

Таким образом, на примере процесса пиролиза показана эффективность применения подхода, основанного на идее "реакционных серий" ("серийно-индивидуального" подхода) для построения, анализа и упрощения кинетических моделей сложных нефтехимических реакций. В частности, рассчитаны надежные кинетические параметры реакций пиролиза, пригодные для различного вида нефтяного сырья, даны алгоритмы анализа и упрощения моделей, даны иллюстрации применения подхода для различных исследовательских и прикладных задач.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравцов А. В., Сваровская Н. А., Яблонский Г. С. Оценка энергий активаций реакций пиролиза бензинов. /Препринт ИК СО АН СССР. – Новосибир: СО АН СССР. – 1986. – 26 с.
2. Сваровская Н. А. Метод "реакционных серий". Компьютеризированный справочник. Физико-химические процессы в газе и плазме. Динамика физико-химических процессов в газе и плазме. – М.: МГУ, 1992. – С. 196–197.
3. Татавский В. М. Классическая теория строения молекул и квантовая механика. – М.: Химия. – 1973. – 516 с.
4. Сваровская Н. А., Кравцов А. В., Москвин В. С., Яблонский Г. С. Физико-химические вопросы построения укрупнённых моделей на примере реакций пиролиза. /Препринт ИК СО АН СССР. – Новосибир: СО АН СССР. – 1984. – 60 с.
5. Воеводский В. В. Физика и химия элементарных химических процессов. – М.: Наука, 1969. – 413 с.
6. Боресков К. Г. Основные формы каталитического действия. В кн.: Теоретические проблемы катализа. – Новосибир.: Наука. – 1975. – С. 5–9.
7. Степухович А. Д., Улицкий В. А. Кинетика и термодинамика радикальных реакций крекинга. – М.: Химия, 1975. – 245 с.

*The approach to simulation of hydrocarbon raw refinery processes is developed, including theoretical evaluation of kinetic characteristic for hydrocarbons of the same type. The estimation of characteristics was based on analysis of correlation between hydrocarbon structural characteristics and thermodynamic characteristics of elementary reaction of their thermal decomposition.*

УДК 622.243.24

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

А.К. КАСЕНОВ, Б.Б. КВЕСКО

*Проведен анализ работы горизонтальных скважин в случае различного положения горизонтального ствола относительно продуктивного пласта. Исследована зависимость продуктивности горизонтальных скважин от типа коллектора, слагающего объект разработки. Сделаны выводы о необходимости исследований по влиянию геологических особенностей пласта на продуктивность горизонтальных скважин.*

Первые попытки бурить горизонтальные скважины (ГС) были сделаны в 50-е гг. прошлого века. Скважину проходили электробуром; нагрузка на долото передавалась от утяжеленных труб, установленных в вертикальной части скважины. На основе этого опыта был сделан вывод, что бурение ГС технически возможно, но экономически невыгодно.

Первые существенные результаты горизонтального бурения были получены французской фирмой "Эльф Акитен" при разбуривании морского месторождения "Роспо Маре" (Италия) высоковязкой нефти в плотном трещиноватом известняке в 1978 г. После этого в мире возник большой интерес к горизонтальному бурению. В 80-е гг. многие компании-владельцы, в том числе "Юникал Нидерландс", "Бритиш Петролеум", "Мэрск", "Арко" и др., начали бурить горизонтальные скважины на месторождении Прадо-Бей. Это позволило существенно увеличить дебиты скважин. В настоящее время большинство ГС бурится в Северной Америке (рис. 1).

