

УДК 622.276

Разработка трудноизвлекаемых запасов: подходы к эксплуатации двух пластов, связанных по вертикали проницаемым пропластком

А.В. Демидов

Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 117279, Москва, ул. Профсоюзная, 93. E-mail: avdemidov88@gmail.com

(Статья поступила в редакцию 25 мая 2014 г.)

Рассматриваются подходы к разработке слоисто-неоднородных залежей, где продуктивные пласты гидродинамически связаны прослоем с низкой проницаемостью. Описаны достоинства и недостатки каждого из подходов, а также проведены расчеты на гидродинамическом симуляторе для количественного сравнения способов разработки слоисто-неоднородных залежей.

Ключевые слова: *трудноизвлекаемые запасы, ОРЭ, гидродинамически связанные пласты, моделирование разработки, межпластовые перетоки, гидродинамическая модель.*

Введение

В настоящее время в мире почти закончились месторождения с легкоизвлекаемой нефтью, поэтому компании-операторы нефтедобывающих проектов все чаще вынуждены разрабатывать месторождения с трудноизвлекаемыми запасами. Как правило, при разработке таких месторождений возникает немало сложностей, связанных с низкими коэффициентами охвата пластов, а также неблагоприятными характеристиками вытеснения. Все это приводит к невысоким коэффициентам извлечения нефти и соответственно снижению экономической эффективности проектов. Рассматривая месторождения с трудноизвлекаемыми запасами, выделим залежи с двумя или более пластами, гидродинамически связанными между собой и значительно отличающимися по своим фильтрационно-емкостным характеристикам. Высокая неоднородность данного типа месторождений приводит к тому, что пласты вырабатываются неравномерно и как только по одному из

пластов происходит прорыв закачиваемого агента, оставшиеся запасы нефти в других пластах извлечь становится крайне сложно [3]. В данной работе собраны и проанализированы основные существующие подходы к разработке таких залежей:

- поочередное вскрытие и разработка пластов одной сеткой скважин,
- одновременное вскрытие и разработка пластов одной сеткой скважин,
- одновременное вскрытие и разработка пластов двумя сетками скважин,
- одновременное вскрытие и разработка пластов одной сеткой скважин с использованием технологии одновременно-раздельной эксплуатации (ОРЭ).

Все вышеописанные подходы были смоделированы на секторной модели в программном комплексе Eclipse (Schlumberger). В модели рассматривались два продуктивных пласта (высоко- и низкопроницаемый), между которыми существует проницаемый пласт, обеспечивающий гидродинамическую связанность

пластов (рис 1). Пласты вскрываются двумя скважинами (добывающей и нагнетательной), расположенными в противоположных углах модели на расстоянии 500м друг от друга. Варианты вскрытия пластов отличаются для каждого из приведенных выше подходов к разработке и будут описаны ниже. В расчетах рассматривался 25-летний период разработки за-

лежи путем заводнения. Расчеты для каждого из методов проведены для 3 вариантов толщин среднего пласта (1,5 и 10 м) и 2 вариантов его проницаемости (0.1 и 1 мД). На рис. 1 красным цветом выделены продуктивные пласты (верхний высокопродуктивный и нижний – низкопродуктивный). Все полученные результаты представлены в табл. 1.

