

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИН ГАТЧИНСКОГО ПХГ И ОБОСНОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ СЛАБОСЦЕМЕНТИРОВАННЫХ ПЕСЧАНИКОВ

Тананыхин Д.С., Петухов А.В., Долгий И.Е., Петухов А.А.

ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»», Санкт-Петербург, Россия (199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2), e-mail: DmitrySPMI@mail.ru

Проблема предотвращения выноса частиц породы (песка) при эксплуатации газовых скважин, вскрывших пласты-коллекторы, представленные рыхлыми, слабосцементированными породами, является весьма острой для многих месторождений России. Призобойные зоны скважин, в которых вынос песка является следствием поступления пластовой воды, оборудовать фильтрами нецелесообразно, поэтому их предпочтительно укреплять химическими методами. В работе представлены результаты лабораторных экспериментов по закреплению слабосцементированных пород, проведенных на насыпных моделях. Исследованы особенности разрушения призобойной зоны скважин Гатчинского подземного хранилища газа. Показана форма образования каналов в газонасыщенном коллекторе. Предложен способ крепления призобойной зоны продуктивного пласта газовых скважин. Изучено изменение среднего диаметра частиц химического состава, предлагаемого для крепления песчаников.

Ключевые слова: песчаник, химическое крепление, разрушение коллектора, подземное хранилище газа.

RESEARCH THE FORM OF THE BOTTOM HOLE FORMATION ZONE DESTRUCTION OF GATCHINA UNDERGROUND GAS STORAGE AND JUSTIFICATION OF THE CHEMICAL CONSOLIDATION OF POORLY CONSOLIDATED SANDSTONE

Tananykhin D.S., Petukhov A.V., Dolgiy I.E., Petukhov A.A.

National mineral resources university «Mining», Saint-Petersburg, Russia (199106, Saint-Petersburg, 21st line V.O., 2), e-mail: DmitrySPMI@mail.ru

The problem of sand production prevention during the exploitation of the gas wells which tap collectors, presented by friable, unconsolidated sandstones, is very sharp for many Russian fields. It's inexpedient to equip by filters a bottom hole formation zone of sand-prone wells where the sand production is a consequence of reservoir water inflow, therefore it is preferable for chemical consolidation methods. The results of laboratory experiments of sand consolidation which have been carried out on sand packed tube are presented. Features of destruction of the bottom hole formation zone of Gatchina underground gas storage are researched. The shape of the formation's channels is shown in the gas-saturated reservoir. Chemical consolidation method for poorly consolidated sandstone is offered. Change of chemical composition's average diameter is studied for the offered chemical consolidation method.

Key words: sandstone, chemical consolidation, reservoir destruction, underground gas storage.

Введение

Одним из наиболее важных условий при эксплуатации подземных хранилищ газа (ПХГ), которые сооружают в различных структурных ловушках, является безаварийная работа скважин. Однако нередко в процессе эксплуатации скважин в связи с отбором совместно с газом пластовой воды и песка возникают осложнения. При поступлении песка в эксплуатационные скважины происходит абразивный износ фильтров, труб, клапанов и другого скважинного оборудования. Для устранения этих осложнений требуются значительные трудовые и материальные ресурсы. Технологи начинают осознавать, что для того чтобы сократить эти непроизводительные затраты, выгоднее и гораздо легче

предотвратить вынос песка из пласта за счет создания в призабойной зоне прочного и хорошо проницаемого барьера путем крепления слабосцементированных пород специальным химическим составом, который бы придавал разрушающимся песчаникам достаточную прочность.

Анализ работы действующего фонда скважин Гатчинского ПХГ

Объектом хранения газа на Гатчинском ПХГ служит I гдовский песчаный пласт, залегающий на коре выветривания кристаллического фундамента на глубине около 400 м. Покрышкой пласта служат глины мощностью 4-5 м. Толщина пласта изменяется в пределах от 7,6 до 10,2 м. Он сложен высокопроницаемыми песчаниками (проницаемость до 2 мкм^2), участками слабосцементированными, которые местами переходят в песок.

