

УДК 622.245.6

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРИНЦИПАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЁТА ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ

ANALYSIS OF THE MODERN BELIEFS ABOUT PRINCIPLE OF MODELING AND CALCULATION OF THE SORTS-COLLECTOR

Бондаренко Вячеслав Александрович

аспирант кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет

Лаврентьев Александр Владимирович

кандидат химических наук,
доцент кафедры физики,
докторант кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук,
доцент кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет
Тел.: (861) 233-84-30, 8(918) 326-61-00
set@id-yug.com

Аннотация. В статье приведены данные по исследованиям современных представлений о принципах моделирования и расчёта пород-коллекторов. Показано, что модель породы-коллектора представляет собой сложную иерархическую систему, включающую ряд подсистем (элементов). Установлено, что для решения задач настоящей работы перспективна статистическая динамическая модель.

Ключевые слова: пескопроявления, обводнение, физико-механические характеристики пород-коллекторов, физико-химические методы исследования пород-коллекторов, моделирование пород-коллекторов, статистическая модель породы-коллектора.

Bondarenko

Vyacheslav Aleksandrovich
Graduate student of the pulpit oil and
gas deal of the name of the professor
G.T. Vartumyan,
Kuban State University of Technology

Lavrentiev Alexander Vladimirovich

candidate of the chemical sciences,
Assistant Professor of the pulpit physicists,
Doctorant of the pulpit oil and gas deal
of the name of the professor
G.T. Vartumyan,
Kuban State University of Technology

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of the technical sciences,
Associate Professor of the pulpit oil and
gas deal of the name of the professor
G.T. Vartumyan,
Kuban State University of Technology
Tel.: (861) 233-84-30, 8(918) 326-61-00
set@id-yug.com

Annotation. In article are brought given on studies of the modern beliefs about principle of modeling and calculation of the sorts-collector. It is shown that model of the sort-collector presents itself complex hierarchical system, including row of the subsystems (the element). It is installed that for decision of the problems persisting work perspective statistical dynamic model.

Keywords: sand showings, watering, physic-mechanical features of the sorts-collector, physic-chemical methods of the study of the sorts-collector, modeling of the sorts-collector, statistical model of the sort-collector.

Ранее нами было показано [1–3], 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 пространственная устойчивость 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 [4–8]. Задача моделирования пород-коллекторов непосредственно связана с такими научными дисциплинами как нефтегазовая подземная гидромеханика [4], теоретические основы формирования свойств глинистых покрышек нефтяных и газовых месторождений [5], физика горных пород [6], литология осадочных горных пород [7, 8].

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 [6, 7];
- физико-химические подходы, в которых породы рассматриваются с позиции физико-химической механики дисперсных систем [5, 10];
- методы подземной гидромеханики — фильтрационные характеристики пород-коллекторов, имеющие особое значение при исследовании состояния пород в условиях заводнения [4];
- структурно- и микроструктурно-физические исследования глинистых покрышек нефтяных и газовых месторождений [5];
- механизмы и обстановки образования пород, постседиментационные изменения [8].

Физико-механические характеристики пород-коллекторов

В [7] 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 [7] 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 [7] 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 [11–13].

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 [14–16];
- фильтрационные характеристики пород-коллекторов, а также другие подходы, которые будут описаны позднее.

В дисперсных системах сила f_c и энергия E_c взаимодействия в контактах между частицами зависят от вида (природы) контактов (рис. 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) [16].

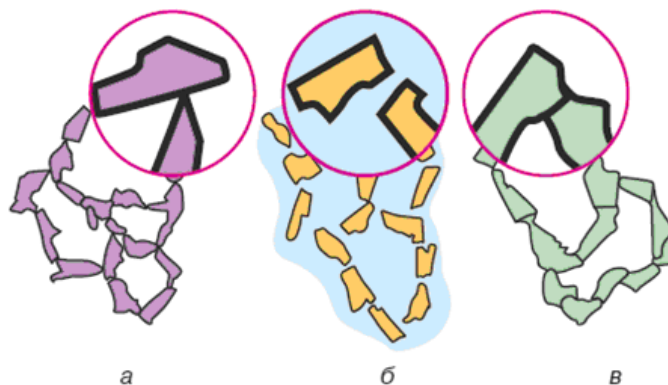


Рисунок 1 — Основные виды контактов между частицами дисперсных фаз, образующихся в дисперсных системах согласно классификации П.А. Ребиндера:
 а — непосредственный — атомный (в порошках);
 б — коагуляционный (в пастах и суспензиях);
 в — фазовый (в дисперсных материалах)

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 [17]. 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 и не является предметом исследования настоящей работы.

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.

