

УДК 622.279.5 (470.13)

Исследование возможности применения метода гидродинамического импульсно-волнового воздействия для извлечения защемленного газа из обводнившихся продуктивных отложений Вуктыльского НГКМ

Т.И. Богданович^{1*}, Т.Г. Ксёэнз¹

¹ Филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухта, Российская Федерация, 169330, Республика Коми, г. Ухта, ул. Севастопольская, д. 1-а

* E-mail: t.bogdanovich@sng.vniigaz.gazprom.ru

Ключевые слова: защемленный газ, циклическое воздействие на пласт, углеводородо-отдача, моделирование, Вуктыльское НГКМ.

Тезисы. Рассмотрена альтернативная технология извлечения защемленного газа из обводнившейся части пласта при периодическом депрессионном воздействии (гидродинамическое импульсно-волновое воздействие). На Вуктыльском нефтегазоконденсатном месторождении (НГКМ) был осуществлен выбор пилотных участков для проведения промысловых испытаний указанной технологии, включающих в себя пять скважин-кандидатов. С использованием постоянно действующей геолого-технологической модели залежи С-Р₁ Вуктыльского НГКМ были проведены численные эксперименты по обоснованию способа извлечения газа из обводнившихся продуктивных отложений. Сравнительный анализ результатов моделирования подтвердил эффективность импульсного депрессионного воздействия в сопоставлении с непрерывной газлифтной эксплуатацией.

Как известно, разработка газовых и газоконденсатных месторождений в условиях проявления упруговодонапорного режима зачастую характеризуется неравномерным продвижением вод в залежь. Это, в свою очередь, приводит к преждевременному обводнению добывающих скважин и защемлению запасов газа в промышленно значимых объемах.

Наиболее известным гидродинамическим методом извлечения из обводненной пористой среды защемленного водой газа является способ, в основе которого лежит способность защемленного газа расширяться и приобретать подвижность при снижении давления в пласте, связанном с отборами из обводненных скважин внедрившейся в залежь воды. Этот способ разрабатывается и испытывается на протяжении длительного времени, но в отечественной практике применяется в ограниченных случаях в связи с необходимостью добычи и утилизации больших объемов пластовых вод.

Промыслово-экспериментальные работы по извлечению защемленного газа из обводненного продуктивного пласта (хотя они и не носили целевого характера) активно проводились на Вуктыльском НГКМ в период с 1996 по 2008 гг. На скважине № 197 были проведены два длительных промысловых эксперимента, которые носили промышленный характер [1–3]. За этот период из полностью обводненной скважины было извлечено около 15 млн м³ защемленного газа вместе с 1,4 т углеводородного конденсата и 50 тыс. м³ пластовой воды с кондиционным содержанием йода, брома, магния и ряда других ценных компонентов. Следует отметить, что впервые в отечественной и зарубежной нефтегазопромысловой практике на этом месторождении получены уникальные результаты по извлечению защемленного газа, которое осуществлялось при давлении выше давления его защемления (в отличие от рассмотренного выше способа).

Промыслово-экспериментальные и лабораторные работы позволили установить механизм извлечения защемленного газа из обводненной пористой среды при периодическом депрессионном воздействии. Подвижность защемленного газа обеспечивается при периодическом и достаточно интенсивном (импульсном) изменении в обводненной пористой среде и соотношении капиллярного и гидродинамического

давлений с целью преодоления концевых капиллярных эффектов, удерживающих воду в коллекторах призабойной зоны пласта и на границах низко- и высокопроницаемых горных пород (зон, пропластков). В результате такого воздействия энергия заземленного газа, интенсивно расширяющегося при резком переходе на повышенный градиент давления, позволяет вытеснить часть воды, блокирующей газ, и тем самым обеспечить поступление газа в скважину.

В настоящее время вышеописанная технология именуется как «гидродинамическое импульсно-волновое воздействие» (ГИВВ).

С целью выбора перспективных участков для проведения опытных работ по ГИВВ были рассмотрены такие НГКМ, как Уренгойское (сеноманские отложения), Ямбургское (сеноманские отложения), Медвежье (сеноманская залежь), Оренбургское (основная залежь) и Вуктыльское (основная залежь P_1-C).

