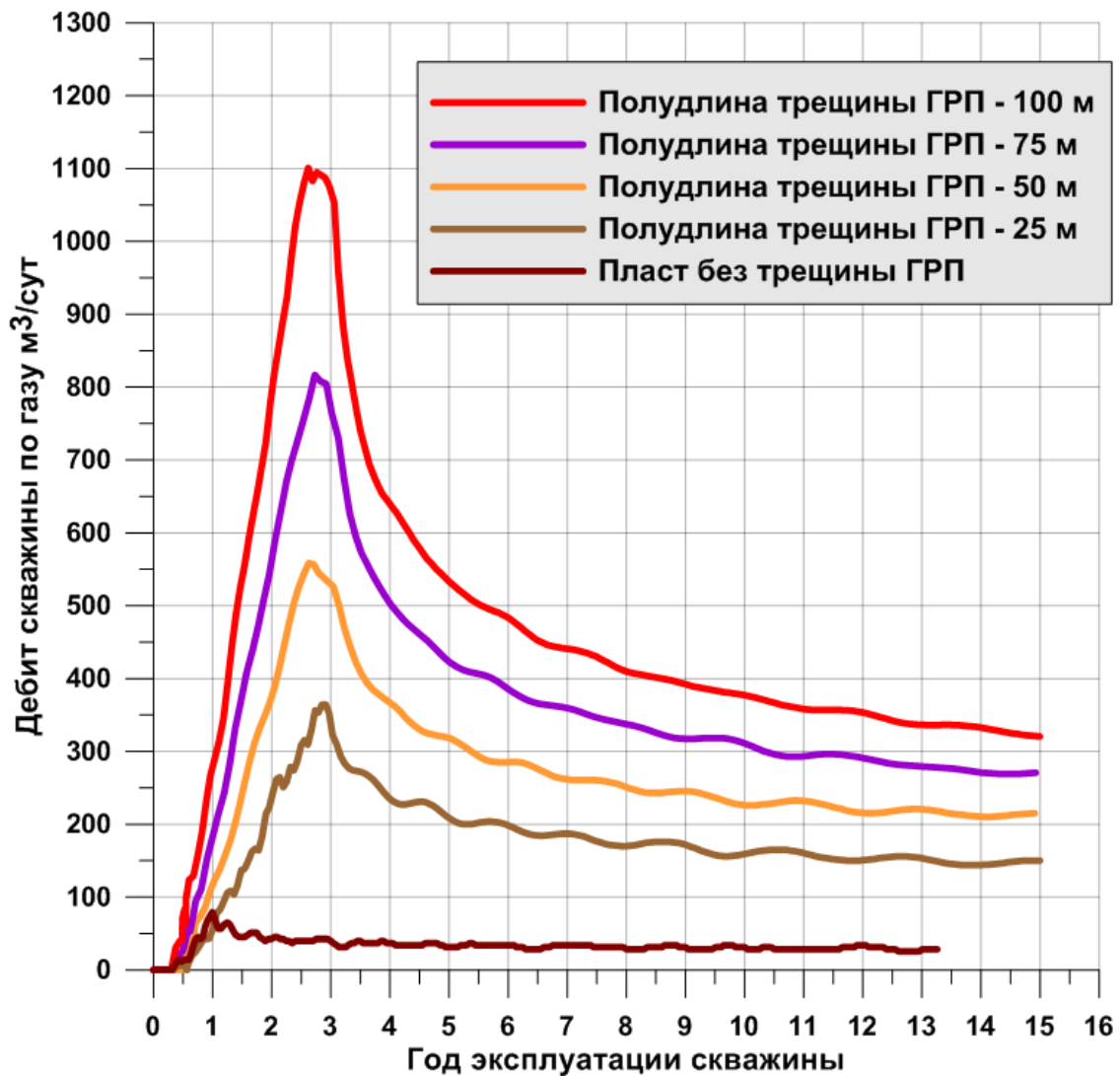


Рисунок 1 – Кривые прогноза технологически параметров эксплуатации угольного пласта с ГРП

Преимущество ГРП по сравнению с другими методами воздействия на угольный пласт заключается в возможности моделирования оптимальных параметров самого ГРП, внесением изменений в процесс проведения работы в режиме реального времени, а так же возможностью оценки дебитов газа и воды после ГРП, что необходимо для оптимального выбора параметров эксплуатационного оборудования. Операции по ГРП проводятся с использованием двухпакерных компоновок, которые позволяют селективно изолировать угольные пласты. При определенных условиях, при близком залегании пластов за одну операцию проводится

гидравлический разрыв сразу нескольких пластов. Закачка рабочей жидкости ГРП и пропанта выполняется через НКТ или ГНКТ.