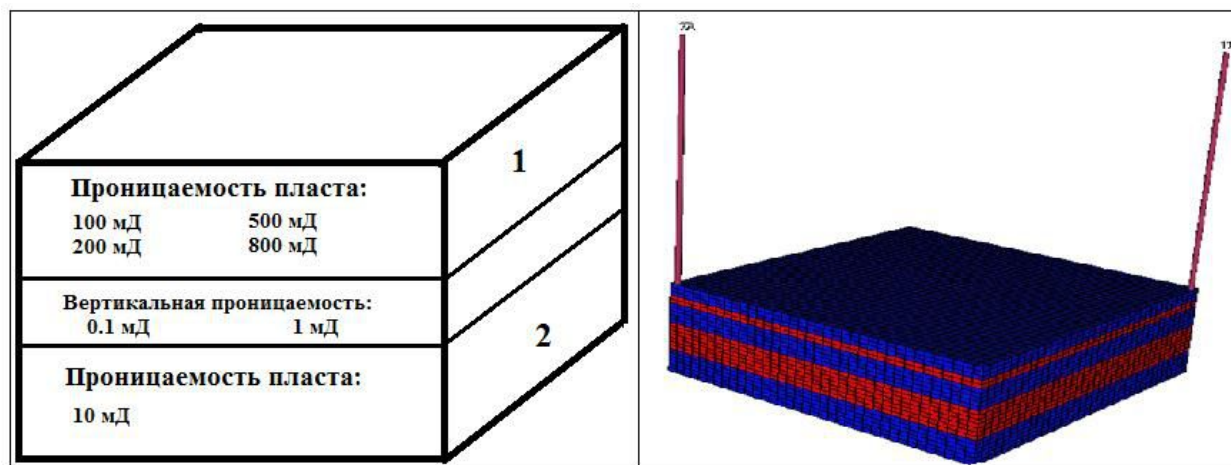


Рис. 1. Секторная модель элемента 5 точечной системы разработки

Поочередное вскрытие и разработка пластов

Многие специалисты считают такой подход наиболее надежным, хотя и самым длительным из всех представленных в данной работе. Надежность метода состоит в том, что нет необходимости спускать в скважину высокотехнологичное и сложное оборудование, эксплуатация и ремонт которого требуют значительных затрат времени и ресурсов[1, с. 10–12]. Суть метода заключается в раздельном вскрытии и разработке пластов. Сначала перфорируется нижний пласт и разрабатывается до тех пор, пока обводненность продукции не достигла критического значения. После чего нижние интервалы обеих скважин изолируются (цементируются), а в пласт, в редких случаях, закачивается химический раствор для изоляции пластов друг от друга. Далее происходит перфорация и разрабатывается верхний пласт. Такой подход был смоделирован на сек-

торной модели, но с допущением, что каждый из пластов разрабатывается равный промежуток времени (12.5 лет), а не по достижении критической обводненности. Расчеты показали, что при гидродинамической связанности пластов возникают перетоки жидкости[4, с. 47–48] из одного пласта в другой и это отражается на конечном КИН. Возникновение перетоков происходит с самого начала разработки и приводит к тому, что значительная часть запасов в нижнем пласте остается неохваченной процессом заводнения. Таким образом, к достоинствам метода можно отнести:

- низкие капиталовложения для реализации,
 - простоту и надежность эксплуатации и ремонта внутрискважинного оборудования,
- а к недостаткам:
- наличие перетоков,
 - низкий темп добычи.

Несмотря на то, что данный подход характеризуется низкими капиталовложениями и достаточно прост в реализации, наличие связи между двумя продуктивными пластами приводит к невысокой эффективности метода.

Одновременное вскрытие и разработка пластов одной скважиной

Отличие рассматриваемого метода от предыдущего заключается в том, что оба пласта вскрываются одновременно и разрабатываются совместно. Такой подход характеризуется высоким темпом добычи, что приводит к сокращению времени, необходимого на его реализацию [2, с. 407–408]. При этом скважинное оборудование также отличается простотой в эксплуатации и ремонте и не требует значительных капиталовложений. Проведенные на модели расчеты показали, что, как и в предыдущем случае, возникает проблема с перетоками жидкости из одного пласта в другой, хотя нагнетание и добыча осуществляются одновременно для обоих пластов.

Достоинства:

- низкие затраты ресурсов на реализацию (табл. 2),
- средний/высокий темп добычи,
- простота эксплуатации и ремонта внутрискважинного оборудования.

Недостатки:

- наличие перетоков.

Одновременное вскрытие и разработка пластов двумя скважинами

Некоторые специалисты полагают, что единственным верным подходом к разработке таких неоднородных залежей является бурение двух сеток скважин и одновременная разработка обоих пластов. Этот метод характеризуется высоким темпом добычи, но при этом затраты на его реализацию возрастают почти вдвое из-за бурения второй сетки скважин. При этом также увеличивается риск попадания буровым инструментом в уже существую-

щую скважину при бурении новой. С другой стороны, повышается надежность системы разработки месторождения в целом, т.к. скважина, пробуренная рядом с уже существующей, может рассматриваться как скважина-дублер на разных стадиях реализации проекта [3, с. 12–13, 21–23].