По результатам анализа состояния разработки перечисленных месторождений были выбраны первоочередные участки для испытаний технологии ГИВВ, расположенные в пределах залежи P_1-C Вуктыльского НГКМ. Остальные участки были отнесены к перспективным в случае успешной реализации программы пилотных комплексных промысловых работ.

Вуктыльское НГКМ, основным объектом разработки которого является газоконденсатная залежь в нижнепермско-каменноугольных отложениях, разрабатывается с частичным поддержанием пластового давления путем круглогодичной закачки сухого тюменского газа.

Закачка тюменского газа осуществляется на пяти действующих полигонах в районах УКПГ-1, -2, -4, -5 и -8. Активное воздействие на пласт оказывает положительное влияние на фильтрационные характеристики продуктивных отложений. Однако остаются участки залежи, не охваченные воздействием на пласт (район УППГ-ЛБ и значительная часть южного купола).

Материалы гидрогеологических исследований подтверждают преимущественно газовый режим разработки. Селективно внедряющаяся в залежь вода не обеспечивает поддержания пластового давления. Водопроявлениями охвачено пологое восточное крыло структуры, небольшие по площади участки западного крыла (в средней и северной частях залежи),

нарушенного взбросо-надвигом, и участки широкого площадного выхода на уровень начального газоводяного контакта проницаемых отложений верхневизейско-башкирской и московской толщ. «Сухие» поля сохраняются в наиболее приподнятой части структуры, где обе толщи залегают на высоких отметках.

Залежь P_1-C характеризуется высокой степенью выработанности запасов углеводородов: свыше 86 % по газу и более 32 % по газовому конденсату.

На Вуктыльском месторождении в качестве первоочередных участков для проведения ГИВВ с целью извлечения остаточных запасов углеводородов из обводненных зон были рассмотрены южный купол (обособленный по геологическому строению и условиям разработки в отдельный самостоятельный объект эксплуатации), район УППГ-ЛБ (северный участок) и скважины центральной части (в районе УКПГ-3 и -4).

Для целей промысловых пилотных испытаний технологии ГИВВ на южном куполе были выбраны скважины №№ 26 и 197, на северном участке – скважина № 213, расположенная в зоне обводнения.

Средний участок выбран для проведения экспериментальных работ на стыке УКПГ-3, -4. Участок охватывает седловину, разделяющую средний и северный купола, и примыкающие к ней периклинальные окончания.

На среднем участке в качестве объектов для эксперимента были рассмотрены скважина № 177 (УКПГ-3) и скважина № 199 (УКПГ-4) как единственные, работающие с постоянной подачей газа высокого давления (ГВД) и преобладанием жидких углеводородов (ЖУВ) в выносимой продукции.

Для проведения численных экспериментов по моделированию извлечения газа из обводнившихся продуктивных отложений залежи P_1-C Вуктыльского НГКМ с применением технологии ГИВВ была использована актуализированная по состоянию на текущую дату постоянно действующая геолого-технологическая модель (ПДГТМ) данной залежи.

ПДГТМ залежи P_1-C была реализована в трехмерной трехфазной многокомпонентной постановке с целью корректного воспроизведения процессов межфазного массообмена, происходящих в продуктивном пласте вследствие нагнетания в него неравновесного низконапорного газообразного агента. Карбонатный

тип коллектора в сочетании с развитой системой трещин и каверн, охватывающей всю толщу массивно-пластовой залежи, послужил причиной использования в ходе моделирования среды с двойной пустотностью (проницаемостью).

Моделирование проводилось с использованием пакета Tempest MORE (ROXAR), который позволил учесть все основные геолого-физические и технологические факторы процесса разработки.

Газлифтный способ эксплуатации скважин-кандидатов № 26 (УКПГ-5), № 177 (УКПГ-3), № 197 (УКПГ-5), № 199 (УКПГ-4), № 213 (УППГ-ЛБ) на фильтрационной модели был реализован посредством применения таблиц VFP (Vertical Flow Performance).

Сущность метода ГИВВ заключается в циклическом воздействии на пласт путем отбора воды в заданный промежуток времени, затем остановка на такой же период, после чего цикл повторяется. Расчеты были выполнены для периодов времени 3, 6, 12, 24 ч. При этом уровни отборов (уровни подачи газлифтного газа для выноса жидкости с забоев скважин) рассматривались от минимального (по одному варианту) до максимального (по другому варианту) и в виде динамики «рост – снижение» уровня воздействия (создание изменяющейся депрессии).