Результаты выполнения более 100 операций по ГРП на Нарыкско-Осташкинском метаноугольном месторождении показали, что пропант 20/40 может быть успешно транспортирован в трещину при использовании как сшитого геля (с загрузкой гелланта $2,4 \text{ кг/м}^3$) с различными скоростями закачки жидкости ($2,0-4,8 \text{ м}^3/\text{мин}$), так и водным раствором хлористого калия со скоростью $4 - 5 \text{ м}^3/\text{мин}$. Высокая транспортная способность к переносу пропанта в трещине в условиях Нарыкско-Осташкинского месторождения свидетельствует о возможности использования пропанта большего размера 16/30 меш ($0,85 - 1,18 \text{ мм}$) при проведении ГРП на данной площади. Пропант большего размера 16/30 следует использовать в конце закачки для увеличения проводимости трещины вблизи ствола скважины, так как интенсивность притока флюида в период эксплуатации скважины в призабойной зоне выше. Скорость закачки при проведении ГРП выбирается достаточно высокой, чтобы минимизировать влияние порового давления и фильтрационные потери. Средняя скорость закачки при проведении ГРП в скважинах изменяется в пределах от 2 до $5 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Особенностью метаноугольных месторождений является положительный эффект (увеличение притоков метана из угольных пластов) от интерференции (взаимодействия) скважин, создающих единую воронку депрессии на большой площади. При этом скважины должны быть размещены таким образом, чтобы расстояние между ними давало возможность их взаимовлияния, предопределяло высокие дебиты и высокий коэффициент извлечения метана. Выбор тангенциального профиля для эксплуатационных скважин предопределяется относительной простотой реализации при строительстве скважин, эксплуатации подземной компоновки оборудования для откачки пластовой жидкости, схемой расположения скважин на площадке. Применение тангенциального

профиля для эксплуатационных скважин позволяет развести пластопересечения в пределах продуктивного пласта на расстояние до 700-800 м. Однако анализ карт изменения газоносности показывает (Рисунок 2), что реализация системы разработки скважинами с тангенциальным типом профиля при вскрытии нижних угольных пластов не позволяет проводить эффективную разработку. Радиус влияния скважин составляет порядка 200 – 300 м., что не обеспечивает развития общей воронки депрессии.

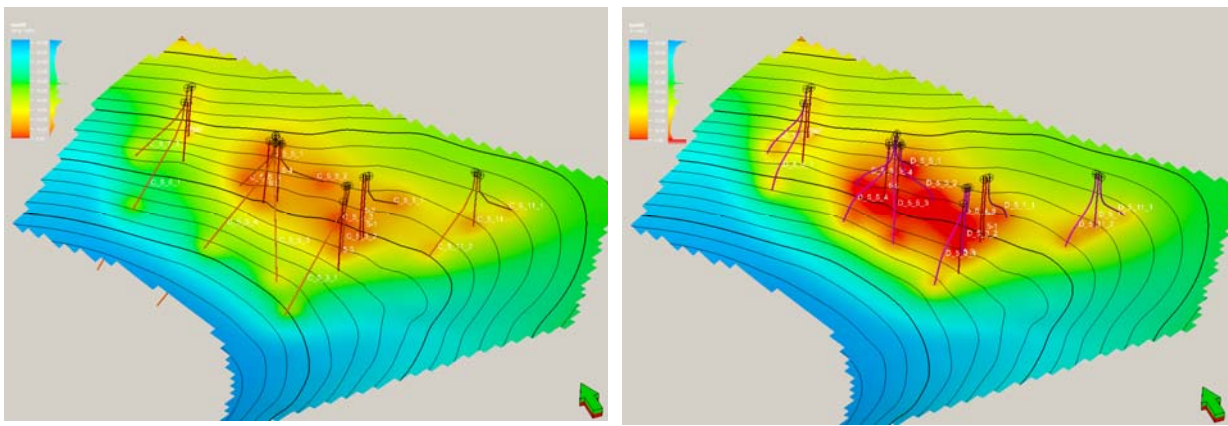


Рисунок 2 – Области влияния скважин при добыче метана из угольных пластов с применением наклонно направленных скважин

