

УДК 622.276

С.А. Герасименко, директор по освоению Сысконсыньинского месторождения, ЗАО «ЕВРОТЭК»;
А.С. Самойлов, к.т.н., доцент; **Д.Н. Глумов**, кафедра разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, ТюмГНГУ; **В.В. Журавлев**, главный специалист Отдела перспективного планирования, ОАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз»

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ РАЗРАБОТКИ МНОГОПЛАСТОВЫХ ОБЪЕКТОВ

В настоящее время практически все нефтедобывающие компании России внедряют системы одновременно-раздельной добычи и одновременно-раздельной закачки, однако доля пластов, разрабатываемых единым фильтром, остается достаточно высокой. Технология одновременно-раздельной разработки нескольких эксплуатационных объектов имеет ряд неоспоримых преимуществ, но остаются и направления по повышению эффективности, одним из которых является достоверное обоснование на стадии проектирования области эффективного использования технологии. В этой связи в статье представлен пример прогнозирования технологических показателей разработки двух пластов на основе гидродинамического моделирования.

Технологии одновременно-раздельной разработки нескольких эксплуатационных объектов (ОРРНЭО) активно применяются в настоящее время в процессе разработки многопластовых месторождений, результаты успешного внедрения и направления повышения их эффективности широко раскрыты в специализированных изданиях [1–6].

Контролирующими органами документально закреплено обязательство рассматривать при проектировании разработки многопластового объекта вариант с применением технологии ОРРНЭО [7, 8]. В этой связи проектным организациям необходимо проведение ряда вычислительных экспериментов по обоснованию наиболее оптимальных технологических режимов, поскольку даже при контролируемой выработке запасов нефти из каждого пласта возможно снижение технологической и экономической эффективности по причине нерентабельных дебитов или продолжительного срока разработки. Рассмотрим результаты вычислительных экспериментов по обосно-

ванию применения технологии ОРД, выполненные на гидродинамическом симуляторе Eclipse E100 на примере пластов АС₄ и АС₆ (Объект 2 Спорышевского месторождения).

Объект разработки АС Спорышевского месторождения включает в себя пласты АС₄, АС₆, АС₇, АС₈. Для моделирования выбраны участки двух пластов АС₄ и АС₆, размеры экспериментального участка – 1000х1000 м (рис. 1). Эк-

сплуатационной принимается вертикальная скважина.

Моделирование разработки проводилось до достижения обводненности 98%. Распределение слоев по оси Z: по пласту АС₄ – с 1 по 46, по пласту АС₆ – с 47 по 70. Геолого-физические характеристики пластов представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы, основное различие, осложняющее совместную экс-

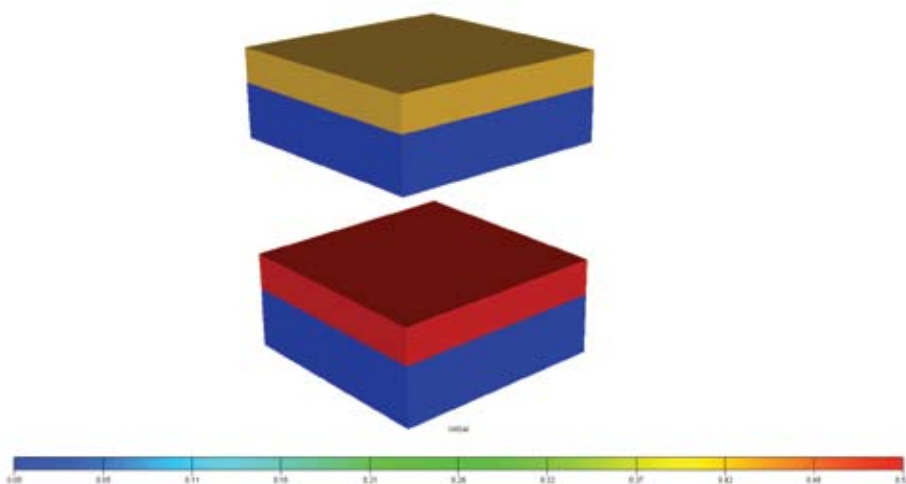


Рис. 1. Пример сеточной аппроксимации продуктивных пластов АС₄ и АС₆

плуатацию двух пластов, - это значительная разница в проницаемости (20 мД и 113 мД). Очевидно, что пласт АС₆ будет значительно быстрее выработаться по отношению к выработке пласта АС₄.

Накопленная добыча по слоям при совместной добыче приведена на рисунке 2. Распределение накопленной добычи по пластам приведено на рисунке 3, пласт 1 – АС₄, пласт 2 – АС₆. Характер выработки запасов по разрезу показан на рисунке 4. Как видно из рисунка, наиболее выработанным является пласт АС₆ (нижний объект). Результаты гидродинамических расчетов показали, что при совместной разработке коэффициенты извлечения нефти по пластам отличаются в несколько раз. Так, по пласту АС₄ до технологического выбытия скважины на секторной модели удалось добиться КИН, равного 0,116, когда по пласту АС₆ КИН составил 0,440 (см. рис. 5).

В связи с этим для пласта АС₄ необходимо применение отличных по сравнению с пластом АС₆ методов воздействия на пласт. Одним из таких методов является раздельная эксплуатация, которая позволяет обособленно воздействовать на пласт, начиная с простых решений, таких, как величина забойного давления, интервал перфорации, и применение сложных инженерных решений, например строительство горизонтальных стволов, позволяющих синхронизировать и выровнять интенсивность и характер выработки пластов.

