

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРИНЦИПАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЁТА ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ

Гюлумян Е.К., Бондаренко В.А.

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

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»

В [1, 2] нами показано, что для прогнозирования процессов пескопроявлений необходимо изучить причины и факторы потери пространственной устойчивости и разрушения пород-коллекторов (песчаников). В связи с этим возникает ряд задач:

- формирование представлений (моделей) о природе прочности и пространственной устойчивости пород-коллекторов;
- выявление факторов, при которых нарушается пространственной устойчивости пород-коллекторов;
- исследование взаимосвязи между причинами пескопроявлений и сопряжёнными явлениями – песководопроявлениями и др.;
- исследование влияния локального обводнения (водной фазы) на прочность и пространственную устойчивость пород-коллекторов.

В настоящее время существует ряд направлений в моделировании и расчёте пород-коллекторов [3-7]. Задача моделирования пород-коллекторов непосредственно связана с такими научными дисциплинами как нефтегазовая подземная гидромеханика [3], теоретические основы формирования свойств глинистых покрышек нефтяных и газовых месторождений [4], физика горных пород [5], литология осадочных горных пород [6, 7].

Существуют разные подходы к описанию характеристик пород-коллекторов:

- физико-механические характеристики (прочностные и деформационные свойства), в которых породы изучаются методами механики твёрдого деформированного тела, теории упругости, пластичности и ползучести [5, 6];
- физико-химические подходы, в которых породы рассматриваются с позиции физико-химической механики дисперсных систем [4, 8];
- методы подземной гидромеханики – фильтрационные характеристики пород-коллекторов, имеющие особое значение при исследовании состояния пород в условиях заводнения [3];
- структурно- и микроструктурно-физические исследования глинистых покрышек нефтяных и газовых месторождений [4];
- механизмы и обстановки образования пород, постседиментационные изменения [7].

Физико-механические характеристики пород-коллекторов

В [6] отмечено, что при рассмотрении прочностных свойств массивов горных пород возникает проблема сложности строения горных пород за счёт структурных неоднородностей (дефектов), связанных с поверхностями раздела – контактами и трещинами. Последние имеют самые разные размеры – от микроскопических до многих сотен и даже тысяч километров. Среди неоднородностей массива доминируют трещины и их системы, которые определяют важнейшие свойства массива и его элементов, – прочность, параметры подземной гидродинамики, миграцию газов и др. Трещины – разрывы сплошности в горных породах, у которых раскрытие значительно меньше двух остальных размеров, – длины и ширины, трещиноватость – совокупность трещин в массиве горных пород.

В [6] также отмечено, что трудности, возникающие при изучении прочности горных пород, обусловлены тем, что не были изучены причины образования и развития

микрповреждений разного типа. Кроме того, анализ известных теоретических подходов к описанию прочности горных пород часто ограничивается аналитическими методами, тогда как причины разрушения материала за счёт микрповреждений сдвигового и разрывного типов не исследуются.

По сути, описанный в [6] подход к исследованию прочности массивов горных пород может быть интерпретирован как моделирование горных пород с использованием представлений физики твёрдого тела, в которой прочность тела зависит от вида и числа дефектов структуры [9, 10].

Физико-химические методы исследования пород-коллекторов

Существует несколько уровней иерархии моделирования пород-коллекторов:

- физическое моделирование – компонентный состав и способ соединения элементов породы в пространственную структуру без учёта характера связи между элементами;
- методами физической химии рассматриваются вопросы структурообразования и прочности связи в дисперсных системах [11-13];
- фильтрационные характеристики пород-коллекторов, а также другие подходы, которые будут описаны далее.

В дисперсных системах сила f_c и энергия E_c взаимодействия в контактах между частицами зависят от вида (природы) контактов (рисунок 1):

- непосредственных (атомных), возникающих в высокодисперсных грунтах ($f_c \approx 10^{-8} \div 10^{-7}$ Н, энергия сцепления $E_c \approx 10^{-17} \div 10^{-16}$ Дж);
- коагуляционных, возникающих в пастах (суспензиях) или эмульсиях через тонкую прослойку жидкости ($f_c \approx 10^{-10} \div 10^{-8}$ Н, $E_c \approx 10^{-19} \div 10^{-18}$ Дж);
- прочных, так называемых фазовых контактов, характерных для конденсационных структур дисперсных материалов ($f_c \approx 10^{-7} \div 10^{-6}$ Н, $E_c \approx 10^{-17} \div 10^{-16}$ Дж) [13].