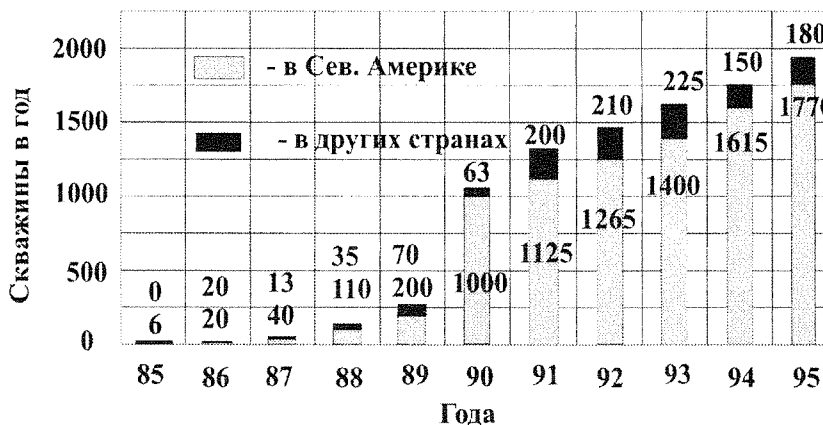


Рис. 1. Динамика бурения ГС за рубежом

В настоящее время технология бурения ГС находит широкое применение и в России, где проводка их становится обычной практикой. Технологию ГС широко применяют ведущие нефтяные компании России: Сургутнефтегаз, Юкос, Башнефть, Удмуртнефть, Сибнефть, Татнефть и другие. Это связано с тем, что к 1990 г. в структуре запасов углеводородов увеличилась доля подготовленных к разработке месторождений, относящихся к категории низко продуктивных (трудно извлекаемых), содержащих низкопроницаемые и неоднородные пласты и коллекторы, в том числе с высоковязкой нефтью. Подтвержденные извлекаемые запасы для их освоения ГС составляют около 7 млрд, в том числе по Западной Сибири – около 5 млрд т.

Впервые строительство горизонтальных скважин (ГС) в Западной Сибири было проведено ОАО "Сургутнефтегаз" в 1991 г. на Восточно-Сургутском месторождении. Основной задачей, поставленной при бурении первых двух ГС, было определение технической возможности бурения данных скважин с использованием отечественных оборудования и технологии. Контроль траектории ствола осуществлялся с помощью телеметрических систем MWD компании Spegg-Sun (США). В ОАО "Сургутнефтегаз" основное развитие горизонтального бурения получило на Федоровском месторождении с целью вовлечения в разработку трудноизвлекаемых запасов нефтегазовой залежи в кровельной части пласта АС<sub>4-8</sub>. В настоящее время технологической схемой разработки Федоровского месторождения предусмотрено бурение около 950 добывающих горизонтальных скважин, что не имеет аналогов в мировой практике и предусмотрено строительство 60–65 скважин ежегодно.

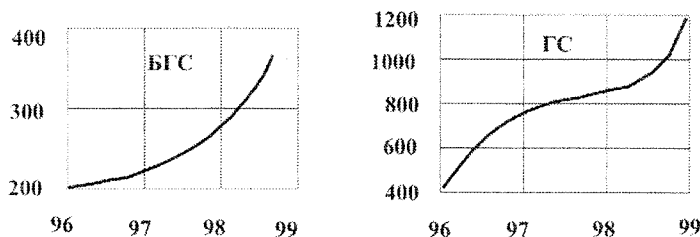


Рис. 2. Коммерческая скорость бурения (м/сут)

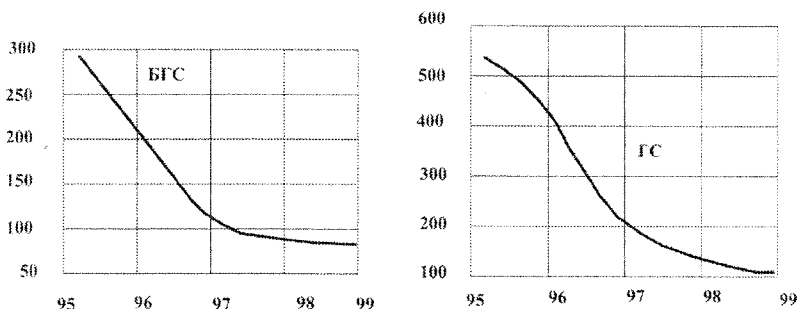


Рис. 3. Себестоимость одной скважины (\$)