Для сопоставления различных способов разработки многопластовых систем на примере объектов АС₄ и АС₆ были выполнены расчеты с совместной и одновременно раздельной способами добычами (СД и ОРД). Сопоставление приведено ниже на рисунках 6–7. Как видно из рисунков, преимущество раздельной добычи заключается в дополнительно добытой нефти в объеме 12,5 тыс. м³.

При совместной разработке за счет значительного и более раннего обводнения пласта АС₄ (пласт 1) происходит преждевременное выбытие скважины, дренирующей верхний объект (хотя потенциал верхнего пласта полностью не исчерпан), т.е. из-за высокой

Таблица 1. Геолого-физическая характеристика пластов АС₄ и АС₆

Параметры	АС ₄	АС ₆
Средняя глубина залегания, м	2029–2085	2059–2127
Тип залежи	пл-свод.	пл-свод.
Тип коллектора	терриг.	терриг.
Площадь нефтегазоносности, тыс. м ²	38 700	38 352
Средняя общая толщина, м	28,1	22,9
Средняя нефтенасыщенная толщина, м	4,9	5,3
Средняя водонасыщенная толщина, м	7,8	9,4
Пористость, доли ед.	0,23	0,25
Средняя нефтенасыщенность ЧНЗ, доли ед.	0,42	0,57
Средняя нефтенасыщенность ВНЗ, доли ед.	0,44	0,5
Средняя нефтенасыщенность в целом, доли ед.	0,43	0,53
Проницаемость, 10⁻³ мкм²	20	113
Коэффициент песчаности, доли ед.	0,41	0,51
Коэффициент расчлененности, доли ед.	6,2	4,2
Начальная пластовая температура, °С	61	62
Начальное пластовое давление, МПа	20,2	20,5
Вязкость нефти в пластовых условиях, мПа*с	1,99	1,94
Плотность нефти в пластовых условиях, г/см ³	0,802	0,799
Плотность нефти в поверхностных условиях, г/см ³	0,865	0,858
Абсолютная отметка ВНК, м	1933	1957–1966
Объемный коэффициент нефти, доли ед.	1,087	1,09
Содержание серы в нефти, %	0,64	0,57
Содержание парафина в нефти, %	2,55	2,5
Давление насыщения нефти газом, МПа	8,7	7,35
Газосодержание нефти, м ³ /т	52,5	48,4
Плотность воды в пластовых условиях, г/см ³	1,013	1,013
Вязкость воды в пластовых условиях, мПа*с	0,52	0,52
Коэффициент вытеснения, доли ед.	0,414	0,522

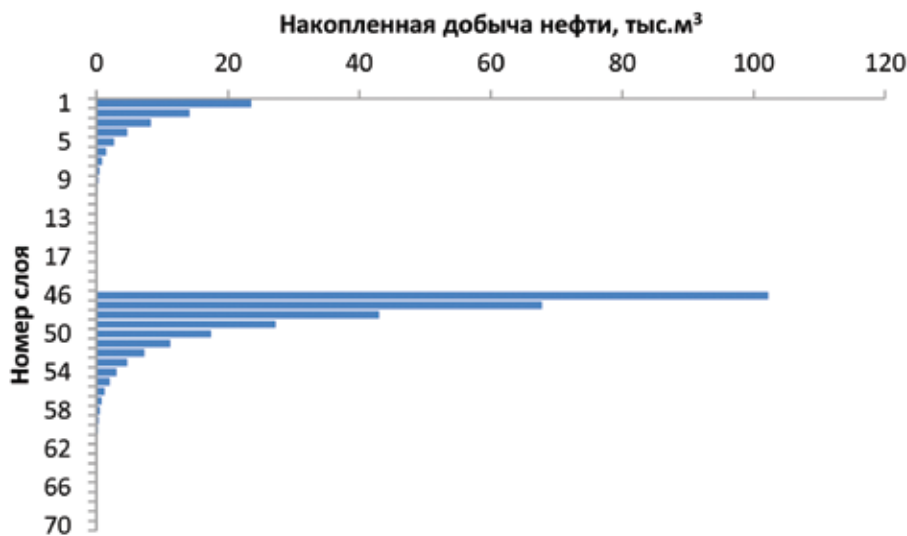


Рис. 2. Распределение накопленной добычи по интервалам на последний год разработки

