

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ЗАВЕРШАЮЩЕЙ СТАДИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Батыров М.И., Березовский Д.А.

научный руководитель канд. техн. наук Савенок О.В.

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»

Предпосылки задачи моделирования состояния пород-коллекторов

Методы моделирования достаточно широко применяются для решения различных задач оптимизации режимов эксплуатации газовых месторождений, например, для обоснования режимов работы системы добычи и сбора газа [1] (рисунок 1).



Рисунок 1 – Цикл обоснования режимов работы системы добычи и сбора газа [2]

В настоящей работе моделирование применено для прогнозирования состояния пород-коллекторов с целью установления условий наступления факторов осложнения добычи. Для решения поставленной задачи требуется привлечение широкого круга дисциплин – гидрогеологии и инженерной геологии [3-5], грунтоведения [6], физико-химической механики [7] и ряда других дисциплин. Обобщённо такие подходы представляют собой методы междисциплинарного исследования.

Состав работ по междисциплинарному моделированию состояния пород-коллекторов

В состав работ по междисциплинарному моделированию входит:

- создание композиционной модели породы;
- качественное описание системы «песчаная среда – глинистая среда»;
- экспериментальные исследования кернов песчаника;
- исследование пределов устойчивости пород-коллекторов.

К числу наиболее распространённых пород-коллекторов газовых и газоконденсатных месторождений Краснодарского края относятся песчаники и глинистые породы.

Песчаник представляет собой композиционный материал, в котором зёрна песка сцементированы глинистой связкой (рисунок 2).

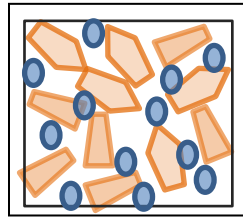


Рисунок 2 – Композиционная модель песчаника

Как пористая дисперсная среда, песчаник представляет собой хаотично упакованные в пространстве минеральные частицы (песка), удерживаемые глинистой связкой, и составляющие, таким образом, рыхлый пространственный каркас, в поровом объёме которого располагается жидкая фаза и воздух. С точки зрения химического подхода песчаник – непрерывный твёрдый раствор, состоящий из двух компонентов – фаз:

- 1) нерастворимой в воде минеральной фазы;
- 2) фазы с ограниченной растворимостью в воде глины.

Необходимо указать на ряд принципиальных черт глинистых пород:

- в глинистом грунте в отличие от песчаного существует развитая система пространственных химических связей между зёрнами;
- глинистым грунтам присуща тиксотропия – способность грунта к восстановлению структуры и объёма после некоторого некритического воздействия;
- в глинистом грунте в большом количестве присутствуют коллоидные гидратированные частицы, с помощью которых обеспечивается формирование пространственно-связывающей сети;
- коллоидные гидратированные частицы (КГЧ) представляют собой промежуточную фазу – не твёрдую и не жидкую, а одновременно и ту и другую, что принципиально отличает глину от песка, в которой такой фазы нет;
- КГЧ, обладая высокой подвижностью и химической близостью к твёрдой фазе глины, в период перестройки структуры заполняют поровые каналы, блокируя движение жидкости.

Экспериментальные исследования кернов песчаника

При экспериментальном исследовании песчаников значительный интерес представляет изучение фильтрационной проницаемости, поскольку эти испытания позволяют выявить пределы устойчивости породы.

Проницаемость грунтов выражают коэффициентом проницаемости [ГОСТ 23278-78 Грунты методы полевых испытаний проницаемости]

$$C = \frac{Q \cdot \mu \cdot \Delta \ell}{\Delta p \cdot F}, \quad (1)$$

где C – коэффициент проницаемости, Дарси; Q – объёмный расход жидкости, см³/с; μ – коэффициент динамической вязкости, сП; $\Delta \ell$ – отрезок пути фильтрации, на котором происходит изменение давления ΔP , см; ΔP – перепад давления, кгс/см²; F – площадь поперечного сечения, см².

Переход от коэффициента проницаемости к коэффициенту водопроницаемости проводят посредством соотношения

$$k = a \cdot C \cdot \frac{\gamma}{\mu}, \quad (2)$$

где k – коэффициент водопроницаемости (фильтрации), см/с или м/сут; a – коэффициент размерности (при k в см/с $a = 1$, при k в м/сут $a = 864$); γ – удельный вес воды, кгс/см³.

На рисунке 3 представлен график зависимостей коэффициента проницаемости песчаника от времени при $\Delta p = 2$ атм.

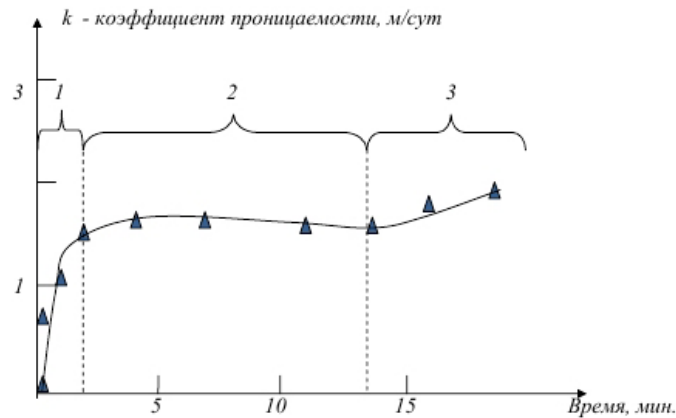


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента проницаемости песчаника от времени

Анализ графика 3 показывает, что кривые зависимостей проницаемости песчаника от времени имеют схожий характер и характеризуются тремя этапами:

- 1 – начальный быстрый рост;
- 2 – период стабилизации;
- 3 – новый период роста коэффициента проницаемости.