В ходе проведения на фильтрационной модели залежи С-Р₁ численных экспериментов по обоснованию способа извлечения газа из обводняющихся продуктивных отложений были

рассмотрены девять прогнозных вариантов, различающихся такими параметрами депрессионного воздействия, как продолжительность импульса и (или) его амплитуда. Длительность расчетного периода по всем вариантам составила три расчетных года.

В варианте 1 предполагалось отсутствие циклического воздействия на обводненный пласт. Все экспериментальные скважины работали с коэффициентом эксплуатации, равным 0,8, на актуальных режимах непрерывного газлифта.

В вариантах группы 2 был реализован циклический импульсный режим работы скважин с постоянной амплитудой импульса, что соответствует постоянству расхода газлифтного газа (рис. 1).

Данная группа включает в себя несколько вариантов с различными периодами импульсного воздействия (табл. 1).

Следует отметить, что в варианте 2е продолжительность импульсного воздействия являлась переменной величиной, варьируя в цикле от минимального значения (3 ч) до максимального (1 сут). Схематическое изображение режима работы экспериментальных скважин в варианте 2е приведено на рис. 2.

Режимы работы экспериментальных скважин при реализации циклического депрессионного воздействия в вариантах группы 2 (на начало расчетного периода) приведены в табл. 2.

Численные эксперименты по оценке влияния интенсивности депрессионного воздействия на обводненный газоконденсатный пласт

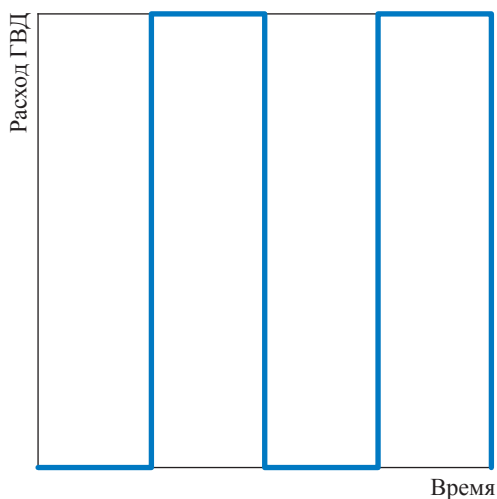


Рис. 1. Схематическое изображение режимов работы экспериментальных скважин в вариантах группы 2 (2а-2д)

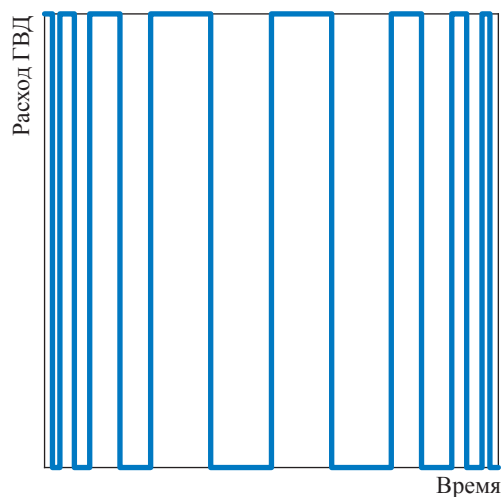


Рис. 2. Схематическое изображение режимов работы экспериментальных скважин в варианте 2е

Таблица 1

Характеристика депрессионного импульсного воздействия в вариантах группы 2

Вариант	Продолжительность импульсного воздействия (паузы между импульсами), ч
2a	3 (3)
2b	6 (6)
2c	12 (12)
2d	24 (24)
2e	3 (3), 6(6), 12 (12), 24 (24), 24(24), 12 (12), 6 (6), 3 (3)

Таблица 2

Режимы работы экспериментальных скважин в вариантах группы 2

Номер скважины	Дебит			Суточный расход ГВД, тыс. м ³ /сут
	газа, тыс. м ³ /сут	ЖУВ, м ³ /сут	воды, м ³ /сут	
26	1,03	0,24	6,89	20,0
177	0,96	0,31	2,19	20,5
197	1,04	0,27	18,73	17,0
199	0,60	1,50	4,75	39,0
213	3,43	1,03	0,72	18,0

Таблица 3

Характеристика депрессионного импульсного воздействия в вариантах группы 3

Вариант	Продолжительность импульсного воздействия (паузы между импульсами), ч
3a	3 (3)
3b	6 (6)
3c	12 (12)