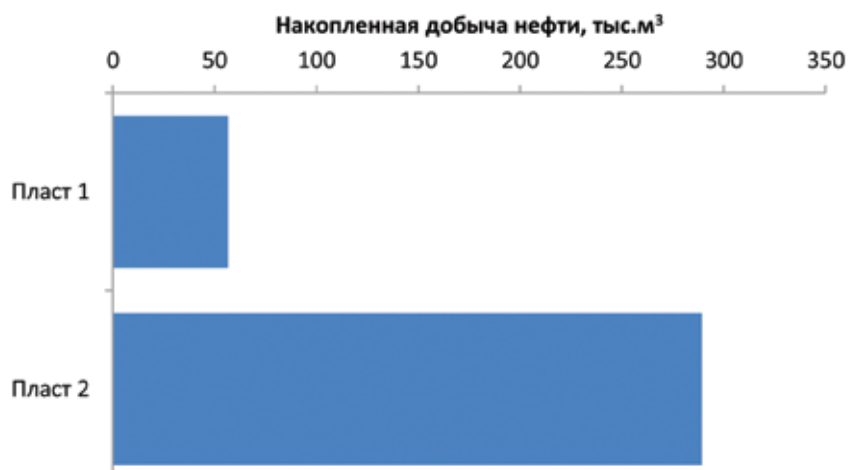


Рис. 3. Распределение накопленной добычи по пластам

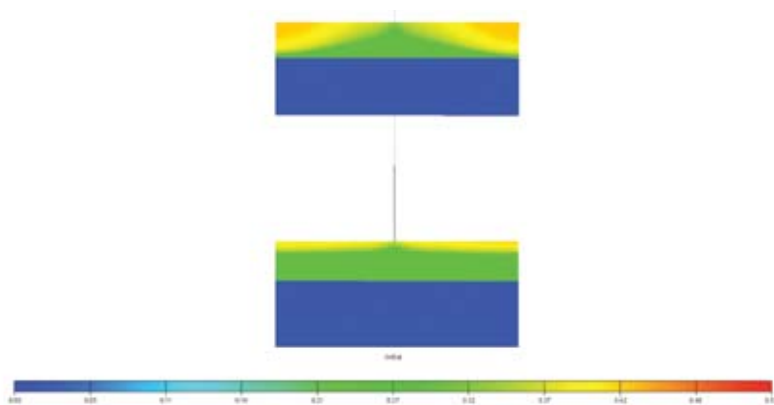


Рис. 4. Иллюстрация выработки запасов на примере куба нефтенасыщенности

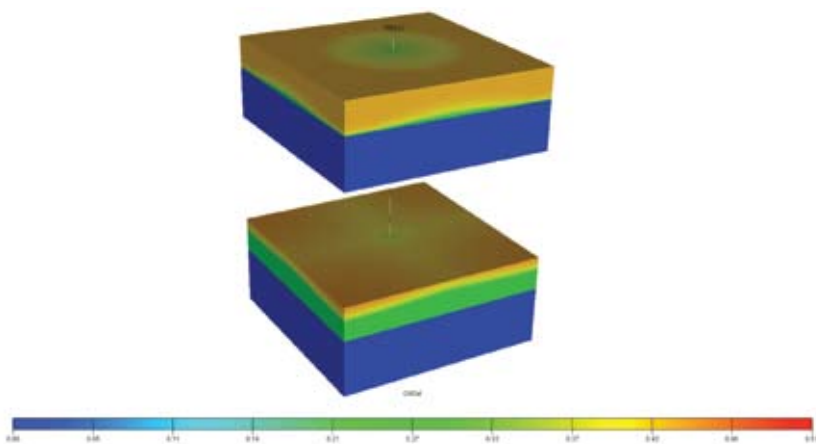


Рис. 5. Иллюстрация выработки запасов на примере куба нефтенасыщенности

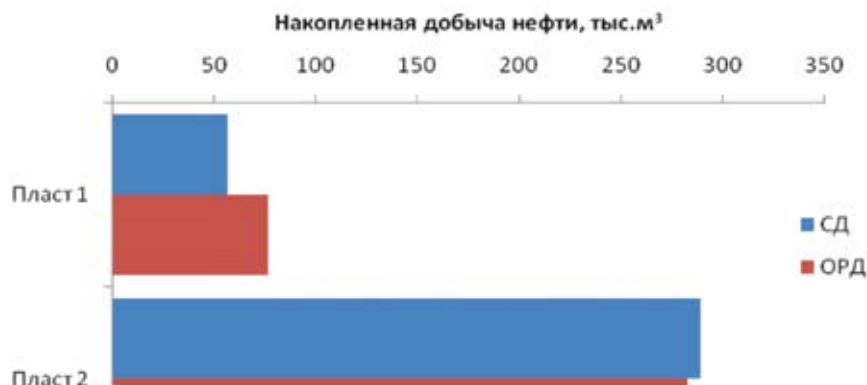


Рис. 6. Распределение накопленной добычи по пластам при различных способах эксплуатации объектов

обводненности пласта 1 пласт 2 выработывается не полностью. Очевидно, что избежать данной ситуации возможно и при совместной добыче за счет изолирования на поздней стадии разработки нижнего пласта. Но в любом случае постоянно осуществляемый мониторинг (проведение ИННК, ПГИ) для принятия оперативного решения, в свою очередь, накладывает дополнительную финансовую нагрузку по отношению к варианту с отдельной добычей. К тому же учет добычи пластов при совместной разработке осуществляется косвенными методами, что снижает качество предлагаемых решений по оптимизации добычи.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ВСКРЫТИЯ МНОГОПЛАСТОВЫХ ОБЪЕКТОВ И ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МНОГОПЛАСТОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

С целью повышения эффективности работы скважин при совместной разработке двух и более пластов были выполнены вычислительные эксперименты в Eclipse. Для обеспечения оптимального режима работы пластов использовалась конструкция лифтовых подъемников, позволяющая регулировать приток из пластов штуцированием.

Моделирование конструкции подъемника с наличием штуцера осуществлялось путем подключения в Eclipse опции Network. Конструкция подъемника с наличием штуцера приведена на рисунке 8. Контроль работы скважины регулировался по давлению на устье скважины.

