

УДК 622.245.6

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЯМИ
И РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
НЕСТАБИЛЬНОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ ПЕСЧАНИСТЫХ ПОРОД**

**ANALYSIS EXISTING METHODS OF THE FIGHT WITH SAND SHOWINGS
AND DEVELOPMENT TO STATISTICAL MODEL DEFORMATION-SPATIAL
INSTABILITY AND DESTRUCTIONS SANDY SORTS**

Бондаренко Вячеслав Александрович
заместитель начальника службы по управлению
нефтегазовыми контрактами СП «Вьетсовпетро»

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

Аннотация. В статье проведён анализ существующих методов борьбы с пескопроявлениями и разработана модель деформационно-пространственной неустойчивости песчаника. Показано, что деформационно-пространственная неустойчивость песчаника зависит от таких параметров как пористость, соотношение песчаных частиц и глинистой компоненты, влажности и других параметров. При выходе указанных параметров за определённые пределы будет иметь место повышение вероятности разрушения грунта.

Ключевые слова: пескопроявления, эксплуатация скважин, факторы пескопроявлений, способы борьбы с пескопроявлением, деформационно-пространственная неустойчивость песчаников, физическая модель песчаника.

Bondarenko Vyacheslav Aleksandrovich
deputy of the chief of the service on
management of oil and gas contracts
JV «Vietsovpetro»

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

Annotation. In article is organized analysis existing methods of the fight with sand showings and designed model of deformation-spatial instability of the sandstone. It is shown that deformation-spatial instability of the sandstone depends on such parameter as porosity, correlation of the sandy particles and clayey components, moisture and other parameter. When leaving specified parameter for determined limits will exist increasing to probability of the destruction of the soil.

Keywords: sand showings, usage of the bore holes, factors of sand showings, ways of the fight with sand showings, deformation-spatial instability sandstone, physical model of the sandstone.

Проблема борьбы с выносом песка при эксплуатации скважин всегда считалась одной из важных проблем в нефтегазодобывающей отрасли. В процессе эксплуатации газонефтяных месторождений и подземных хранилищ газа (ПХГ), пласты которых представлены рыхлыми, слабосцементированными породами, происходит разрушение призабойной зоны пласта и поступление на забой скважины продуктов разрушения, что вызывает значительные осложнения.

В условиях аномально низких пластовых давлений, свойственных месторождениям, находящимся на заключительной стадии разработки, и ПХГ, продукты разрушения скапливаются на забое, что приводит к образованию песчаных пробок, кольматации фильтров, а значит, и к резкому снижению добычи нефти и газа, увеличению трудовых и материальных затрат на проведение ремонтных работ [1].

Относительно причин возникновения пескопроявлений существуют разные точки зрения. В [2] показано, что имеет место избирательный характер разрушения слабосцементированных песчаников, обусловленный образованием высокопроницаемых каналов вдоль трещин, развитых в продуктивном пласте по вертикали и вдоль плоскостей напластования слоев.

Исследования показывают, что при выносе частиц породы из пласта в процессе эксплуатации скважин в призабойной зоне пласта (ПЗП) образуются высокопроницаемые каналы различной ширины и длины вдоль трещин и плоскостей напластования (рис. 1), по которым фильтруется основная масса газа и пластовой воды.