Условия эксплуатации газовых скважин на хранилище можно отнести к тяжелым, по причине высокого водного фактора и значительного количества выносимого песка. Проводимые в течение ряда лет работы по креплению призабойной зоны пласта путем закачки в скважины закрепляющих смол, наряду с положительным эффектом, привели к постепенному снижению продуктивности скважин. Простая промывка забоя скважин с целью освобождения от песка в условиях Гатчинского ПХГ не эффективна: на большинстве скважин требуется замена подземного скважинного оборудования с предварительной изоляцией притока пластовых вод [2].

Для исследования характера разрушения песчаников был проведен детальный анализ пескопроявлений в пределах Гатчинского ПХГ в действующем фонде скважин (35 шт.) за последние 4 цикла отбора газа. При этом было изучено распределение работающих скважин в зависимости от объема выносимого песка в разные циклы отбора. На рисунке 1а представлена зависимость, на которой отмечается значительное уменьшение количества скважин с большими объемами выносимого песка, зафиксированными в породуловителях в течение 48-го цикла отбора газа. Точно такая же зависимость наблюдается в распределении скважин по объему выносимого песка в 49-м цикле отбора газа (рис. 1б) и во всех других исследованных циклах.



а)

б)

Рис. 1. Гистограмма распределения скважин Гатчинского ПХГ по объему выносимого песка: а) в течение 48-го цикла отбора; б) в течение 49-го цикла отбора.

Повторение вышеприведенных зависимостей распределения скважин по объемам выносимого песка во всех циклах отбора газа свидетельствует об определенной закономерности и позволяет судить о характере разрушения песчаников призабойной зоны пласта в процессе эксплуатации скважин. Проведенный анализ показывает, что гистограммы распределения скважин Гатчинского ПХГ по объему выносимого песка подчиняются степенному закону Парето:

$$p_i = C \cdot \varepsilon_i^{-\tau} \text{ с положительными константами } C \text{ и } \tau, \quad (1)$$

где ε_i – значения случайной величины i -го микросостояния, а p_i – вероятность распределения этой величины.

Необходимо отметить, что такое же степенное распределение скважин по величине суммарной накопленной добычи и первоначальных дебитов характерно для залежей нефти, связанных со сложными порово-трещинными коллекторами и было получено на всех без исключения исследованных месторождениях Тимано-Печорской и Западно-Сибирской нефтегазоносных провинций [4]. Кроме того, было установлено, что в соответствии с законом Парето распределяются добывающие скважины при разработке нетрадиционных источников углеводородов, таких как сланцевый газ или угольный метан. Согласно закону Парето распределяются добывающие скважины в породах фундамента (гранитах и гранитоидах) в пределах уникального нефтяного месторождения Белый Тигр, расположенного на шельфе Вьетнама, а также на промыслах Ярегского месторождения тяжелой высоковязкой нефти, разрабатываемого шахтным способом.

Исследования, проведенные на многих месторождениях, позволили установить, что разномасштабные трещины горных пород разделяют продуктивные породы на блоки различных размеров, которые являются сложными самоподобными фрактальными структурами, а их поведение описывается общим универсальным законом Парето. Проведенные вычисления с использованием этого степенного закона распределения показывают, что установление иерархической связи в сложной системе трещиноватых пород коллекторов быстро повышает сложность статистического ансамбля. С усилением ветвимости разномасштабных трещин в продуктивных коллекторах максимальная сложность системы монотонно нарастает от нулевого значения при ветвимости $a = 1$ до бесконечного при ветвимости $a \rightarrow \infty$. С изменением дисперсии (Δ) статистического ансамбля поведение,

присущее простым системам, наблюдается при показателях ветвления трещин, превышающих значение $a+ = 1,618$, а спадание сложности с ростом дисперсии, характерное для сложных самоподобных иерархических систем, проявляется при ветвимости трещин, ограниченной интервалом $1 < a < 1,618$. Установлено, что вариация масштаба ϵ , характеризующего изменение переменной величины ϵ_i , приводит к факторизации плотности вероятности тем же масштабом, деформированным показателем подобия τ . При этом множитель C в уравнении (1) стремится к постоянному значению и распределение принимает степенную форму закона Парето.