Описанный подход был смоделирован путем размещения двух скважин, вскрывающих разные продуктивные пласты, в ячейке с одними и теми же координатами в направлениях X и Y.

Достоинства:

- высокий темп добычи,
- надежность системы разработки всего месторождения в целом,
- простота в эксплуатации и ремонте скважинного оборудования,
- гибкость в регулировании разработки.

Недостатки:

- повышенные риски при бурении второй сетки скважин,
- увеличение капитальных затрат на бурение и внутрискважинное оборудование почти вдвое (табл. 2),
- наличие перетоков.

Данный подход характеризуется надежностью и повышенными технологическими показателями разработки при значительном увеличении ресурсов, требуемых для реализации проекта.

Одновременное вскрытие и разработка пластов одной скважиной с использованием технологии одновременно-раздельной эксплуатации (ОРЭ)

Одновременно-раздельная эксплуатация предполагает одновременную разработку двух и более продуктивных пластов одной скважиной, пример схемы заканчивания [5, с.6–7] такой скважины приведен ниже (рис. 2).

Большинство экспертов полагают, что применение данной технологии оправдано лишь в тех случаях, когда разрабатываемые пласты разобщены

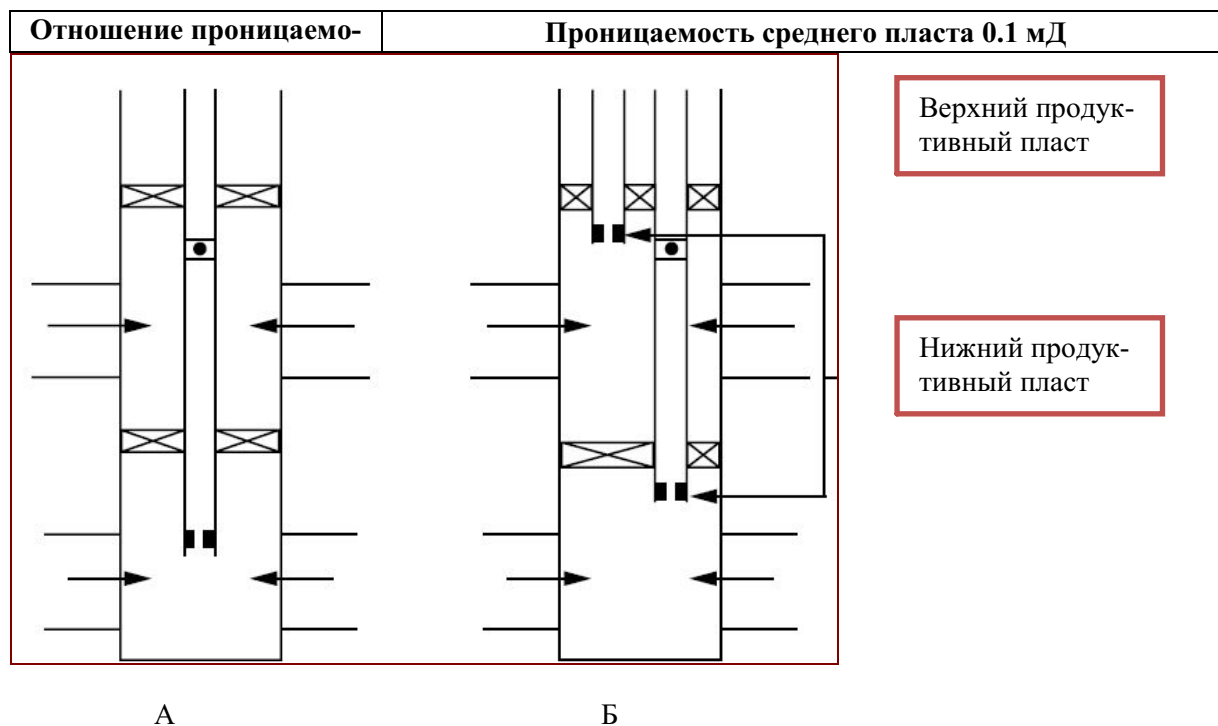


Рис. 2. Схемы заканчивания скважины с применением технологии ОРЭ с использованием одной НКТ (А) и двух НКТ (Б)