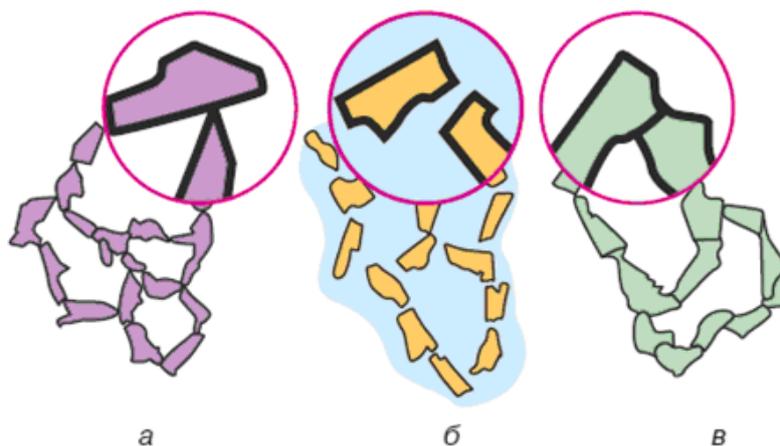


Рисунок 1 – Основные виды контактов между частицами дисперсных фаз, образующихся в дисперсных системах согласно классификации П.А. Ребиндера:

- а* – непосредственный – атомный (в порошках);
- б* – коагуляционный (в пастах и суспензиях);
- в* – фазовый (в дисперсных материалах)

Один из разделов физической химии – физико-химическая механика – область знаний, в которой изучаются зависимости структурно-механических свойств дисперсных систем и материалов от физико-химических явлений на поверхностях раздела фаз (поверхностных явлений). Основатель физико-химической механики П.А. Ребиндер [14]. В

горном деле находит применение открытое Ребиндером явление понижения прочности твёрдых тел под действием адсорбционных сил – «эффект Ребиндера», который широко используется для снижения твёрдости горных пород при бурении и тонком их измельчении.

Методы физической химии пока ещё крайне ограничено применяются для изучения прочности и деформационно-пространственной неустойчивости пород-коллекторов, и можно предполагать, что эти методы станут действенным инструментом будущих исследований. Вместе с тем, задача описания прочности и пространственной устойчивости пород-коллекторов методами физической химии требует отдельного рассмотрения.

Фильтрационные характеристики пород-коллекторов

Основоположниками отечественной школы теории фильтрации являются профессор Н.Е. Жуковский, академики Н.Н. Павловский, Л.С. Лейбензон. Цели моделирования фильтрации в нефтегазоводоносных пластах показаны на рисунке 2.

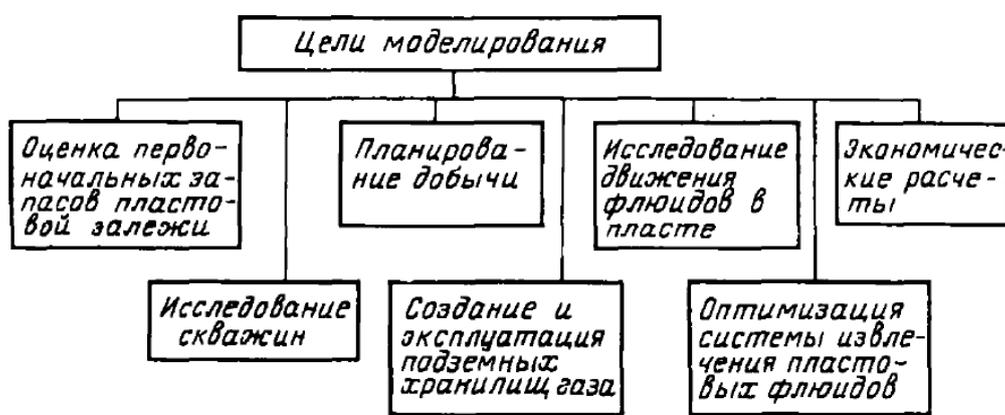


Рисунок 2 – Схема некоторых направлений применения моделирования

В нефтегазовой и подземной гидромеханике рассматривается гидродинамическая теория одно- и многофазной фильтрации жидкостей и газов в однородных и неоднородных пористых и трещиноватых средах.

Как было показано в [15], пескопроявление и обводнение – взаимообусловленные сущности. По мере истощения скважин прорывы воды через породы-коллекторы становятся всё более частыми, а сами породы-коллекторы при этом разрушаются. В [16] причину разрушения породы-коллекторы при обводнении связывают с размывом глинистого цемента, а также со снижением коэффициента внутреннего трения покоя песчаника, что приводит к возрастанию касательных напряжений на стенке скважины.

Таким образом, обводнение можно рассматривать как одну из главных причин разрушения пород-коллекторов.

Обводнение уже на начальной стадии (при возникновении контакта «вода – порода») приводит к взаимодействию водной фазы с твёрдой породой (дисперсной средой), при этом возникает разность давлений, что приводит к просачиванию жидкости через поры породы – фильтрации жидкости через породу-коллектор. С точки зрения моделирования пространственной устойчивости пород-коллекторов, обводнение может быть описано как стадия активизации дефектов, когда в результате гидродинамического воздействия в породе-коллекторе образуются новые дефекты, способные привести к разрушению породы-коллектора.