Отключение скважин производилось одновременно по достижении суммарной обводненности по двум скважинам в 98%. Величина ограничивающего дебита, а следовательно, и депрессии подбиралась таким образом, чтобы обеспечить равномерную выработку пластов. Для этого отдельно по пластам была выполнена серия расчетов, позволяющая достигнуть максимальной эффективности при разработке исследуемых объектов. Матрица вариантов по определению наиболее эффективного варианта приведена в таблице 2 и на рисунках

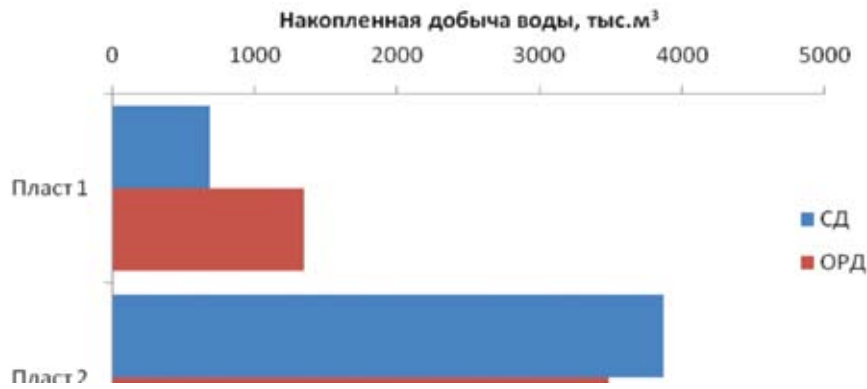


Рис. 7. Распределение накопленной добычи воды при различных способах разработки

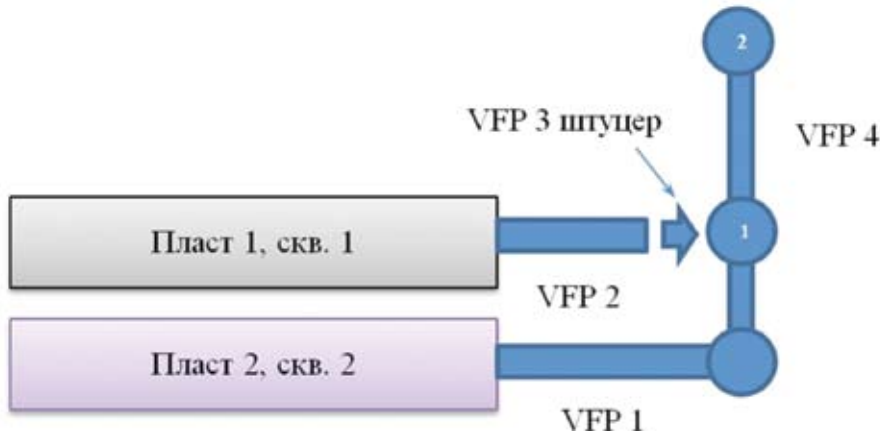


Рис. 8. Принципиальная схема контроля работы скважины с ограничением притока одного из пластов

Таблица 2. Оценка КИН по пласту АС4 в зависимости от режима работы добывающих скважин

Вариант	Ограничивающий дебит жидкости, м ³ /сут.	Перфорированная толщина, м	КИН (АС4), д. ед.	КИН (АС6), д. ед.
1	1	5	0.257	0.468
2	5	5	0.168	0.384
3	10	5	0.151	0.350
4	25	5	0.143	0.339
5	50	5	0.143	0.421
6	100	5	0.143	0.445
7	200	5	0.143	0.446
8	1	2.5	0.257	0.469
9	5	2.5	0.168	0.384
10	10	2.5	0.152	0.350
11	25	2.5	0.148	0.426
12	50	2.5	0.148	0.446
13	100	2.5	0.148	0.445
14	200	2.5	0.148	0.445
16	1	1	0.257	0.469
17	5	1	0.168	0.384
18	10	1	0.160	0.421
19	25	1	0.160	0.449
20	50	1	0.160	0.448
21	100	1	0.160	0.448
22	200	1	0.160	0.448



1200
НАИМЕНОВАНИЙ

**САМЫЙ БОЛЬШОЙ
 АССОРТИМЕНТ
 НЕРЖАВЕЮЩЕГО
 МЕТАЛЛОПРОКАТА**

ООО «УТК-Сталь»
 620010, г. Екатеринбург,
 ул. Чернышевского, д. 67
 Тел.: +7 (343) 216-54-30, 216-54-24
 e-mail: sv@utk-steel.ru

Филиалы:
 140090, Московская область,
 г. Дзержинский, ул. Дзержинская,
 д. 42, офис 22
 Тел.: +7 (495) 550-83-08, 550-81-09
 e-mail: msk@utk-steel.ru

194100, г. Санкт-Петербург,
 ул. Александра Матросова, д. 10
 Тел.: +7 (812) 702-10-77, 702-10-36
 e-mail: spb@utk-steel.ru

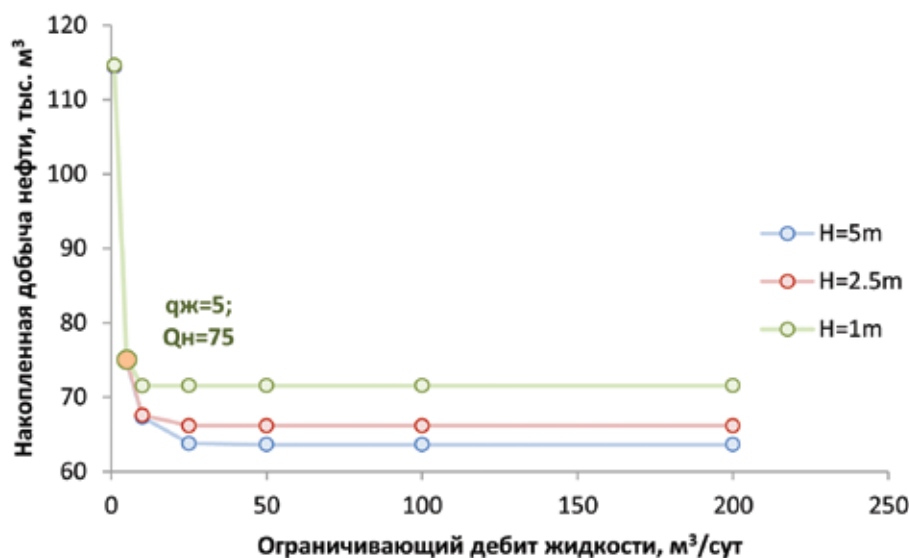


Рис. 9. Обоснование наиболее эффективного технологического режима и интервала перфорации для пласта АС₄