непроницаемым прослоем, а флюиды из разных пластов имеют схожие свойства [5, с. 3–4]. Но есть немало инженеров-нефтяников, которые считают, что применение технологии ОРЭ может быть целесообразно, когда речь идет о разработке связанных между собой пластов. Метод характеризуется повышенными затратами на внутрискважинное оборудование, а также его более сложной и высокотехнологичной конструкцией, что повышает риски, связанные с эксплуатацией и ремонтом, но позволяет сократить время и ресурсы, необходимые для бурения второй сетки скважин, при почти одинаковых показателях технологической эффективности. Технология ОРЭ моделировалась точно таким же образом, как и разработка пласта с помощью двух сеток скважин. С точки зрения моделирования два этих метода можно объединить и поэтому технологические показатели получились одинаковыми.

Достоинства:

- высокий темп добычи,

- гибкость в регулировании разработки,
- минимизация капитальных затрат, связанных с бурением скважин на разные пласты (табл. 2).

Недостатки:

- увеличение капитальных затрат на внутрискважинное оборудование (в данном случае примерно на 60%, а на разных проектах зависит от конкретных условий реализации),
- сложность в эксплуатации и ремонте внутрискважинного оборудования,
- наличие перетоков,
- уменьшение возможного диаметра НКТ (за счет спуска двух НКТ на разные пласты).

Технология ОРЭ позволяет сочетать высокие технологические показатели разработки при относительно незначительном увеличении капиталовложений для реализации проекта.

	Толщина среднего пласта 1м		
	Коэффициент извлечения нефти, %		
	Поочередное вскрытие пластов	Одновременное вскрытие пластов одной сеткой скважин	Вскрытие двумя сетками скважин/ОРЭ.
10	38,4	40,2	40,2
20	36,3	38,3	38,4
50	29,9	32,2	32,9
80	26,7	28,2	29,5
	Толщина среднего пласта 5м		
10	38,1	40,2	40,2
20	35,8	38,2	38,5
50	29,9	32,1	34,1
80	27,7	28,0	31,5
	Толщина среднего пласта 10м		
10	37,8	40,1	40,1
20	35,5	38,1	38,7
50	30,7	32,0	35,3
80	27,6	28,0	33,3
Отношение проницаемостей продуктивных пластов(верхний/нижний)	Проницаемость среднего пласта 1 мД		
	Толщина среднего пласта 1м		
	Коэффициент извлечения нефти, %		
	Поочередное вскрытие пластов	Одновременное вскрытие пластов одной сеткой скважин	Вскрытие двумя сетками скважин/ОРЭ.
10	39,1	40,2	40,2
20	36,8	38,3	38,3
50	30,6	32,1	32,4
80	27,1	28,1	28,7
	Толщина среднего пласта 5м		
10	38,8	40,2	40,1
20	36,3	38,2	38,3
50	29,8	32,1	32,4
80	26,4	27,9	28,8
	Толщина среднего пласта 10м		
10	38,56	40,04	40,05
20	36,12	38,14	38,23
50	29,61	32,07	32,58
80	23,53	27,86	29,00