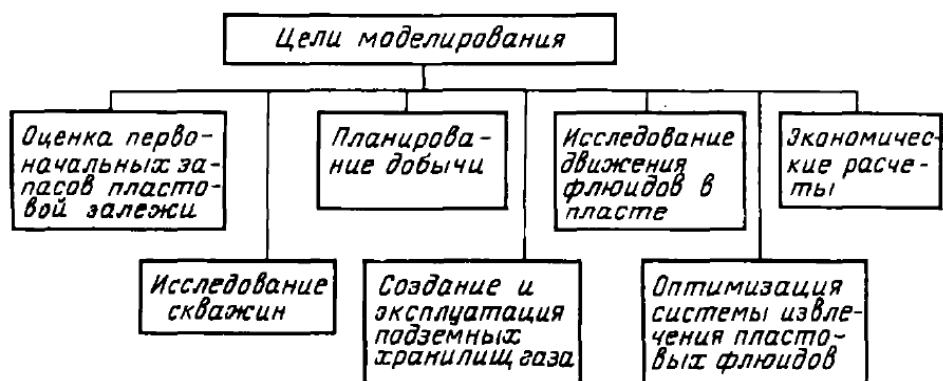


Рисунок 2 — Схема некоторых направлений применения моделирования

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 ранее [18, 19], 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 [20] 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, стоящая в настоящей работе, имеет ряд особенностей, обусловленных рассматриваемой проблемой пескопроявления.

Принцип создания статистической модели деформационно-пространственной неустойчивости и разрушения песчаных пород состоит в подходе к описанию породы-грунта как системы несовершенств (дефектов). Такой подход теоретически обоснован и экспериментально подтверждён в теории твёрдого тела [21, 22]. Дефекты могут иметь разную природу и качество, а также степень влияния на деформационно-пространственную неустойчивость и характер разрушения породы. На определённом 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 объёма. Процесс разрушения отождествляется с разрушением цепи, звенья которой образуют элементы объёма, прочность которой определяется самым слабым звеном [21].

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 учётом 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 выводы:

1. Установлено, что для решения задач настоящей работы перспективна статистическая динамическая модель.
2. Показано, что модель породы-коллектора представляет собой сложную иерархическую систему, включающую ряд подсистем (элементов).

Литература:

1. Бондаренко В.А., Савенок О.В. Разработка статистической модели деформационно-пространственной нестабильности и разрушения песчаных пород с целью снижения пескопроявлений // Аналитический научно-технический журнал «ГеоИнжиниринг». – Краснодар : Издатель ООО «МАГАЛА», 2014. – № 1 (21) весна 2014. – С. 84–87. – URL : http://issuu.com/inna_magala/docs/geo_1_21_web
2. 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). – 2014. – № 5. – 28 с. – М. : Издательство «Горная книга».
3. Бондаренко В.А., Савенок О.В. Анализ существующих методов борьбы с пескопроявлениями и разработка статистической модели деформационно-пространственной нестабильности и разрушения песчаных пород // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2014. – № 1. – С. 35–42.
4. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика : учебник для вузов. – М. : Недра, 1993. – 416 с.
5. Осипов В.И., Соколов В.Н., Еремеев В.В. Глинистые покрышки нефтяных и газовых месторождений. – М. : Наука, 2001. – 238 с.
6. Порцевский А.К., Катков Г.А. Основы физики горных пород, геомеханики и управления состоянием массива. – М. : Издательство Московский государственный открытый университет, 2004. – 120 с.
7. Литвинский Г.Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов : Монография / ДонГТУ. – Донецк : Норд-Пресс, 2008. – 207 с.
8. Кузнецов В.Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение : учебное пособие для вузов. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 511 с.
9. Гриффитс Дж. Научные методы исследования осадочных пород. (Наука о Земле. т. 35). – М. : Мир, 1971. – 424 с.
10. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. – М. : Недра, 1986. – 160 с.
11. Разрушение (под ред. Г. Либовица). Т. I–VII. – М. : Мир, 1973–1977.
12. Винтайкин, Б.Е. Физика твердого тела : учебное пособие. – М. : МГТУ, 2006. – 360 с.
13. Николаева Е.А. Основы механики разрушения. – Пермь : Издательство Пермского государственного технического университета, 2010. – 103 с.
14. Основы физической химии. Теория и задачи : учеб. пособие для вузов / В.В. Еремин, С.И. Каргов, И.А. Успенская, Н.Е. Кузьменко, В.В. Лунин. – М. : Издательство «Экзамен», 2005. – 480 с.
15. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. – М. : Наука, 1985. – 398 с.
16. Урьев Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. – М. : Химия, 1988. – 256 с.
17. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. – М. : Издательство «Знание», 1958. – 68 с.
18. Антониади Д.Г., Савенок О.В., Бондаренко В.А. Анализ известных представлений по проблеме пескопроявления // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Газовая промышленность». Спецвыпуск журнала «Газовая промышленность»: Эксплуатация месторождений углеводородов на поздней стадии разработки. – М. : Издательство ООО «Газоил пресс», 2014. – № 708/2014. – С. 61–65.
19. Шарыпова Д.Д., Бондаренко В.А., Савенок О.В. Разработка технологий предупреждения и ограничения пескопроявлений на примере месторождений Краснодарского края // Сборник научных трудов Международного форума-конкурса молодых учёных «Проблемы недропользования». 23–25 апреля 2014 г. – Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. – С. 180.