Таблица 4

Режимы работы экспериментальных скважин в вариантах группы 3 (минимальный расход газлифтного газа)

Номер скважины	Дебит			Суточный расход ГВД, тыс. м ³ /сут
	газа, тыс. м ³ /сут	ЖУВ, м ³ /сут	воды, м ³ /сут	
26	0,93	0,22	6,20	16,0
177	0,88	0,29	2,02	16,0
197	0,88	0,22	15,78	13,5
199	0,51	1,29	4,06	30,0
213	1,47	0,44	0,31	12,0

были выполнены в вариантах группы 3. Для всех вариантов данной группы характерно постоянство продолжительности как импульсного воздействия, так и пауз между импульсами в пределах каждого из вариантов (табл. 3).

Отличие вариантов группы 3 от вариантов группы 2 заключается в переменной амплитуде импульсного воздействия, изменяющейся в цикле от минимальной (табл. 4) до максимальной (режимы вариантов группы 2, см. табл. 2).

Схематичное изображение режима работы экспериментальных скважин в вариантах группы 3 приведено на рис. 3.

Анализ результатов расчетов в целом по группе экспериментальных скважин (рис. 4) позволяет утверждать о технологической эффективности применения технологии ГИВВ.

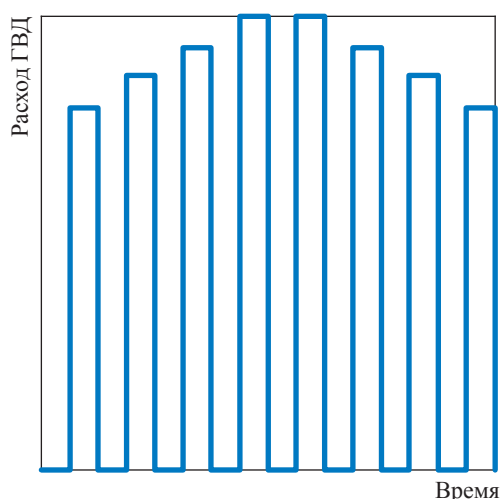


Рис. 3. Схематичное изображение режимов работы экспериментальных скважин в вариантах группы 3