В последние годы на передовые позиции в России в области горизонтального бурения и восстановления нерентабельных обводненных скважин методом резки боковых горизонтальных стволов (БГС) выходит ОАО "Удмуртнефть". В 1997 г. оно ввело в эксплуатацию 20 новых ГС и 41 скважина с БГС. В результате ввода горизонтальных скважин получено 49,4 тыс. т нефти, боковых горизонтальных стволов – 44,3 тыс. т, в том числе дополнительно 39,5 тыс. т. С учетом того, что многие ГС и БГС бурились в экспериментальном порядке в самых неблагоприятных условиях приведенные показатели добычи нефти за счет горизонтального бурения могли быть значительно выше. За последние годы в компании коммерческая скорость бурения ГС возрастает (рис. 2), поэтому уменьшается себестоимость ГС (рис. 3)

Следует отметить, что наряду с успешными результатами эксплуатации ГС имеется немало примеров недостаточной эффективности их использования. Среди причин данного явления надо отметить наряду с некачественным процессом бурения и освоения также недоучет влияния положения горизонтального ствола относительно продуктивного разреза и вида коллектора, по которому расположена скважина.

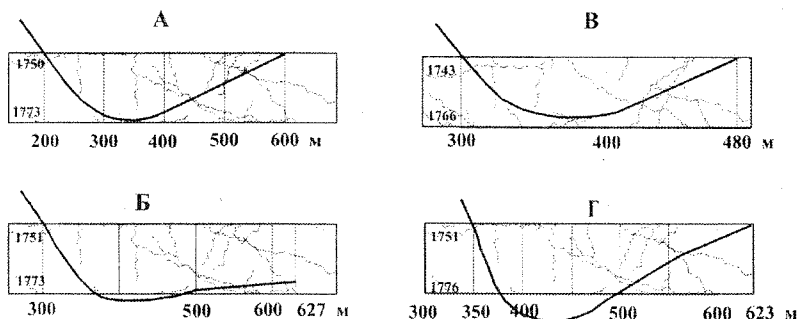


Рис. 4. Профили горизонтальных скважин

Для примера рассмотрим эффективность работы четырех ГС (профили горизонтальных стволов показаны на рис. 4), пробуренных объединением "Черногорнефть" на пласте АВ<sub>1</sub><sup>1-2</sup> "рябчик" Самотлорского месторождения с длинами горизонтальных стволов от 209 до 521 м. Пласт АВ<sub>1</sub><sup>1-2</sup> характеризуется песчаниками, аргиллитами и алевролитами, которые представляют собой беспорядочное слоисто-линзовидное чередование песчано-алевритовых и глинистых слоёв толщиной до долей миллиметра.

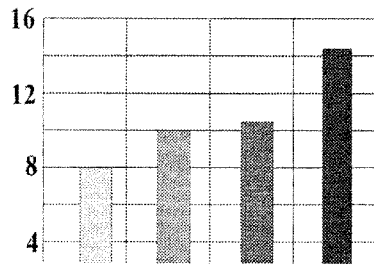


Рис. 5. Дебиты ГС по нефти, т/сут

Результаты эксплуатации ГС представлены на диаграмме рис. 5. Из данной диаграммы следует, что увеличение длины горизонтального ствола не обязательно приводит к увеличению эффективности работы горизонтальной скважины (скв. А и В). Кроме того, из данной же диаграммы можно сделать предположение о большей эффективности скважин, входящих горизонтальным участком в разрабатываемый пласт снизу, а не сверху (скв. Б, Г). Данное предположение требует дополнительных исследований как промысловых, так и теоретических.

На продуктивность горизонтальных скважин значительное влияние оказывает вид коллектора, по которому проложена данная ГС. Это влияние рассмотрим на примере ГС [2], пробуренных компанией "Башнефть" на карбонатных и терригенных отложениях (таблица 1).