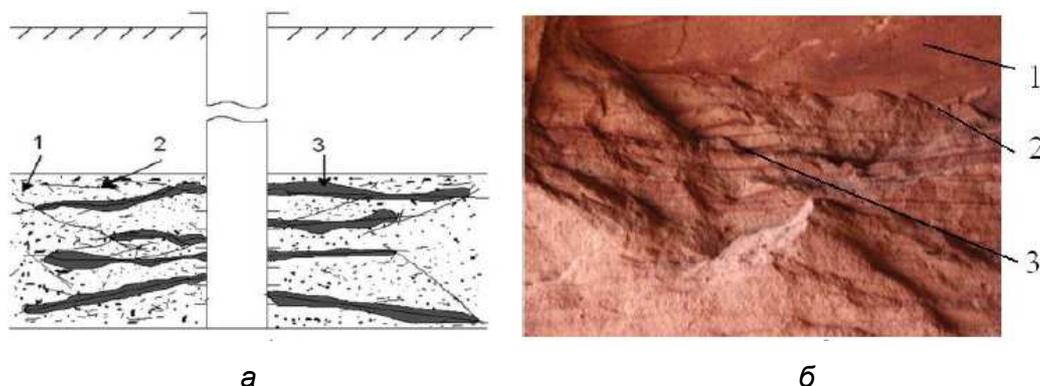


Рисунок 1 – Схема разрушения ПЗП Гатчинского ПХГ:

а – образование высокопроницаемых каналов в ПЗП, полученное в результате анализа работы скважин;
 б – разрушение терригенных девонских песчаников из обнажений коренных пород Ленинградской области;
 1 – слабосцементированный песчаник; 2 – тектоническая трещиноватость;
 3 – высокопроницаемые каналы в песчанике

В [3] приводятся такие причины и факторы пескопроявлений как:

- слабосцементированный коллектор;
- вязкость пластового флюида;
- скорость движения частиц флюида в пласте;
- депрессия;
- напряжения в призабойной зоне пласта;
- загрязнённость призабойной зоны пласта.

В [4] наряду с указанными в [3] факторами указывается, что механизмами, вызывающими отделение песка от основной породы коллектора и его дальнейший вынос, могут быть:

- превышение максимально допустимой депрессии на забое;
- прорыв воды;
- истощение пласта;
- аномальное распределение вертикальных и горизонтальных стрессов в пласте;
- частые изменения перепадов давления на забое как результат внезапных и частых остановок скважины.

В [5] предложена классификация причин разрушения коллектора и выноса песка разделением их на три основные группы, исходя из условий возникновения: *геологические* (особенности залегания пласта-коллектора, литология), *технологические* (условия вскрытия пластов и эксплуатации скважин) и *технические* (конструкция забоя).

Геологические: глубина залегания пласта и пластовое давление; горизонтальная составляющая горного давления; степень цементированности породы пласта, её уплотненность и естественная проницаемость; характер добываемого флюида и его фазовое состояние; характеристика пластового песка (угловатость, глинистость); внедрение подошвенных вод в залежь и растворение цементирующего материала; продолжительность выноса песка.

Технологические: дебит скважины; величина репрессии и депрессии на пласт; ухудшение естественной проницаемости (скин-эффект); фильтрационные нагрузки и нарушение капиллярного сцепления песка.

Технические: конструкция забоя; поверхность забоя, через которую происходит фильтрация (интервал вскрытия пласта, открыты или закупорены перфорационные каналы и т.д.).

В [6] указано на то, что причины выноса песка могут быть разделены на три группы (рис. 2).



Рисунок 2 – Причины выноса песка [6]

На завершающей стадии эксплуатации месторождений вопрос о выборе рационального технологического решения напрямую зависит от экономических показателей. В условиях пескопроявления критерий экономической целесообразности технологий должен учитывать всю гамму последствий применяемых решений (рис. 3).

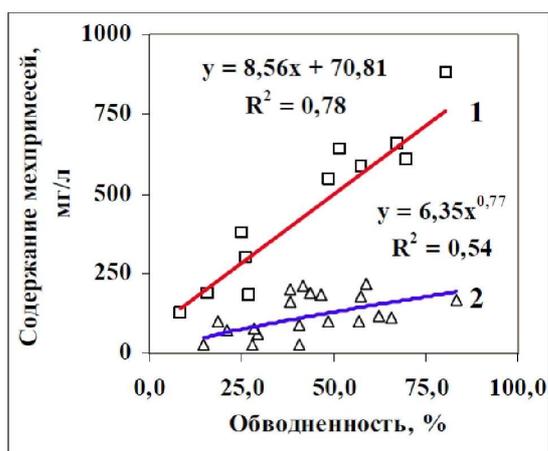


Рисунок 3 – Последствия выноса песка [6]