На первом этапе происходит заполнение водой порового пространства песчаника, затем наступает стадия равновесия, когда имеет место стабильный транспорт воды по поровому пространству песчаника. На третьей стадии происходит постепенный размыв песчаника, увеличение размеров транспортных пор и вынос песка. Увеличение пористости приводит к росту коэффициента проницаемости.

На рисунке 4 приведены сравнительные графики логарифма коэффициента проницаемости песчаника и песка от времени.

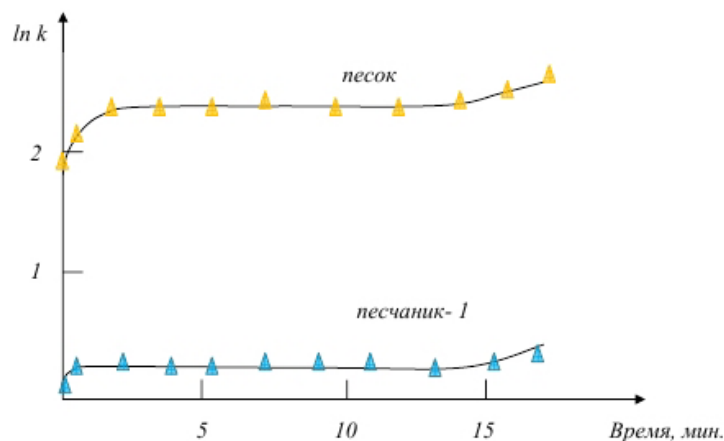


Рисунок 4 – Зависимость логарифма коэффициента проницаемости песчаника-1 и песка от времени

Как следует из рисунка 4, коэффициент проницаемости песчаника много ниже, чем у песка.

В [8] приводятся данные по коэффициенту фильтрации песчаника, содержащего песок и глинистую компоненту *Na*-монтмориллонит (таблица 1).

Таблица 1 – Изменение коэффициента фильтрации песка с *Na*-монтмориллонитом, м/сут

<i>c</i> , моль/г	<i>N</i> , %				
	0	0,25	0,5	1,0	2,0
0	17,3	13,0	5,9	0,8	0,2
0,17	17,3	14,7	6,7	3,8	0,8
0,51	17,3	14,7	6,8	4,5	1,8
1,03	17,3	14,7	6,9	4,8	2,2

В соответствии с этими данными даже малые концентрации глинистой компоненты приводят к резкому падению проницаемости грунта.

Можно отметить, что данные работы [8] хорошо согласуются с экспериментальными данными (рисунок 4).

С точки зрения задач настоящей работы принципиальное значение имеют следующие характеристики песчаника:

- его гидродинамическая устойчивость в фильтрационных испытаниях, как способность песчаника быть барьером на пути потоков воды;
- при потере этой барьерной функции песчаник разрушается (размывается), наступают такие осложнения добычи как водо- и пескопроявления.

Потеря гидродинамической устойчивости песчаника происходит по механизму вымывания связки из узлов пространственного каркаса. В работе исследованы и установлены причины вымывания связки из узлов песчаника. Эти причины имеют химическую и коллоидную интерпретацию.

Изучены характеристики песчаника – плотность, пористость, фазовый и химический составы, влажность и другие параметры, определяющие пределы устойчивости песчаника.

Отдельно исследован такой фактор, как природная неоднородность и изменчивость пород-коллекторов, для описания которых использованы методы теории вероятностей.

В результате разработан метод прогнозирования состояния пород-коллекторов газовых месторождений на завершающей стадии в зависимости от характеристик пород-коллекторов (песчаника).

В заключении можно сделать следующие основные выводы:

1. Разработан метод прогнозирования состояния пород-коллекторов газовых месторождений на завершающей стадии в зависимости от характеристик пород-коллекторов (песчаника).
2. С использованием методов междисциплинарного моделирования и экспериментальных исследований установлены механизмы потери гидродинамической устойчивости песчаника – вымывание связки глинистой компоненты из твёрдой основы породы-коллектора.

Список используемой литературы

1. Батыров М.И., Березовский Д.А., Савенок О.В. Разработка технологических решений на завершающей стадии эксплуатации газовых месторождений Краснодарского края / Сборник тезисов 68-ой Международной молодёжной научной конференции «Нефть и газ - 2014». 14-16 апреля 2014 г. Секция 2 Разработка нефтяных и газовых месторождений. Бурение скважин. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. – С. 20.
2. Архипов Ю.А. Совершенствование методов обоснования режимов работы газовых скважин. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва, 2011.
3. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1993. – 416 с.
4. Осипов В.И., Соколов В.Н., Еремеев В.В. Глинистые покрышки нефтяных и газовых месторождений. – М.: Наука, 2001. – 238 с.
5. Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород / Под ред. академика Е.М. Сергеева. – М.: Недра, 1989. – 211 с.
6. Терцаги К. Теория механики грунтов. – М.: Стройиздат, 1961. – 507 с.
7. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. – М.: «Знание», 1958.
8. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. – М.: Недра, 1986. – 160 с.