Таблица 1. КИН по всем расчетным вариантам

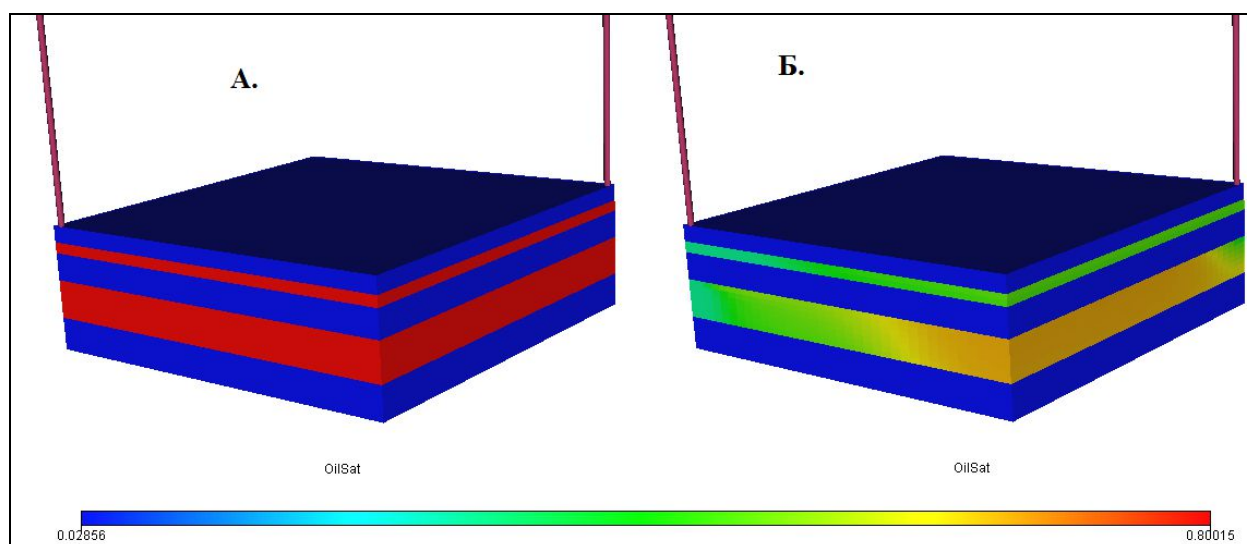
Таблица 2. Пример затрат на бурение скважин и установку внутрискважинного оборудования для различных вариантов разработки пластов

Вариант	Цена бурения скважины, млн.долл.	Цена внутрискважинного оборудования, млн.долл.	Сумма, млн. долл.
Поочередное вскрытие и разработка пластов одной сеткой скважин	1,979	0,69	2,669
Одновременное вскрытие и разработка пластов одной сеткой скважин	1,979	0,69	2,669
Одновременное вскрытие и разработка пластов двумя сетками скважин	3,859	1,38	5,239
Одновременное вскрытие и разработка пластов одной сеткой скважин с использованием технологии одновременно-раздельной эксплуатации (ОРЭ)	1,979	1,104	3,083

Выводы

Анализ рассмотренных вариантов разработки двух и более продуктивных пластов, связанных между собой, показал наличие перетоков между пластами, что всегда приводит к снижению коэффициента охвата пласта заводнением. Перетоки возникают в районе скважин, причем яв-

ляются разнонаправленными – около нагнетательной скважины просходит переток жидкости из нижнего в верхний пласт, а в районе добывающей скважины наоборот. Это сказывается на большем количестве запасов нефти, неохваченных процессом разработки в низкопродуктивном пласте (рис. 3).

**Рис. 3.** Распределение нефтенасыщенности: (А) на январь 2000г., (Б) на январь 2025г.

Следует отметить, что скважина, вскрывающая нижний продуктивный пласт, обводняется практически сразу после прорыва воды к забою скважины по

верхнему продуктивному пласту (рис. 4). Именно в этот момент можно говорить о прекращении эффективного процесса раз-

работки залежи и образовании целика нефти в нижнем продуктивном пласте.