20. Латыпов А.Г. Геотехнологические особенности эксплуатации газовых скважин в слабосцементированных пластах-коллекторах / Электронный журнал «Нефтегазовое дело», 2004. – Т. 2. – С. 83–89. – URL : <http://www.ngdelo.ru/2004/83-89.pdf>

21. Либовиц Г. Разрушение. Том 2. Математические основы теории разрушения. – М. : Мир, 1975. – 763 с.

References:

1. Bondarenko V.A., Savenok O.V. Owllet development of statistical model of deforma-tcionno-spatial instability and destruction of sandy breeds for the purpose of decrease peskoproyavleny//the Analytical scientific and technical magazine «Geoinzhiniring». – Krasnodar : Publisher of JSC MAGALA, 2014. – No. 1 (21) spring 2014. – P. 84–87. – URL : http://issuu.com/inna_magala/docs/geo_1_21_web

2. Bondarenko V.A., Savenok O.V. Owllet research of methods and technologies of management of the complications, caused by peskoproyavleniye // the Mountain information and analytical bulletin (the scientific and technical magazine). Separate article (special release). – 2014. – No. 5. – 28 p. – M. : Mountain Book publishing house.

3. Bondarenko V.A., Savenok O.V. Owllet the analysis of existing methods of fight against peskoproyavleniye and development of statistical model of deformation and spatial instability and destruction of sandy breeds // Science. Equipment. Technologies (the polytechnical messenger). – 2014 . – No. 1. – P. 35–42.

4. Basniyev K.S., Kachin I.N., Maksimov V.M. Underground hydromechanics : The textbook for higher education institutions. – M. : Subsoil, 1993. – 416 p.

5. Osipov V.I., Sokolov V.N., Yermeyev V.V. Clay tires of oil and gas fields. – M. : Science, 2001. – 238 p.

6. Portsevsky A.K., Katkov G.A. Skating rinks of a basis of physics of rocks, geomechanics and management of a condition of the massif. – M. : Publishing house Moscow state open university, 2004. – 120 p.

7. Litvinsky G.G. Analiticheskaya theory of durability of rocks and massifs : Monograph / DONGTU. – Donetsk : Nord-Press, 2008. – 207 p.

8. Smiths V.G. Litologiya. Sedimentary rocks and their studying: Manual for higher education institutions. – M. : JSC Businesstsentr-Nedra, 2007. – 511 p.

9. Гриффитс J. Scientific methods of research of sedimentary breeds. (Science about Earth. t. 35). – M. : World, 1971. – 424 p.

10. Goldberg V.M., Skvorcov N.P. Pronitsayemost's Starlings and a filtration in clays. – M. : Subsoil, 1986. – 160 p.

11. Destruction (under the editorship of G. Libovits), v. I–VII. – M. : World, 1973–1977.

12. Vintaykin B.E. Fizika of a solid body : manual. – M. : MGTU, 2006. – 360 p.

13. Nikolaev E.A. Of a basis of mechanics of destruction. – Perm : Publishing house of the Perm state technical university, 2010. – 103 p.

14. Fundamentals of physical chemistry. Theory and tasks: Studies. grant for higher education institutions / V.V. Eremin, S.I. Kargov, I.A. Uspenskaya, N.E. Kuzmenko, V.V. Lunin. – M. : Ekzamen publishing house, 2005. – 480 p.

15. Deryagin B.V., Churayev N.V., Muller V.M. Superficial forces. – M. : Science, 1985. – 398 p.

16. Uryev N.B. Physical and chemical bases of technology of disperse systems and materials. – M. : Chemistry, 1988. – 256 p.

17. Rehbinder P.A. Fiziko-himicheskaya of the mechanic. – M. : Znaniye publishing house, 1958. – 68 p.

18. Antoniadi D.G., Savenok O.V., Bondarenko V.A. The analysis of known representations on a peskoproyavleniye problem // the Monthly scientific and technical and production magazine «Gas Industry». Gas Industry magazine special issue: Operation of fields of hydrocarbons at a late stage razrabotki. – M. : JSC Gasoil Press publishing house, 2014. – No. 708/2014. – P. 61–65.

19. Sharypova D.D., Bondarenko V.A., Savenok O.V. Outlet development of technologies of the prevention and restriction of peskoproyavleniye on the example of fields of Krasnodar Krai // the Collection of scientific works of the International forum competition of young scientists of «A subsurface use problem». On April 23–25, 2014 – St. Petersburg: National mineral and raw university «Gorny», 2014. – P. 180.

20. Latypov A.G. Geotechnological features of operation of gas wells in slightly cemented layers collectors / the Electronic magazine «Oil and Gas Business», 2004. – V. 2. – P. 83–89. – URL : <http://www.ngdelo.ru/2004/83-89.pdf>

21. Libovits G. Destruction. V. 2. Mathematical bases of the theory of destruction. – M. : World, 1975. – 763 p.