Анализ образования высокопроницаемых каналов в призабойной зоне скважины

При выносе песка из пласта в процессе эксплуатации скважин в нем образуются высокопроницаемые каналы различной ширины и длины, по которым фильтруется основная масса пластовой воды и песка в скважину. Причиной образования таких каналов является естественная трещиноватость песчаников и сгущение линий токов газа и жидкости в пласте вдоль этих трещин вследствие неравномерного распределения проницаемости (рис. 2).

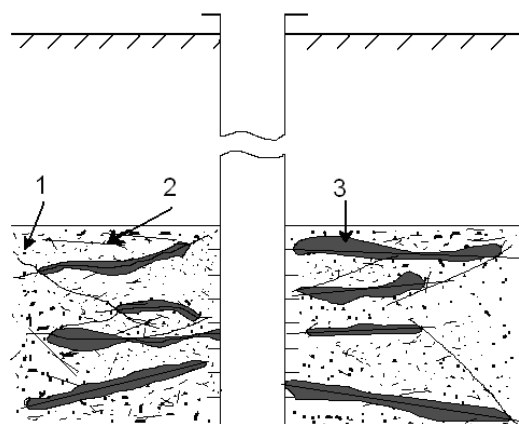


Рис. 2. Образование высокопроницаемых каналов в призабойной зоне скважины:
1 – газонасыщенный песчаник; 2 – тектоническая трещиноватость; 3 – высокопроницаемые каналы в песчанике.

Наиболее существенное влияние на увеличение размеров каналов имеет изменение направления линий тока на противоположное, т.е. при смене цикла закачки отбором газа и началом поступления пластовой воды [5]. При выносе определенного количества песка размер пустот и величина пористости породы, увеличиваясь, может достигнуть некоторого значения, названного критической пористостью. Под критической пористостью понимается величина пористости, при которой изменяется структура жесткого скелета породы и она может испытывать неупругую деформацию с последующим разрушением части пласта.

Величина критической пористости для различных по литологической характеристике терригенных пород может быть достигнута при выносе различного количества песка [3].

В соответствии с инженерно-геологической классификацией горных пород по Саваренскому-Ломтадзе песчаники I гдовского пласта Гатчинского ПХГ относятся к II группе. Это относительно твердые горные породы, выветренные и в различной степени трещиноватые. Характер разрушения песчаников в процессе эксплуатации скважин различен [2]. В более плотных, прочно сцементированных среднезернистых песчаниках разрушение происходит путем образования нескольких макротрещин. Менее прочные, слабосцементированные крупно- и грубозернистые песчаники дезинтегрируются и практически превращаются в песок.

Из опубликованных работ [1] известно, что для крупнозернистого песчаника величина критической пористости достигается лишь при выносе значительных количеств мелкозернистых его фракций и глинистых частиц, входящих в состав цемента.

Разработанный химический состав для крепления слабосцементированных пород

Одним из эффективных способов предотвращения выноса песка является крепление слабосцементированных пород призабойной зоны скважин Гатчинского ПХГ специально подобранным химическим составом.

На основе этого специального химического состава на кафедре разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Санкт-Петербургского государственного горного университета был разработан и предложен к практической реализации способ обработки призабойной зоны пласта с целью предотвращения пескопроявлений. После проведения лабораторных экспериментов по закреплению рыхлых песчаников химическим составом была подана заявка на патент № 2011134125/03 «Способ крепления призабойной зоны продуктивного пласта газовых скважин» (приоритет от 12.08.2011 г.). Преимуществом разработанного способа по сравнению с другими является отсутствие необходимости применения дополнительного оборудования при осуществлении технологического процесса по закачке в пласт крепящих агентов, а также более высокая надежность и низкая себестоимость используемых реагентов.

Для изучения возможности закачки в призабойную зону пласта разработанного химического состава было проведено измерение среднего диаметра взвешенных частиц D50 химического раствора в процессе протекания реакции при смешивании используемых реагентов. Результаты замеров среднего диаметра взвешенных частиц отдельно для каждого используемого компонента водного раствора хлористого кальция (CaCl_2) и гидрокарбоната

натрия (NaHCO_3), а также для предлагаемого для крепления песчаников химического водного раствора ($\text{CaCl}_2+\text{NaHCO}_3$) показаны на рис. 3.