Из таблицы видно, что ГС в терригенных коллекторах имеют в начале эксплуатации дебит по нефти, приблизительно, в 6 раз больший, чем в карбонатных, но производительность скважин резко падает и уже через 5 лет эксплуатации их дебит сравнивается с дебитом ГС в карбонатных коллекторах. Данное явление можно интерпретировать следующим образом. В период запуска ГС отбирает нефть из трещин, обладающих большей проницаемостью, чем поры карбонатных коллекторов. С течением времени начинается отбор из поровых блоков, обладающих низкими фильтрационно-ёмкостными свойствами. Таким образом, для поддержания производительности ГС в терригенных коллекторах необходимо периодически проводить мероприятия по интенсификации притока, на пример, селективный гидродразыв пласта.

Таблица 1

| Год эксплуатации | По залежам с карбонатными коллекторами |              |             |                 | По залежам с терригенными коллекторами |              |             |                |
|------------------|--|--------------|-------------|-----------------|--|--------------|-------------|----------------|
|                  | Число добыв ГС                         | Добыча нефти | дебит нефти | дебит жидкости. | Число добыв ГС                         | Добыча нефти | дебит нефти | дебит жидкости |
| 1991             | 4                                      | 1,5          | 4,7         | 5,4             | 0                                      | 0            | 0           | 0              |
| 1992             | 16                                     | 16,6         | 5,3         | 6,5             | 0                                      | 0            | 0           | 0              |
| 1993             | 23                                     | 40,3         | 5,7         | 7,4             | 0                                      | 0            | 0           | 0              |
| 1994             | 27                                     | 43           | 5           | 6,5             | 2                                      | 15,8         | 27,2        | 43,7           |
| 1995             | 31                                     | 41,4         | 4,2         | 5,2             | 3                                      | 15,2         | 21,7        | 47,6           |
| 1996             | 36                                     | 48,6         | 4           | 5               | 3                                      | 15           | 14          | 33,7           |
| 1997             | 47                                     | 61,8         | 4,2         | 6,1             | 7                                      | 21,1         | 12,9        | 29,3           |
| 1998             | 51                                     | 83,2         | 5,3         | 7,6             | 9                                      | 27,5         | 9,2         | 36,5           |
| 1999             | 62                                     | 119          | 6,4         | 9,9             | 11                                     | 26,2         | 8,1         | 63,1           |

На практике, успешными испытаниями были на турнейском и башкирском ярусе Татышлинского Югомаш-Максимовского месторождения соответственно, а также на Арланском, Старцевском и Илишевском месторождениях. Результаты испытаний показали, что дебит ГС в 1.5 раза выше, чем ВС при значительно меньшей депрессии на пласт и меньшей обводнённости.

В итоге можно отметить, что одной из важных проблем при проектировании горизонтальной скважины является то, что необходимо учитывать фактическое геологическое строение нефтяных пластов: наличие общей и эффективной толщин и многослойности, точность практического осуществления запроектированной траектории ГС и точность предсказания отклонений кровли и подошвы нефтяных и водяных пластов и слоёв вдоль горизонтальной части скважин.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О горизонтальном бурении. – НПО "Горизонт": Интернет. [http://project.udm.ru/horizo/Drilling\\_ru.htm](http://project.udm.ru/horizo/Drilling_ru.htm)
2. К.Х. Гайнуллин, Е.В. Лозин и др. Проектирование и реализация систем разработки нефтяных залежей с применением горизонтальных скважин// Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 12.
3. Применение горизонтальных скважин ООО "Черногорнефть"// Сборник статей. СибНИИ НП. – Тюмень, 1999.