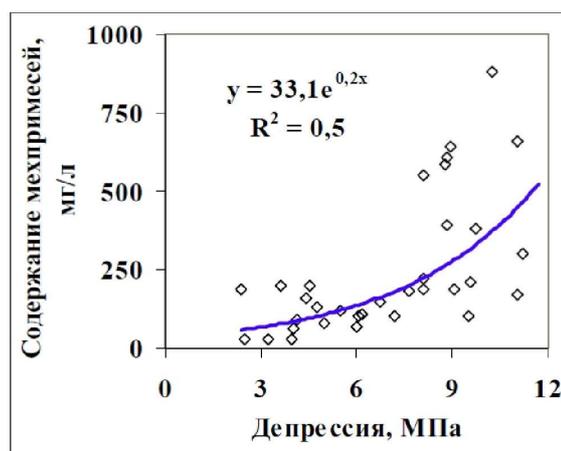
В большинстве случаев попытки борьбы с сильным выносом песка в течение жизни скважины экономически непривлекательны и нецелесообразны.

В [7] представлены аналитические зависимости содержания мехпримесей в продукции скважин, эксплуатирующих пласт AB_1^{1-2} Самотлорского месторождения, от технологических параметров их работы (рис. 4):

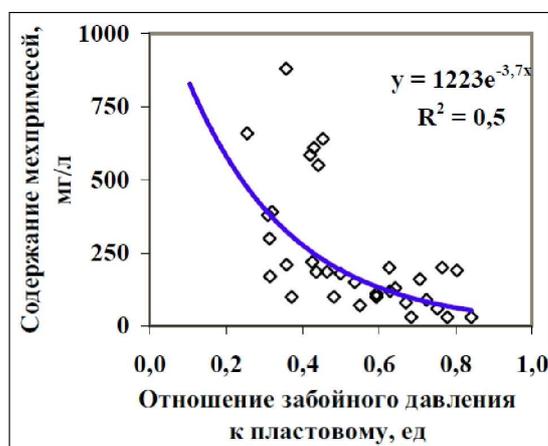
- зависимость содержания мехпримесей от обводнённости продукции скважин – $R^2 = 0,78$ для коллекторов, характеризующихся комплексным геофизическим показателем $\alpha_{ПС\text{ пс}} < 0,5$ и $R^2 = 0,54$ для коллекторов с $\alpha_{ПС} > 0,5$ (рис. 4 а);
- зависимость содержания мехпримесей от депрессии на пласт (рис. 4 б), а также зависимость содержания мехпримесей от отношения забойного давления к пластовому (рис. 4 в) – $R^2 = 0,5$;
- зависимость содержания мехпримесей от коэффициента продуктивности скважин (рис. 4 г) – $R^2 = 0,43$.



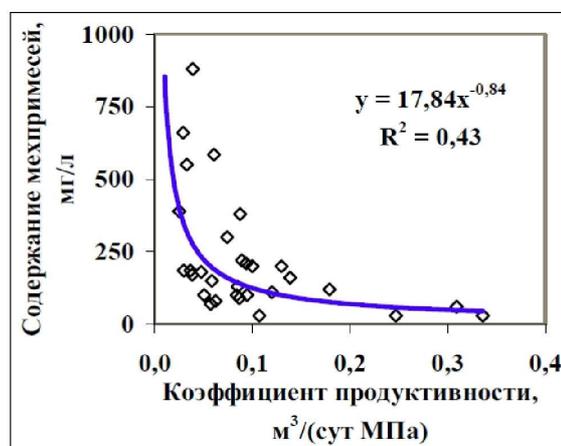
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4 – Зависимость содержания мехпримесей в продукции скважин пласта AB_1^{1-2} Самотлорского месторождения от:

а – обводнённости (1 – $\alpha_{ПС} < 0,5$; 2 – $\alpha_{ПС} > 0,5$); б – депрессии;
в – отношения забойного давления к пластовому; г – коэффициента продуктивности

На основании анализа данных [2–7] можно заключить, что вопросы исследования причин разрушения коллектора и выноса песка изучены фрагментарно и не последовательно. Общая задача исследования причин разрушения коллектора и выноса песка не сформулирована как самостоятельная и принципиальная научно-техническая проблема. В результате существенным образом затрудняется системное решение проблемы пескопроявления как сложной технической задачи.