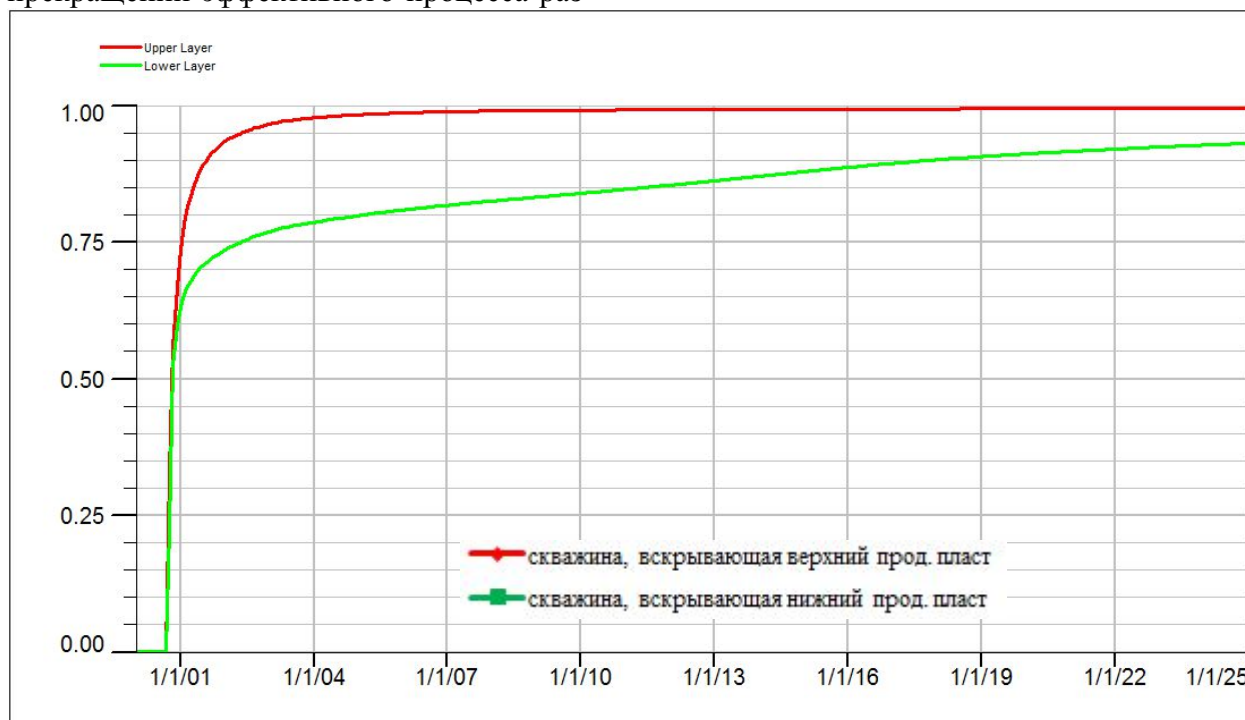


Рис. 4. График динамики обводненности по скважинам

Перетоки жидкости являются главной причиной нецелесообразности использования подходов, когда пласты разрабатываются одной сеткой скважин одновременно или по очереди. С целью повышения эффективности разработки лучше использовать технологии, позволяющие воздействовать на каждый пласт в отдельности. Это не решит проблему с перетоками жидкости и не приведет к значительному увеличению КИН (максимум до 5%), но позволит обеспечить максимально возможную гибкость системы разработки для проведения дальнейших геолого-

технических мероприятий по борьбе с ними.

Библиографический список

1. *Bellarby J.* Well Completion Design. Aberdeen, UK. Elsevier, 2009. 709 p.
2. *Dake L.P.* The Practice of Reservoir Engineering. Revised Edition TN. 2001. 656 p.
3. *Желтов Ю.П.* Разработка нефтяных месторождений: Учебник для вузов. М.: Недра, 1998. 332 с.
4. *Petroleum Engineering Handbook. General Engineering. Vol.1* Austin, USA. Society of Petroleum Engineers, 2006. 870 p.
5. *Production Technology Course. Chapter 7.* Heriot-Watt University, 2007.

Hard-to-recover Oil Reserves: Development Techniques for Two Oil-bearing Reservoirs with Permeable Layer between them

A. V. Demidov

Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin, 117279, Moscow, Profsoyuznaya Str., 93, Room 404

E-mail: avdemidov88@gmail.com

Article describes the development techniques for oil fields with layered heterogeneity, where layer of low permeability is situated between two oil-bearing formations. Advantages and disadvantages of each technique are given in the article, as well as the results of reservoir simulation for comparison of effectiveness of described development methods.

Key words: *hard-to-recover oil reserves, dual completion, simulation, cross-flows.*

References

1. *Bellarby J.* 2009. Well Completion Design. Elsevier, Aberdeen, UK, p. 709.
2. *Dake L.P.* 2001. The Practice of Reservoir Engineering. Revised Edition TN, p. 656.
3. *Zhelton Yu.P.* 1998. Razrabotka neftyanykh mestorozhdeniy: Uchebnik dlya vuzov [Development of oil deposits: Textbook]. Nedra, Moskva, p. 332.
4. *Petroleum Engineering Handbook.* 2006. "General Engineering Vol.1" Austin, USA. Society of Petroleum Engineers, p. 870.
5. *Production Technology Course,* 2007. Chapter 7, Heriot-Watt University.