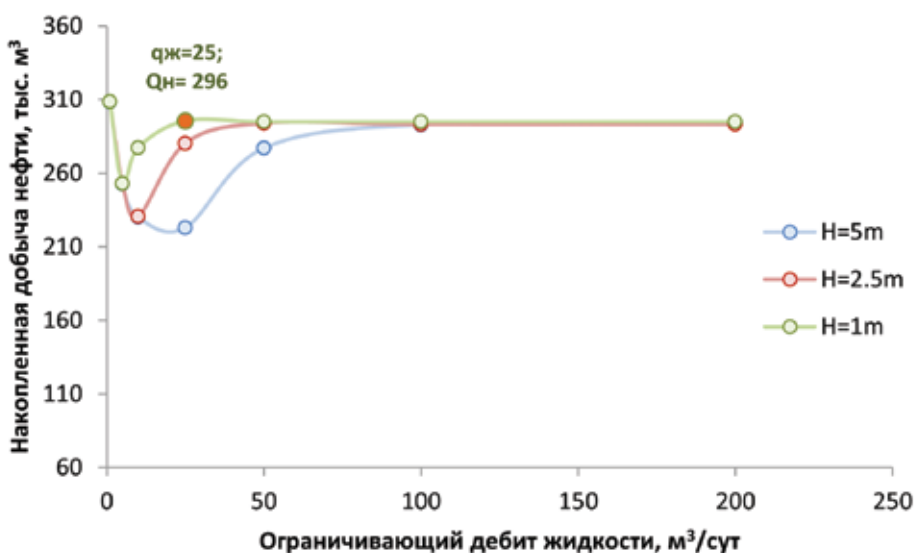


Рис. 10. Обоснование наиболее эффективного технологического режима и интервала перфорации для пласта АС₆

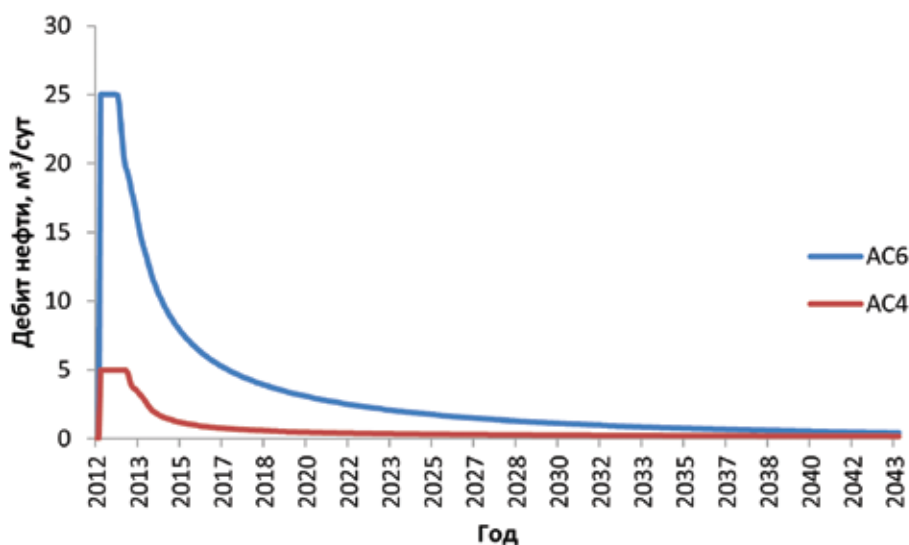


Рис. 11. Динамика добычи нефти при реализации совместной разработки (ограничение притока из пластов)

9–10. В поисках наилучшего решения варьировались дебит и перфорированная толщина пласта.

По результатам гидродинамических расчетов наиболее эффективным режимом эксплуатации добывающих скважин пласта АС₄ явился вариант с перфорацией 1 м коллектора, начиная с кровли и дебита по жидкости в 5 м³/сут. Несмотря на то что по вариантам с ограничивающим дебитом в 1 м³/сут. КИН получились наивысшими, реализация 50 таких вариантов не рентабельна, по причине значительного долгого срока разработки.

Для пласта АС₆ наиболее оптимальным явился режим работы с ограничением дебита по жидкости в 25 м³/сут. и перфорацией 1 м толщины.

Выполнение расчетов при совместной разработке двух пластов со штуцированием притока осуществлялось путем установления контроля по дебиту жидкости. Перепад давления на штуцере рассчитывался автоматически с помощью специальной опции, реализованной в Eclipse Network, – автоматического штуцера. Динамика дебитов нефти при реализации совместной разработки с ограничением притока по пластам показана на рисунке 11. Коэффициенты извлечения при реализации данного варианта составили: 0,456 – пласт АС₆, 0,123 – пласт АС₄.

Динамика добычи по пластам и значения коэффициентов извлечения нефти указывают на низкую эффективность предлагаемого метода разработки пластов по нескольким причинам:

- во-первых, различные сроки эксплуатации объектов до полной выработки, отличающиеся практически в два раза (по пласту АС₄ необходим более длительный срок разработки вследствие низких ФЕС),
- во-вторых, сопоставление КИН свидетельствует о низком ресурсоизвлечении из пласта АС₄;
- в-третьих, для повышения эффективности работы пласта АС₄ необходимо изменять конструкцию и тип заканчивания скважины. Очевидно, что реализация бурения горизонтальной скважины с двумя стволами позволила бы выровнять как темп отбора по пластам, так и КИН.