Для эффективного включения в работу нижней группы угольных пластов предлагается применять S-образный профиль ствола скважины с интенсивностью набора зенитного угла до $2,5^{\circ}/10\text{м}$ и дальнейшим снижением зенитного угла с интенсивностью $2,5^{\circ}/10\text{м}$. В пределах одного куста скважин профиль обеспечивает необходимое расстояние между пластопересечениями при глубоком залегании пластов, а также требуемое расстояние между пластоподсечениями при включении в эксплуатацию верхней группы пластов без вскрытия ее в вертикальных скважинах.

Наряду с вертикальными и наклонно направленными скважинами с ГРП в последние годы широкое развитие получили способы разработки метаноугольных месторождений системой горизонтальных,

многоствольных и многозабойных скважин. Анализ зарубежного опыта показывает, что в плотных углях со слабо развитой системой эндогенной трещиноватости эффективной технологией заканчивания, позволяющей получать высокие дебиты и добиваться наиболее полного извлечения метана являются пластовые многозабойные скважины с большой суммарной проходкой по пласту.

Добычу метана с применением технологии бурения горизонтальных и многозабойных скважин по продуктивным угольным пластам целесообразно осуществлять при наличии в разрезе анизотропных, высокогазоносных угольных пластов простого строения, имеющих толщины не менее 3,5 м. Схематичный профиль многозабойной скважины с попаданием в вертикальную представлен на рисунке 3. С целью создания минимальной кольматации угольного пласта используется технология строительства многозабойной скважины со вспомогательной вертикальной, где вертикальная скважина пересекается с основным стволом многозабойной скважины (до боковых ответвлений) и служит, для создания депрессии на пласт в процессе бурения, так и в дальнейшем при освоении и эксплуатации в вертикальную скважину спускается глубинное насосное оборудование и откачивается пластовая жидкость.

Применение горизонтального разветвленного бурения требует значительно меньшего числа скважин, чем системы разработки вертикальными скважинами с ГРП. При этом область влияния скважины, пробуренной по угольному пласту, может быть существенно больше, чем у вертикальной. Кроме того, скважины с горизонтальным окончанием (в отличие от вертикальных с ГРП) менее водобильны, так как в них минимизирован приток воды из вышележащих горизонтов.