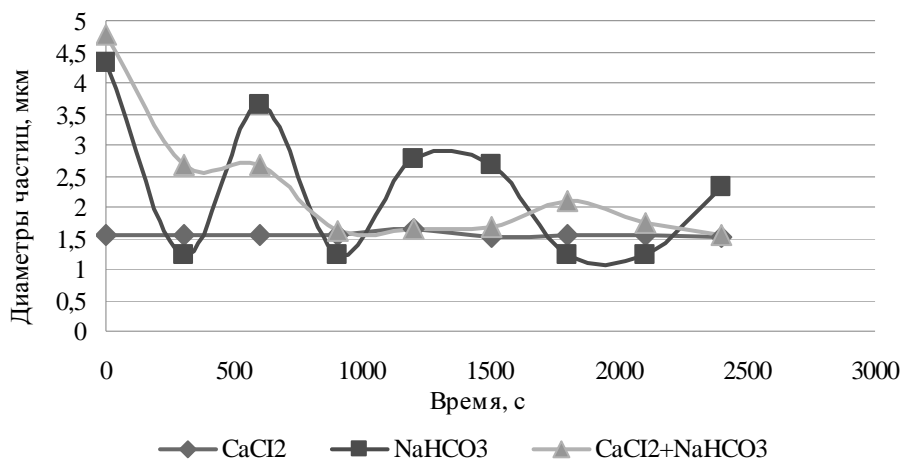


Рис. 3. Результаты замеров среднего диаметра взвешенных частиц используемых растворов в процессе протекания химической реакции.

Исходя из геологической характеристики продуктивных песчаников Гатчинского ПХГ и на основе проведенных лабораторных экспериментов по моделированию процесса фильтрации газа на насыпной модели пласта было установлено, что разработанный состав способен проникнуть на необходимую для скрепления слабосцементированных пород глубину и практически полностью предотвратить вынос песка при незначительном снижении проницаемости газонасыщенного песчаника (на 11-13%).

Заключение

В результате проведенных исследований были сделаны следующие важные выводы.

1. В условиях Гатчинского ПХГ при эксплуатации рыхлых, слабосцементированных песчаников 1 гдовского пласта химический способ крепления является одним из наиболее эффективных мероприятий по борьбе с выносом песка.

2. В отличие от имеющихся аналогов предлагаемый способ крепления слабосцементированных песчаников, кроме предотвращения выноса песка из пласта в скважину, при соответствующих условиях, способствует снижению водного фактора, что обусловлено селективным действием разработанного состава на призабойную зону пласта и обратной связью между пескопроявлениями и объемами отбора воды в скважинах.

Список литературы

1. Герсеванов Н.М. Основы динамики грунтовой массы. – М. : ОНТИ, 1947. – 122 с.
2. Гришин Д.В. Анализ факторов, обуславливающих процессы разрушения призабойных зон скважин Гатчинского ПХГ, и прогноз пескопроявлений / Д.В. Гришин, А.В. Петухов, А.А. Петухов // Записки горного института. – 2010. – С. 207-213.
3. Карапетов К.А., Дурмишьян А.Г. Борьба с песком в нефтяных скважинах. – М. : Гостоптехиздат, 1958. – 145 с.
4. Петухов А.В. Сравнительная оценка трещиноватости коллекторов Тимано-Печорской и Западно-Сибирской нефтегазоносных провинций по динамике показателей разработки / А.В. Петухов, И.В. Шелепов, А.А. Петухов, А.И. Куклин // Рассохинские чтения : материалы межрегионального семинара. – Ухта : УГТУ, 2011. – С. 115-122.
5. Топольников А.С. Комплексный подход к проектированию системы механизированной добычи нефти в условиях выноса мехпримесей / А.С. Топольников, К.В. Литвиненко, Р.Р. Рамазанов // Инженерная практика. – 2010. – № 2. – С. 84-89.

Рецензенты

Карманский А.Т., доктор технических наук, профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Национального минерально-сырьевого университета «Горный», г. Санкт-Петербург.

Макаревич В.Н., доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник ФГУП ВНИГРИ, г. Санкт-Петербург.