С целью реализации решения для выбора наиболее эффективного варианта было рассмотрено несколько технологических решений. Схематичное отображение предлагаемых типов заканчивания показано на рисунке 12. Краткое описание рассчитанных вариантов приведено в таблице 3. На этапе выбора оптимального варианта режим работы скважины принимался аналогично реализованному в наилучшем варианте по пласту АС₆ с

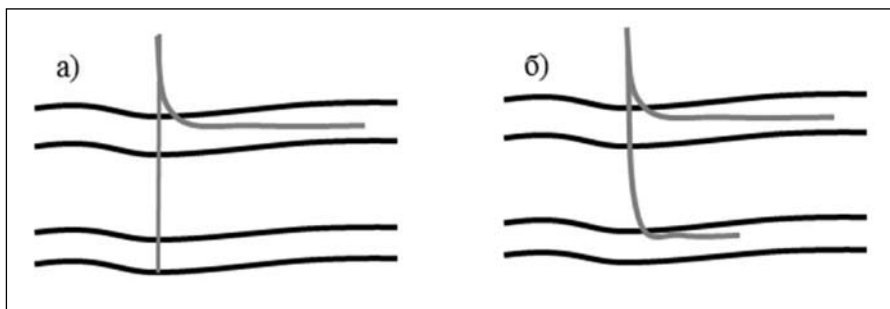


Рис. 12. Схематичное отображение заканчивания скважин: а) вариант с бурением горизонтального ствола на пласт АС₄ и вертикального окончания на пласт АС₆; б) отображение варианта с реализацией двух горизонтальных скважин

Таблица 3. Краткая характеристика вариантов при реализации совместной разработки с горизонтальным заканчиванием

Вариант	Тип заканчивания/ длина ГС, м (пласт АС ₄)	Тип заканчивания/ длина ГС, м (пласт АС ₆)	КИН (АС ₄), д. ед.	КИН (АС ₆), д. ед.	Срок окончания разработки (АС ₄)	Срок окончания разработки (АС ₆)
0	ВС	ВС	0.123	0.456	2081	2041
1	ГС/100	ГС/100	0.146	0.448	2023	2041
2	ГС/200	ГС/200	0.163	0.451	2023	2041
3	ГС/300	ГС/300	0.179	0.453	2024	2040
4	ГС/400	ГС/400	0.204	0.454	2025	2039
5	ГС/600	ГС/600	0.228	0.452	2024	2038
6	ГС/800	ГС/800	0.234	0.447	2022	2036
Комбинация лучшего варианта с ГС и ВС	ГС/600	ВС	0.231*	0.449	2042	2041