Статистическая модель породы-коллектора

Задача моделирования пород-коллекторов имеет ряд особенностей, обусловленных рассматриваемой проблемой пескопроявления.

Принцип создания статистической модели деформационно-пространственной нестабильности и разрушения песчаных пород состоит в подходе к описанию породы-грунта как системы несовершенств (дефектов). Такой подход теоретически обоснован и экспериментально подтвержден в теории твердого тела [17, 18]. Дефекты могут иметь разную природу и качество, а также степень влияния на деформационно-пространственную нестабильность и характер разрушения породы. На определенном этапе формирования дефекты приобретают такой масштаб и характер, что разрушение породы становится высоко вероятным.

Разрушение горных пород имеет преимущественно хрупкий характер, в полной мере это относится к песчаникам. Статистическое моделирование хрупкого разрушения основано на гипотезе, что разрушение образца в целом определяется локальной прочностью его наиболее слабого элемента объема. Процесс разрушения отождествляется с разрушением цепи, звенья которой образуют элементы объема, прочность которой определяется самым слабым звеном [17].

Рассматривая модель породы-коллектора как сложную иерархическую систему, можно указать на ряд подсистем (элементов):

- физическая модель породы-коллектора как пространственной системы, составленной из некоторого числа компонентов;
- физико-химическая модель породы-коллектора – как развитие физической модели с учетом физико-химических факторов;
- динамические факторы, описывающие тенденции развития дефектной структуры породы-коллектора в результате комплекса эксплуатационных воздействий (обводнения, механических нагрузок и др.).

Вместе с тем, для более полного описания модели породы-коллектора необходимо исследовать такие вопросы, как особенности песчаных коллекторов, а также базовые представления о деформационно-пространственной стабильности и характере разрушения горных пород.

В заключении можно сделать следующие основные выводы:

1. Установлено, что для решения задачи изучения причин возникновения дефектов и прогнозирования разрушения песчаных пород-коллекторов (что необходимо для оптимального выбора технологий крепления призабойной зоны пласта и управления пескопроявлениями) перспективна статистическая динамическая модель.
2. Показано, что модель породы-коллектора представляет собой сложную иерархическую систему, включающую ряд подсистем (элементов).

Список используемой литературы

1. Бондаренко В.А., Савенок О.В. Исследование методов и технологий управления осложнениями, обусловленных пескопроявлениями / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельная статья (специальный выпуск). – М.: Издательство «Горная книга», 2014. – № 5. – 28 с.
2. Бондаренко В.А., Савенок О.В. Анализ существующих методов борьбы с пескопроявлениями и разработка статистической модели деформационно-пространственной нестабильности и разрушения песчаных пород / Научный журнал НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (политехнический вестник), 2014. – № 1. – С. 35-42.
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. Порцевский А.К., Катков Г.А. Основы физики горных пород, геомеханики и управления состоянием массива. – М.: Издательство Московский государственный открытый университет, 2004. – 120 с.

6. Литвинский Г.Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 207 с.
7. Кузнецов В.Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение: Учебное пособие для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 511 с.
8. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. – М.: Недра, 1986. – 160 с.
9. Винтайкин, Б.Е. Физика твёрдого тела: Учебное пособие. – М.: МГТУ, 2006. – 360 с.
10. Николаева Е.А. Основы механики разрушения. – Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета, 2010. – 103 с.
11. Основы физической химии. Теория и задачи: Учебное пособие для вузов / В.В. Ерёмин, С.И. Каргов, И.А. Успенская, Н.Е. Кузьменко, В.В. Лунин. – М.: Издательство «Экзамен», 2005. – 480 с.
12. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. – М.: Наука, 1985. – 398 с.
13. Урьев Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. – М.: Химия, 1988. – 256 с.
14. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. – М.: Издательство «Знание», 1958. – 68 с.
15. Опыт борьбы с пескопроявлениями при эксплуатации скважин Анастасиевско-Троицкого месторождения Краснодарского края / Бондаренко В.А., Климовец В.Н., Щетников В.И., Сухляев А.О., Долгов С.В., Шостак А.В. // Научно-технический журнал «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». – М.: ВНИИОЭНГ, 2013. – № 6. – С. 17-21.
16. Латыпов А.Г. Геотехнологические особенности эксплуатации газовых скважин в слабосцементированных пластах-коллекторах / Электронный журнал «Нефтегазовое дело», 2004. – Т. 2. – С. 83-89. Режим доступа: <http://www.ngdelo.ru/2004/83-89.pdf>
17. Либовиц Г. Разрушение. Том 2. Математические основы теории разрушения. – М.: Мир, 1975. – 763 с.
18. Партон В.З., Борисковский В.Г. Динамика хрупкого разрушения. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.