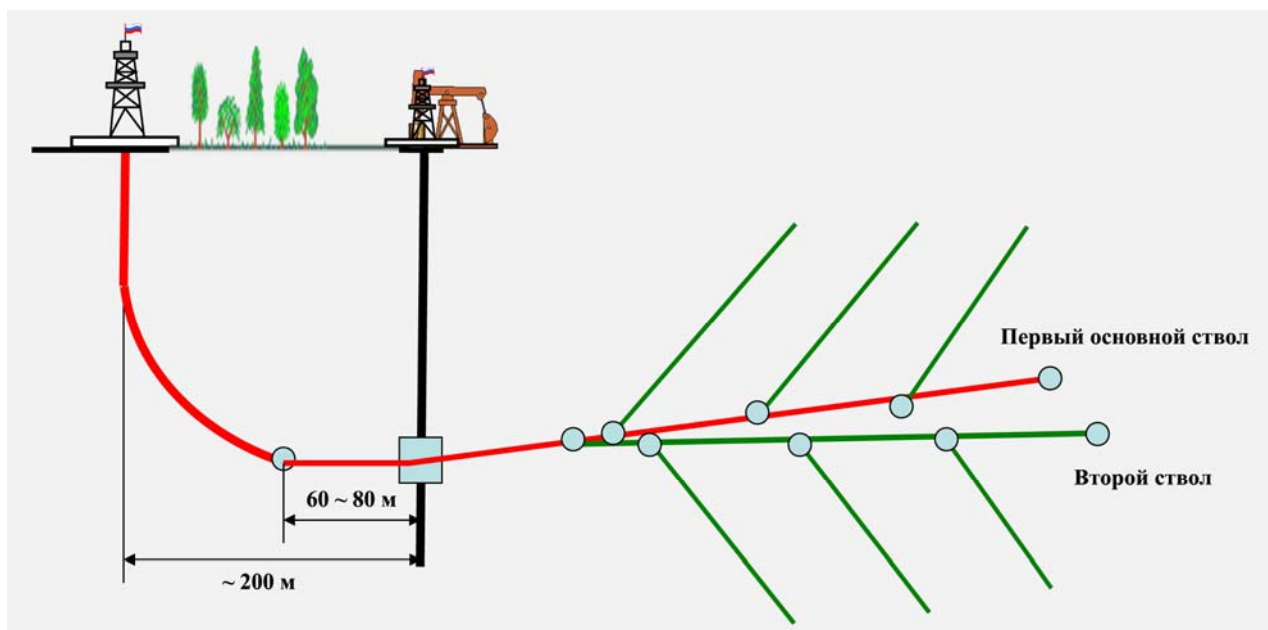


Рисунок 3 Разработка метаноугольного месторождения с применением многозабойных скважин

Моделирование многозабойной скважины осуществлялось в несколько этапов. На первом этапе проводилось построение горизонтального участка главного ствола многозабойной скважины. Боковые стволы, являющиеся в модели отдельными скважинами, устье которых совпадает с устьем главного ствола, были заданы путем дублирования траектории основного ствола с боковыми ответвлениями. Поскольку в горизонтальных и многозабойных скважинах не проводятся дополнительные операции по интенсификации, то скин-фактор для таких систем скважин принят равным нулю.

Как показано на рисунке 4 пиковые значения дебита многозабойной скважины в условиях Нарыкско-Осташкинского месторождения составили более 16000 м³/сут для варианта с проходкой по пласту 1800 м и более 22000 для варианта с проходкой по пласту 2100 м при средних значениях на период разработки более 6300 м³/сут и 7700 м³/сут соответственно. Увеличение длины проходки боковых ответвлений на 15 % показывают увеличение продуктивности скважины на 18 %.