* – повышение КИН по пласту объясняется оптимизацией режима работы скважины



АРМ ГАРАНТ



Электроприводы ЭВИМТА для задвижек Ду 50 - 1200 мм

Пневмоприводы ПСДС для шаровых кранов Ду 300 - 1000 мм

Монтажные, пусконаладочные, ремонтные работы
на объектах нефтегазового комплекса

450059, г. Уфа, ул. Р. Зорге, 19/5

тел./факс: (347) 223-74-15, 223-74-17

e-mail: armgarant@ufamail.ru

www.armgarant.ru

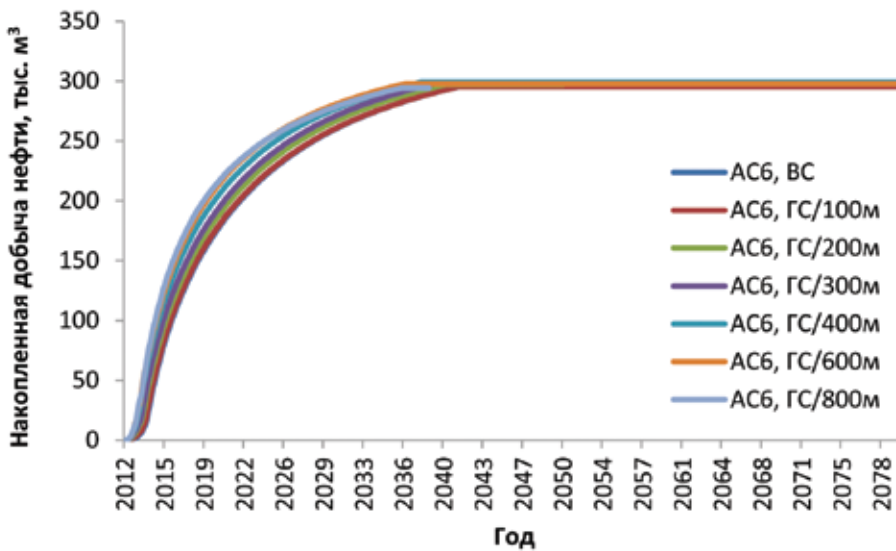


Рис. 13. Сопоставление вариантов по накопленной добыче по пласту АС₆

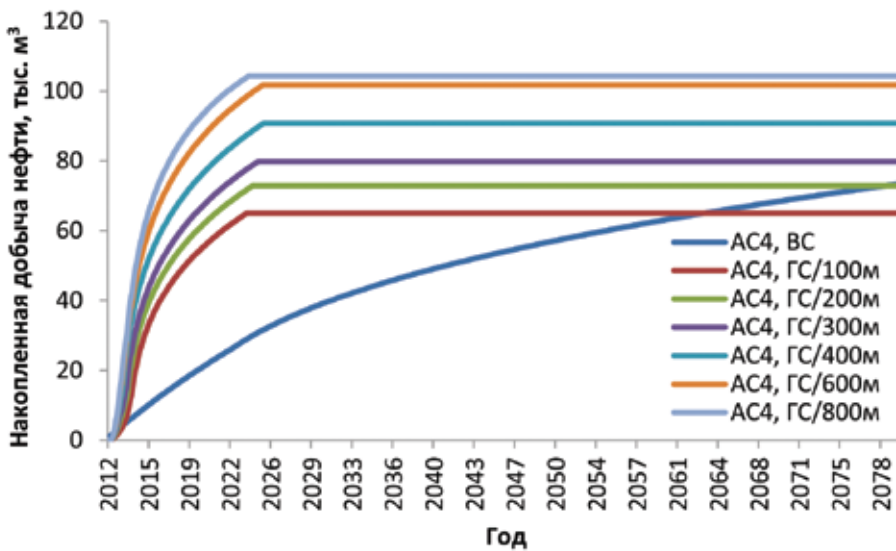


Рис. 14. Сопоставление вариантов по накопленной добыче по пласту АС₄

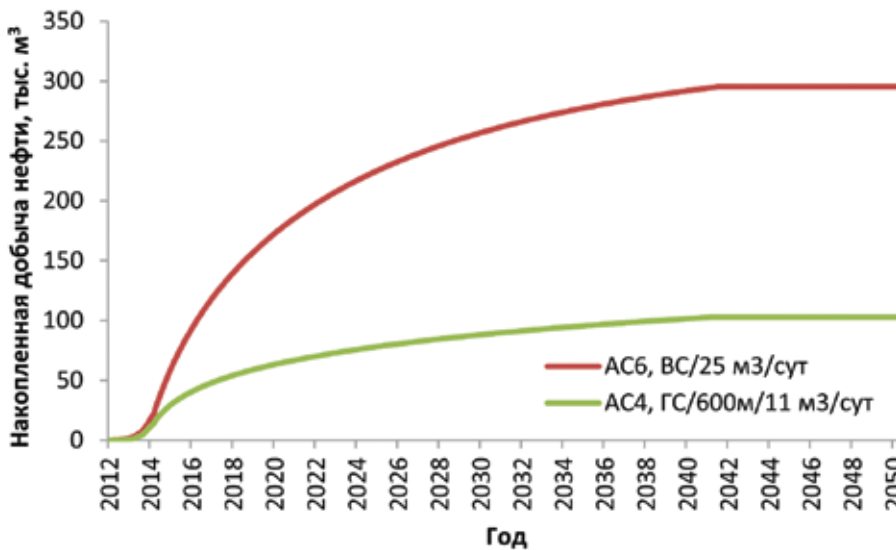


Рис. 15. Динамика накопленной добычи нефти по комбинированному варианту

вертикальным заканчиванием технологическому режиму (ограничение по дебиту жидкости в 25 м³/сут.).

Результаты расчетов по пласту АС₆ приведены на рисунке 13, по пласту АС₄ – на рисунке 14.

Как видно из рисунка 13, для пласта АС₆ преимущества от бурения горизонтальных скважин нет. Наилучшим способом заканчивания для пласта АС₆ являются ВС. По пласту АС₄ ввиду низких ФЕС (проницаемости) наилучшей реализацией явился вариант с бурением ГС при протяженности горизонтального участка 600 м. Вариант с протяженностью в 800 м существенного прироста по КИН и накопленной добыче не дает.

Результаты расчетов по комбинированному варианту (сочетание лучших решений по обоим пластам: бурение скважины с горизонтальным окончанием на верхний объект и вертикальным заканчиванием на нижний объект) приведены на рисунке 15.

При помощи технологии ограничения добычи с пласта совместно с оптимизацией системы воздействия удалось достичь хороших технологических показателей. Низкие значения КИН по пласту АС₄ объясняются геологическим строением, для качественной оценки эффективности технологии от значения КИН можно перейти к коэффициентам охвата согласно формуле:

$$K_{\text{охв}} = \frac{K_{\text{ИН}}}{K_{\text{ВЫТ}}}$$

$$K_{\text{охв}}^{\text{АС}_4} = \frac{0.231}{0.414} = 0.558$$

$$K_{\text{охв}}^{\text{АС}_6} = \frac{0.449}{0.522} = 0.860$$

Расчет коэффициентов охвата показывает степень вовлечения запасов в разработку: так, по пласту АС₄ вовлечено около 56% запасов, а по пласту АС₆ – около 86%. Если сопоставить данные результаты с первоначальными значениями при разработке залежей вертикальными скважинами без оптимизации, в результате получим следующий прирост: по пласту АС₄ первоначальное значение коэффициента охвата – 28%, после оптимизации – 56% (прирост практически в 2 раза), по пласту АС₆ первоначально коэффициент охвата – 84%, после оптимизации – 86%.