Существующие методы борьбы с пескопроявлением можно подразделить на использование механических средств, создающих сводовый эффект (намывные гравийные фильтры), и средств, укрепляющих породу пласта (закачка химических реагентов и др.). Отечественный и зарубежный опыт показывает, что наиболее простыми и доступными методами предотвращения поступления песка из пласта являются механические, получившие наибольшее распространение. К ним относится оборудование скважин противопесочными фильтрами различной конструкции.

Наиболее эффективным и перспективным механическим способом предотвращения пескопроявлений является создание гравийных фильтров. За рубежом для этого способа имеются различные технологии намыва гравия; отработаны разные составы жидкостей, не снижающие продуктивности пласта; выпускаются высококачественные сварные фильтры, которые могут быть использованы как самостоятельно, в качестве вставных фильтров, так и в качестве каркасов гравийных фильтров [1].

Для решения задачи исследования причин разрушения коллектора и выноса песка необходимо последовательное рассмотрение таких вопросов как:

- создание общих представлений и моделей песчаников как пород-коллекторов (описание их структуры, состава и базовых характеристик);
- исследование механизмов инициации разрушения песчаников с последующим изучением стадий развития деформационно-пространственной неустойчивости пород-коллекторов вплоть до разрушения;
- разработка принципов и методов прогнозирования и управления механизмами деформационно-пространственной неустойчивости песчаников.

Принцип создания статистической модели деформационно-пространственной неустойчивости и разрушения песчаных пород состоит в подходе к описанию породы-грунта как системы несовершенств (дефектов). 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. Дефекты зарождаются на микроуровне, на котором порода может быть изучена на основе методов грунтоведения [8–10].

Физическая модель песчаника представлена на рисунке 5.

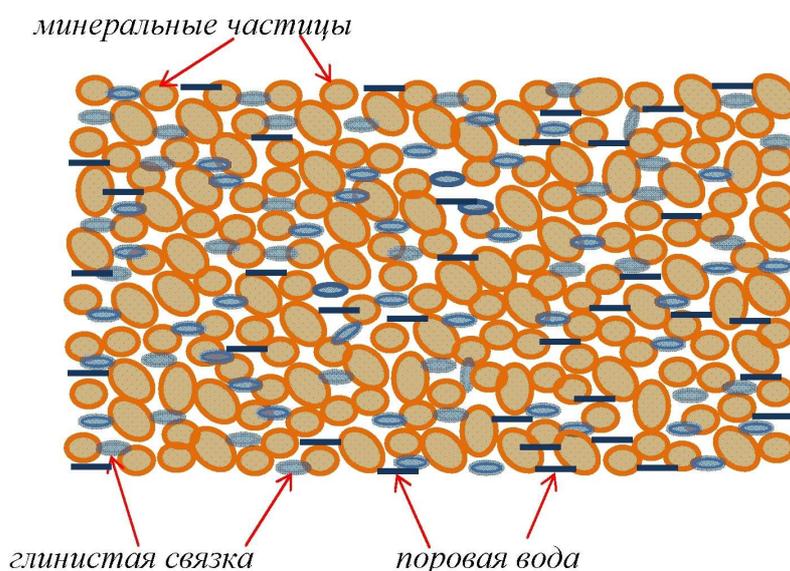


Рисунок 5 – Физическая модель водонасыщенного песчаника

Компонентный состав и параметры песчаника по физической модели:

- песчаник состоит из трёх компонентов – минеральные частицы, поровая вода и глинистая связка;