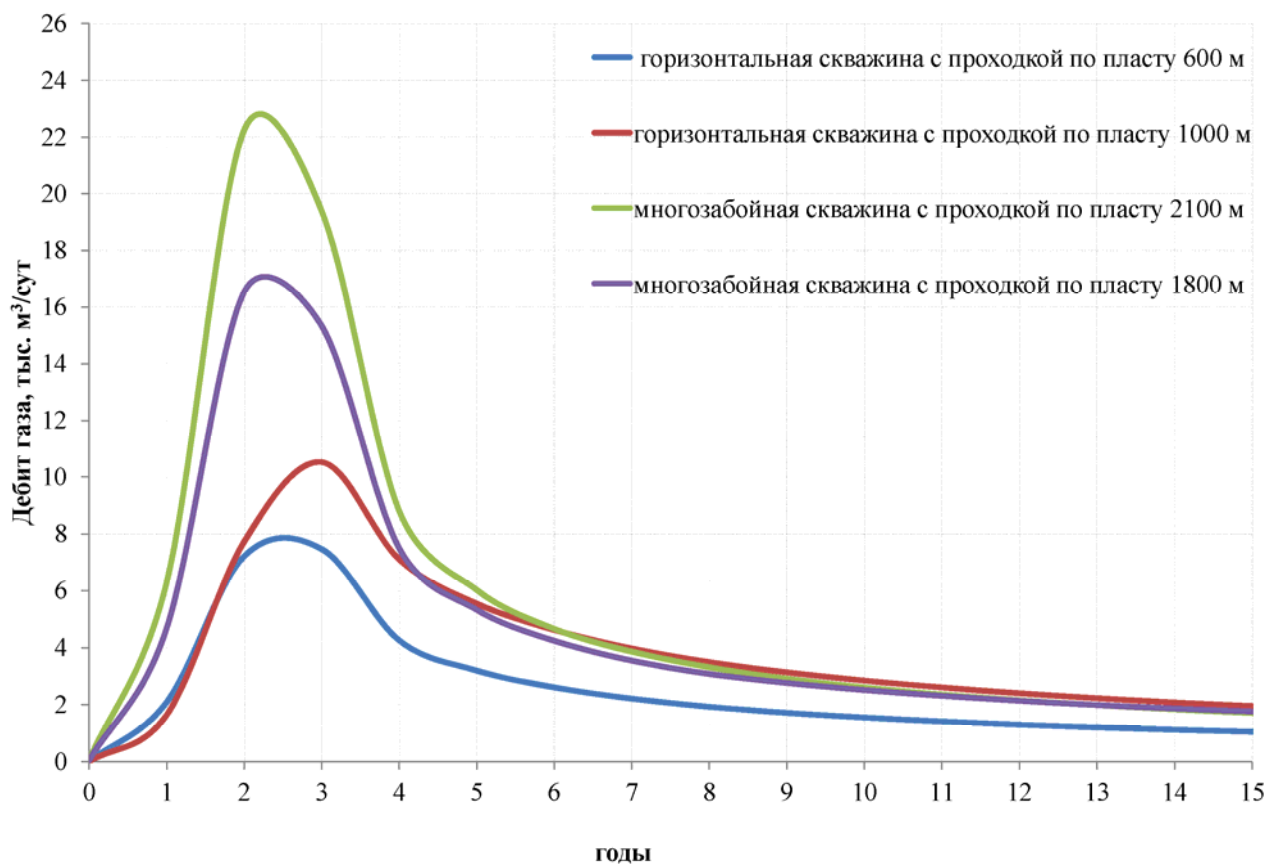


Рисунок 4 Разработка метаноугольного месторождения с применением горизонтальных и многозабойных скважин

Анализ результатов разработки месторождения системой горизонтальных скважин показывает, что в горно-геологических условиях Нарыкско-Осташкинской с проницаемостью менее 3 мД увеличение длины проходки вскрытия пласта скважиной с горизонтальным окончанием в 2 раза с 600 до 1200 м позволяет увеличить продуктивность скважины на величину порядка 30 %. Максимальные пиковые дебиты скважины с горизонтальным окончанием составляют порядка 7500 м³/сут для скважиной с длиной горизонтального участка 600 м и 10500 м³/сут для горизонтального участка 1200 м, со средними значениями дебитов газа в течение 10 лет порядка 3200 и 4700 м³/сут соответственно

Для оценки эффективности различных систем разработки в работе выполнена оценка гидродинамической активности каждого продуктивного

угольного пласта с применением гидродинамической модели, разработанной на основе данных, полученных при пробной эксплуатации разведочных скважин на Нарыкско-Осташкинском месторождении и проведенных гидродинамических исследований скважин.

На основе методов гидродинамического моделирования проведен анализ чувствительности различных входных геолого-промысловых параметров и конструкций скважин на прогнозные технологические показатели разработки метаноугольных месторождений. Основными геолого-промысловыми характеристиками, влияющими на динамику изменения технологических показателей эксплуатации скважин, являются: характер распределения газоносности, концентрация ресурсов метана в угольных пластах, эффективная мощность пластов, начальная флюидонасыщенность, пластовое давление, а также их фильтрационные и емкостные параметры.

Активное использование геолого-гидродинамического моделирования при проведении мониторинга за развитием фильтрационных процессов в угольных пластах, вовлеченных в эксплуатацию, подразумевает получение дополнительной геолого-промысловой информации, направленной на снижение неопределенности представлений о геологической структуре залежи и проведение детального анализа ее энергетического состояния.

Метаноугольные залежи, приуроченные к мощным угольным пластам, следует разрабатывать системой многозабойных скважин с проходкой по пласту. Для разработки маломощных пластов рекомендуется применять разработку системами горизонтальных и наклонно-направленных скважин с проведением ГРП. Также необходимо учитывать интерференцию соседних скважин, как положительный эффект разработки.

Список литературы

1. Башкатов Д.Н., Васильев А.Н., Хрюкин В.Т., Шишляев В.В. Добыча метана угольных пластов – шаг к комплексной разработке угольных месторождений. «Рациональное освоение недр». Выпуск № 6, 2012.

2. А. М. Карасевич, Н. М. Сторонский, В. Т. Хрюкин, Е. В. Швачко Основные направления стратегии развития ОАО «Газпром» промышленной добычи метана из угольных пластов // Газовая промышленность [спец. выпуск : Метан угольных пластов]. 2012. № 672. С. 12–17.

3. Хрюкин В.Т., Сторонский Н.М., Швачко Е.В., Васильев А.Н., Кирильченко А.В., Малинина Н.С., Митронов Д.В. Типизация метанугольных месторождений (на примере Кузбасса) с оценкой возможности применения различных технологий интенсификации газоотдачи угольных пластов. «Наука и техника в газовой промышленности». Выпуск No 3 (39) 2009