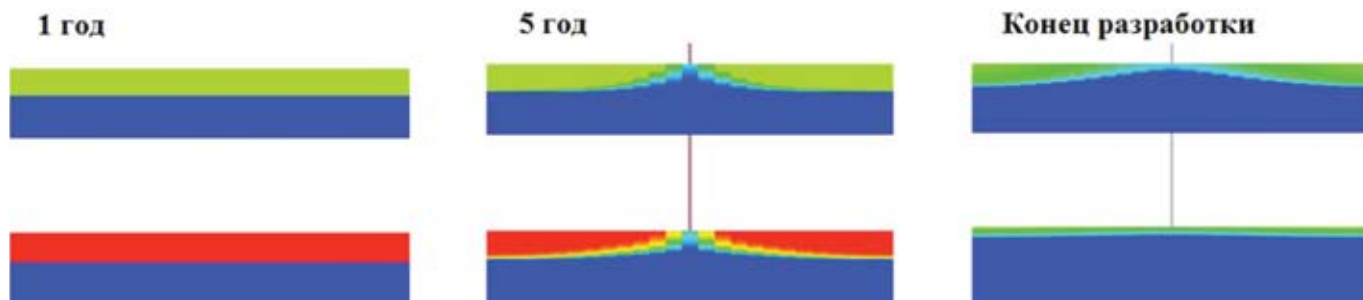


Рис. 16. Иллюстрация выработки запасов по разрезу при разработке ВС

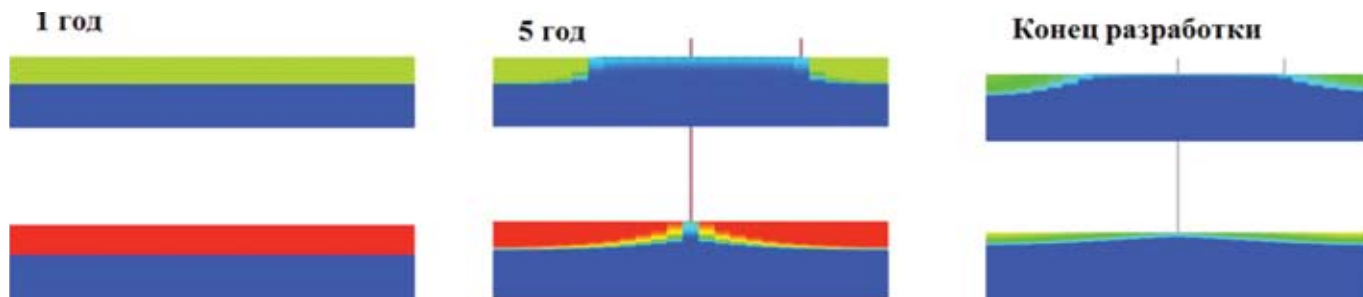


Рис. 17. Иллюстрация выработки запасов по разрезу при разработке ВС и ГС (комбинированный вариант)

Сопоставление выработки запасов по разрезу по вариантам с горизонтальным и вертикальным заканчиванием показано на рисунках 16–17.

Из рисунка видно, что разработка горизонтальными скважинами позволяет наиболее полно охватить пласт как по разрезу, так и по площади, а следовательно, увеличить коэффициент охвата.

ВЫВОДЫ

В поисках наилучшего варианта разработки многопластовых залежей был разработан следующий алгоритм. На первой стадии выбора оптимального варианта разработки предлагается

производить расчеты на секторной модели при дренировании залежей наклонно-направленными скважинами. Данные варианты при реализации различных технологических режимов, выбора интервала перфорации позволят выявить оптимальный вариант согласно геологическому строению по каждому из объектов. Вторая серия расчетов направлена на выбор способа эксплуатации – совместная и раздельная добыча. Третьим этапом является применение для пластов с низкими ФЕС ГТМ, позволяющих синхронизировать и интенсифицировать разработку залежей, получив тем самым в короткие сроки необходимый темп отбора запасов. На данном этапе

рассматриваются варианты с ГРП и бурением многоствольных ГС. Четвертый этап работы позволяет определиться с необходимостью интенсификации притока, типом заканчивания, ГТМ и режимом работы. По результатам расчетов данных этапов рекомендуется наилучший вариант.

На примере Спорышевского месторождения данный алгоритм показал, что наилучшим является вариант с бурением горизонтального ствола на пласт АС₄ протяженностью 600 м и вертикальным заканчиванием на пласт АС₆. Разработку данных пластов наиболее эффективно осуществлять совместно с ограничением дебитов жидкости по пластам.

Литература:

1. Захаров И.В. Проблемы и перспективы внедрения технологии ОРР многопластовых месторождений в России / И.В. Захаров, В.А. Афанасьев // Инженерная практика. – 2011. – № 3. – С. 72–75.
2. Афанасьев В.А. Оптимизация компоновки и насосного оборудования ОРЭ скважин / В.А. Афанасьев // Инженерная практика. – 2012. – №2. – С. 36.
3. Марданшин А.Н. Реализация программы внедрения технологий ОРЭ и ОРЗ в ОАО «ЛУКОЙЛ» / А.Н.Марданшин // Инженерная практика. – 2012. – №2. – С. 50.
4. Ипатов А.И. Мониторинг и регулирование залежей с использованием ОРЭ и оборудованием SMART WELL. Адаптация систем ОРЭ к задачам по контролю разработки / А.И. Ипатов // Инженерная практика. – 2012. – №2. – С. 16.
5. Ивановский В.Н. ОРД нефти и эксплуатация БС: обзор современных технологий и перспективы развития / В.Н. Ивановский // Инженерная практика. – 2012. – №2. – С. 4.
6. Муслимов Э.Я. Проекты ОРЭ пластов в ТНК-ВР: на низком старте / Э.Я. Муслимов, П. В. Медведев // Новатор. – 2012. – №5. – С. 2–10.
7. Протокол ЦКР Роснедра №3367 от 28.04.2005 г.
8. Протокол ЦКР Роснедра по ХМАО – Югре № 970 от 28.11.2007 г.

Ключевые слова: одновременно-раздельная разработка, многопластовое месторождение, технологические показатели, гидродинамическое моделирование.