## THE ANALYSIS OF APPLICATION OF HORIZONTAL WELLS

*The analysis of work of horizontal wells is lead in case of various position of a horizontal borehole concerning a productive layers. Dependence of efficiency of horizontal wells on type of the collector composing object of development is investigated. Conclusions about necessity of researches on influence of geological features of a layer on efficiency of horizontal wells are made.*

УДК 552.5:553.98.048

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ НАСЫЩЕННОСТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЙ КЕРНА ПЕРВОМАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

М.А. ГОРОДНИКОВ, Т.И. ЛЕДОВСКАЯ, Ю.А. ЩЕМЕЛИНИН, Б.Б. КВЕСКО

*Проведен анализ экспериментальных фазовых проницаемостей, полученных в условиях, приближенных к пластовым, и теоретических, рассчитанных по кривым капиллярного давления, с целью сопоставления предельных значений насыщенности коллекторов. Показано, что оценка фазовых проницаемостей по кривым капиллярного давления возможна как дополнение к получаемым при проведении фильтрационных экспериментов на установках, моделирующих термобарические условия изучаемого пласта.*

Для подсчета показателей разработки нефтяных и газовых месторождений необходимо иметь кривые относительных проницаемостей при фильтрации многофазных систем, которые позволяют определить критические значения насыщенностей. Критические значения насыщенностей являются характеристикой пористой среды и необходимы при обосновании параметров переходных зон и достоверности определения уровня ВНК. Кривые фазовых проницаемостей могут быть построены по результатам лабораторных исследований керна, промышленным данным или расчетным путем по аналитическим зависимостям.

Критическая водонасыщенность характеризует максимальное количество воды, содержащееся в порах коллектора и не участвующее в движении по поровым каналам. Другими словами, при содержании в продуктивном пласте пластовой воды в количестве, равном критическому ( $K_{в}^{кр}$ ), начинается обводнение продукта в скважине.

В литературе предложен ряд методических подходов лабораторных способов определения предельных значений насыщенности коллекторов на основе анализа фазовых проницаемостей [1, 2].

Насыщенность коллектора является функцией многих параметров, но в большей степени определяется структурой порового пространства. Существует несколько способов оценки критической водонасыщенности по кривым капиллярного давления [3, 4].

В лаборатории физики пласта ОАО "ТомскНИПИнефть ВНК" проведена работа по сопоставлению прямых определений критической водонасыщенности по кривым фазовой проницаемости и косвенных по тем же образцам, сделанных методом капилляриметрии на материалах Первомайского месторождения.

Литологическая характеристика продуктивного пласта Ю<sub>1</sub><sup>0</sup> приводится по данным макро- и микроописания керна по скважинам № 122, 895, 1105, 1109, 1119, 2285р, 2286р, 2289, 2291. Продуктивный пласт Ю<sub>1</sub><sup>0</sup> представлен чередованием различных литологических разностей: песчаников, аргиллитов и алевролитов. Песчаники серые, темно- и светло-серые, мелкозернистые, среднесцементированные, рыхловатые, с редкими тонкими косыми прослоями темно-серого аргиллита, количество прослоев достигает 15% от общего объема породы. Мощность прослойков аргиллита – до 1,5 мм. Иногда горизонтальная слоистость обусловлена переслаиванием песчаника с темно-серым алевролитом. Отмечаются намывы и включения углисто-глинистого материала, имеются гнезда пирита, встречаются небольшие полуокатанные обломки песчаников. Характерно наличие запаха и выпотов нефти, нефть выделяется на поверхности керна в виде неправильных прожилок и изометричных пятен бурого цвета.

Аргиллиты темно-серые, иногда с коричневатым оттенком, плотные, крепкие. Иногда с включениями остатков ракушечника, моллюсков, с включениями пирита.

Алевролиты светло-серые, слоистые за счет намывов песчанистого и углисто-глинистого материала, местами с мелкими прожилками вторичного кальцита, с включениями пирита.

Микроописание характеризует песчаники продуктивного пласта как разнотельные, алевролитовые, глинистые. Соотношение кварца и полевых шпатов относительно стабильное и составляет около 40% : 50%. Основная доля (в среднем 70–80%) приходится на обломки размером 0,5–0,1 мм. Цемент каолинит-гидрохлоридно-кварцевый. Текстура породы однородная. Упаковка зерен как правило средней плотности, контакты между зернами выпукло-вогнутые,