- компонентные параметры песчаника – объёмная и массовая доли минеральных частиц, глинистой фазы и воды по отношению к массе грунта;
- параметры песчаника как дисперсной структуры – плотность и пористость песчаника, плотность твёрдой и жидкой фаз грунта;
- параметры песчаника как пористой структуры – фильтрационная проницаемость и гидродинамическое сопротивление;
- основной параметр минеральных частиц – размер и форма; распределение частиц по размерам может иметь несколько экстремумов;
- минеральные частицы могут существовать в грунте не только в индивидуальном виде, но и в виде агрегатов;
- минеральные частицы скреплены между собой глинистыми частицами, создающими физическую целостность и пространственную связность песчанику, в результате чего песчаник имеет определённый набор физико-технических свойств – прочность на сжатие, сдвиг и растяжение; характеристики хрупкости и пластичности; фрактографические параметры;
- размер пор, сформированных минеральными частицами, и заполненных водой.

Для экспериментальных исследований фильтрационной проницаемости и деформационно-пространственной нестабильности песчаников с учётом вариативности их характеристик может быть использован одометр (рис. 6). Примерные характеристики песчаников приведены в таблице 1.

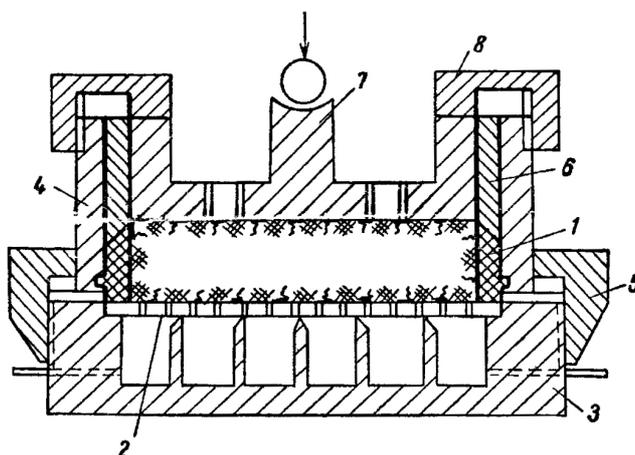


Рисунок 6 – Схема одометра:

- 1 – режущее кольцо; 2 – пористая пластинка; 3 – база прибора; 4 – корпус;
5 – прижимное кольцо; 6 – направляющее кольцо; 7 – фигурный штамп

Таблица 1 – Примерные характеристики испытанных грунтов

№ п/п	Обозначение грунта	Характеристики грунтов			
		Плотность грунта ρ , г/см ³	Коэффициент пористости e	Влажность W	Содержание глины, масс. %
1	Песчаник-1	$1,80 \pm 0,35$	$0,51 \pm 0,12$	$0,39 \pm 0,09$	$4,4 \pm 0,4$
2	Песчаник-2	$1,88 \pm 0,31$	$0,50 \pm 0,11$	$0,34 \pm 0,11$	$4,2 \pm 0,4$

Для исследования вариативности характеристик песчаников проведён множественный отбор кернов для набора статистических данных. Прочность песчаников обеспечивается небольшой долей глинистой компоненты, которая придаёт некоторую пространственную связность песчанику. В тех местах микроструктуры, где глинистая компонента отсутствует, песчаные частицы не имеют между собой связи, что и приводит к высокой хрупкости песчаника.

По результатам испытаний показано, что деформационно-пространственная нестабильность песчаника зависит от таких параметров как пористость, соотношение

песчаных частиц и глинистой компоненты, влажности и других параметров. При выходе указанных параметров за определённые пределы будет иметь место повышение вероятности разрушения грунта. Выход параметров за определённые пределы может интерпретироваться как дефект.

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. Разработана модель песчаника и показано, что деформационно-пространственная нестабильность песчаника зависит от таких параметров как пористость, соотношение песчаных частиц и глинистой компоненты, влажности и других параметров. При выходе указанных параметров за определённые пределы будет иметь место повышение вероятности разрушения грунта.