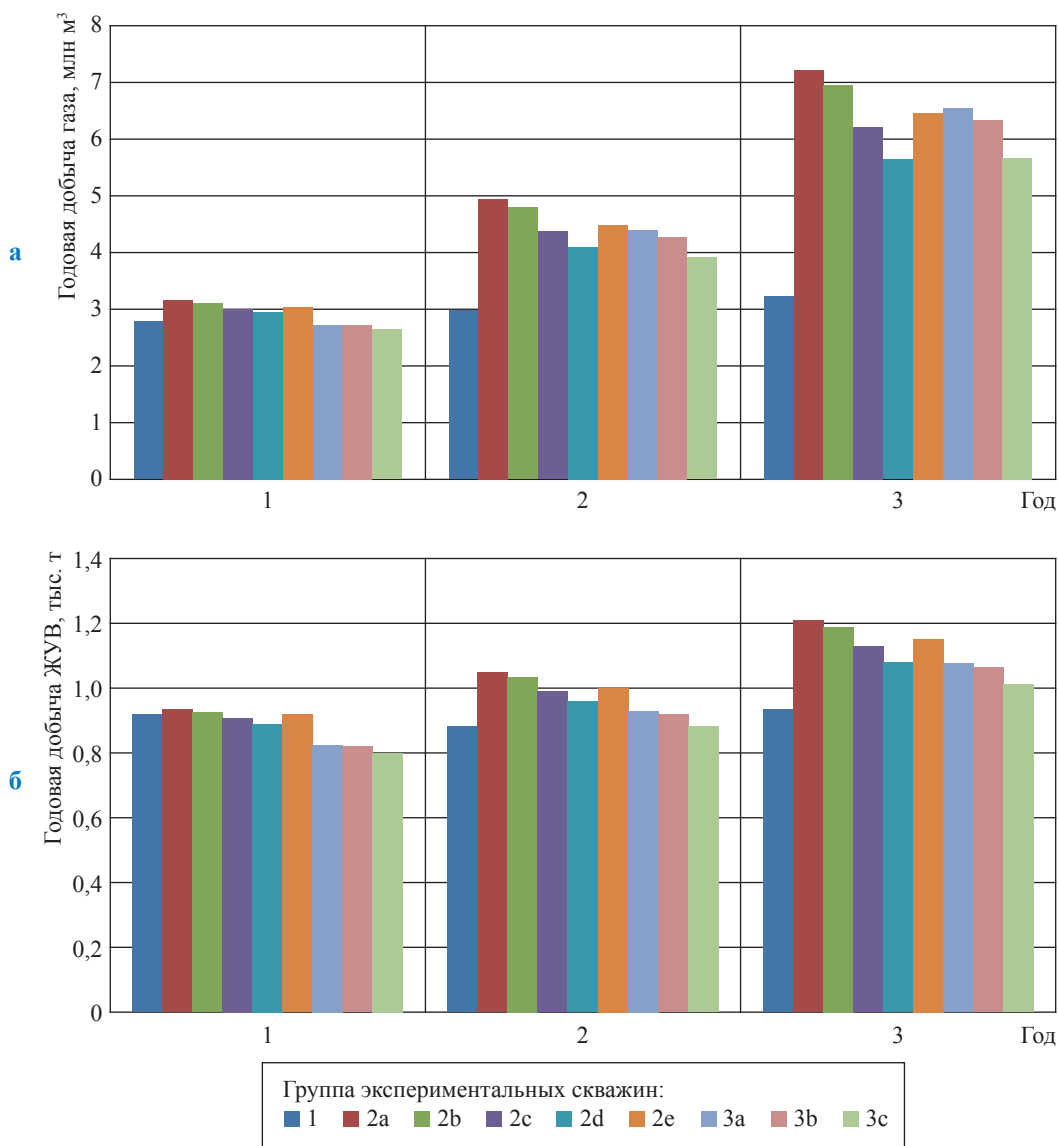


Рис. 4. Сравнительные гистограммы годовой добычи пластового газа (а) и ЖУВ (б) по вариантам (группа экспериментальных скважин)

Исключение составила лишь скважина № 177, где темпы роста добычи ЖУВ в варианте с непрерывным газлифтом превысили аналогичные величины в вариантах с ГИВВ.

Сопоставление результатов в вариантах внутри каждой из групп 2 и 3 позволяет прийти к выводу о благоприятном влиянии увеличения частоты (и, соответственно, уменьшения продолжительности) импульсного воздействия на компонентоотдачу экспериментальных скважин. Следует отметить, что не существует принципиальных различий между вариантами с продолжительностью импульса, равной 3 и 6 ч. Таким образом, указанный диапазон

частот импульсного воздействия является, с большой долей вероятности, оптимальным для работы экспериментальных скважин. Однако ограничение продолжительности импульса 3 ч имеет под собой именно технологическую основу.

Сравнивая между собой варианты групп 2 и 3 с одинаковой частотой импульсного воздействия, следует отметить, что варианты группы 3 несколько проигрывают в компонентоотдаче вариантам 2 группы. Вероятной причиной этого являются относительно низкие уровни отбора жидкости в вариантах с переменной амплитудой импульсного воздействия.

Список литературы

1. Бураков Ю.Г. Извлечение защемленного газа из обводненного пласта волновым депрессионным воздействием с применением установки циклического газлифта / Ю.Г. Бураков // Техноэкогеофизика – новые технологии извлечения минерально-сырьевых ресурсов в XXI веке: материалы I Всерос. геофиз. конф.-ярмарки (Ухта, 1–5 октября 2002 г.). – Ухта: УГТУ, 2002. – С. 118–125.
2. Тер-Саркисов Р.М. Промысловый эксперимент по добыче углеводородов из обводненной газоконденсатной залежи волновым депрессионным воздействием установкой циклического газлифта / Р.М. Тер-Саркисов, Ю.Г. Бураков, Н.В. Долгушин // Повышение нефтеотдачи пластов. Освоение трудноизвлекаемых запасов: труды 12-го Европ. симпоз., посв. 60-летию нефти Татарстана (Казань, 8–10 сентября 2003 г.). – Казань, 2003. – С. 824–830.
3. Пат. № 2379490 RU, МПК E 21B 43/18. Способ извлечения защемленного водой газа / Уляшев В.Е., Бураков Ю.Г. – № 2008133937/03; заявл. 18.02.2008; опубл. 20.01.2010. – Бюл. № 2.