2. Создана статистическая модель песчаника и рассчитана вероятность его разрушения в зависимости от системы параметров.

Литература:

1. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 т. – Краснодар : Издательский Дом – Юг. – Т. 3. – 2014. – 576 с.

2. Тананыхин Д.С. Обоснование технологии крепления слабосцементированных песчаников в призабойной зоне нефтяных и газовых скважин химическим способом : Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – СПб., 2013.

3. Попов П.И. Ликвидация пескопроявлений – технология вывода скважин из бездействия // Совещание по рассмотрению результативности геолого-технических мероприятий (ГТМ) на фонде скважин ОАО «Газпром». – ООО «Нефтегазтехнология». – Кисловодск, 02–06 апреля 2012 г. – URL : <http://n-gt.ru/Ликвидация%20пескопроявлений.pdf>

4. Бабазаде Э.М. Роль интеллектуальных скважин в осуществлении контроля над пескопроявлением // ELMİ ƏSƏRLƏR ♦ PROCEEDINGS ♦ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» 03.2011. – С. 39–43. – URL : http://www.socar.az/1/Babazade_39-43.pdf

5. Аксёнов А.Н. Исследование и разработка техники, технологии заканчивания скважин с неустойчивыми коллекторами : Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2004.

6. Рекомендованные методики по выбору способа заканчивания скважин в условиях пескопроявления. Проспект компании «Роснефть».

7. Кудрявцев И.А. Совершенствование технологии добычи нефти в условиях интенсивного выноса мехпримесей (на примере Самотлорского месторождения) : Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2004.

8. Трофимов В.Т., Королёв В.А., Вознесенский Е.А. и др. Грунтоведение / Под ред. В.Т. Трофимова. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.

9. Вознесенский Е.А. Поведение грунтов при динамических нагрузках. – М., 1997.

10. Троицкая М.П. Пособие к лабораторным работам по механике грунтов. – М. : МГУ, 1961. – 306 с.

References:

1. Bulatov A.I., Savenok O.V. Capital underground repairs of oil and gas wells: in 4 v. – Krasnodar : Publishing house – the South. – V. 3. – 2014. – 576 p.

2. Tananykhin D.S. Justification of technology of fastening of slightly cemented sandstones in a prizaboyny zone of oil and gas wells in the chemical way : Abstract yew. ... cand. tech. sci. – SPb., 2013.

3. Popov P.I. Elimination of peskoproyavleniye – technology of a conclusion of wells from inaction // Meeting on consideration of productivity of the geological and technical actions (GTA) on fund of wells of JSC Gazprom. – JSC Neftgaztekhnologiya. – Kislovodsk, on April 02–06, 2012. – URL : <http://n-gt.ru/elimination%20пескопроявлений.pdf>

4. Babazade E.M. Rol of intellectual wells in control over a peskoproyavleniye // ELM İ ƏSƏRLƏR • PROCEEDINGS • SCIENTIFIC WORKS «Development and Operation of Oil and Gas Fields» 03.2011. – P. 39–43. – URL : http://www.socar.az/1/Babazade_39-43.pdf
5. Aksyonov A.N. Research and development of equipment, technology of completion of wells with unstable collectors : Abstract. yew. ... cand. tech. sci. – Tyumen, 2004.
6. The recommended techniques at the choice of a way of completion of wells in the conditions of a peskoproyavleniye. Rosneft company prospectus.
7. Kudryavtsev I.A. Improvement of technology of oil production in the conditions of intensive carrying out mekhprimesy (on the example of the Samotlorsky field) : Abstract. yew. ... cand. tech. sci. – Tyumen, 2004.
8. Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesensky E.A. etc. Gruntovedeniye / Under the editorship of V.T. Trofimov– 6th prod. reslave. and additional – M. : Moscow State University publishing house, 2005. – 1024 p.
9. Voznesensky E.A. Povedeniye of soil at dynamic loadings. – M., 1997.
10. Troitskaya M.P. Posobiye to laboratory works on mechanics of soil. – M. : Moscow State University, 1961. – 306 p.