УДК 622.279.74

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЙ В СКВАЖИНАХ

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL METHODS FOR REDUCING THE CONSEQUENCES OF SAND IN WELLS

Березовский Денис Александрович
филиал ООО «Газпром добыча Краснодар»,
Каневское газопромысловое управление
daberezovskiy-gaz@rambler.ru

Бекетов Сергей Борисович
доктор технических наук, профессор
кафедры геофизических методов поисков и разведки
месторождений полезных ископаемых.
Северо-Кавказский федеральный университет
bsb.gt.fin@rambler.ru

Аннотация. Проблема пескопроявлений в нефтяных и газовых скважинах существует более 70 лет. С первых шагов нефтегазодобычи борются с пескованием скважин, образованием песчаных пробок, изобретаются методы промывки этих пробок. Одним из обязательных условий выноса песка из пласта в призабойную зону скважины является слабая сцементированность зёрен песка в коллекторе. Эксплуатация несцементированных и слабосцементированных пластов широко ведётся во многих странах мира, поэтому вопросы предупреждения пескопроявления занимают одно из главных мест в теории и практике заканчивания и ремонта скважин. В различных районах применяются «свои» технологии и устройства, считающиеся рациональными в данном районе, что, естественно, не всегда верно. Однако по техническому состоянию значительного количества скважин эксплуатационного фонда нет достаточной информации для принятия решений по технологии их ремонта.

Ключевые слова: условия пескопроявлений и образования песчаных пробок в скважинах, зависимость выноса песка от давления обжима, интенсивность выноса песка из пласта в ствол скважины, технологические методы снижения последствий пескопроявлений в скважинах, методы, направленные на предотвращение выноса песка в скважину, механические, химические и комбинированные методы, побочные негативные эффекты пескопроявляющих скважин и их предотвращение.

Berezovskiy Denis Aleksandrovich
Branch LLC «Gazprom dobycha Krasnodar»,
Kanevskoe Gas field Management
daberezovskiy-gaz@rambler.ru

Beketov Sergey Borisovich
Doctor of Technical Sciences, Professor
of the Department of Geophysical
Methods of Prospecting and Exploration
of Mineral Deposits,
North-Caucasus Federal University
bsb.gt.fin@rambler.ru

Annotation. The problem of sand in oil and gas wells has existed for more than 70 years. From the first steps in oil and gas production, sanding of wells, the formation of sand plugs are being fought, methods for flushing these plugs are invented. One of the mandatory conditions for the removal of sand from the formation to the bottomhole zone of the well is a weak cementation of sand grains in the reservoir. The exploitation of uncemented and weakly cemented reservoirs is widely carried out in many countries of the world, therefore, the issues of sand control occupy one of the main places in the theory and practice of well completion and workover. Different regions use «their own» technologies and devices that are considered rational in this region, which, of course, is not always true. However, according to the technical condition of a significant number of wells in the operating stock, there is not enough information to make decisions on the technology of their repair.

Keywords: conditions of sand manifestations and formation of sand plugs in wells, dependence of sand removal on the pressure of the reduction, intensity of sand production from the reservoir into the wellbore, technological methods to reduce the consequences of sand in the wells, methods aimed at preventing the removal of sand into the well, mechanical, chemical and combined methods, side negative effects of sand producing wells and their prevention.

Условия пескопроявлений и образования песчаных пробок в скважинах

Большинство авторов, занимающихся проблемами пескопроявления в скважинах, вынос песка в скважину объясняют действием сил трения и образующимся при этом градиентом давления при фильтрации жидкости в скважину. При высоких градиентах давления и недостаточной прочности цементного материала зёрна песчаника отделяются от основного массива и выносятся.

При разработке пластов, сложенных рыхлыми песчаниками, в призабойной зоне может образовываться зона подвижного песка (пластическая область). В этом случае в первые месяцы эксплуатации скважины наблюдается интенсивное неконтролируемое пескопроявление, связанное с вымыванием песка, и зачастую образование каверны у кровли пласта, либо у неразрушенного (более прочного) пропластка при неоднородном пласте.

На образование и характер пластической области влияют многие факторы:

– перераспределение около горной выработки ранее существовавших напряжений, вызванное бурением;

– действие бурового раствора на цементирующий материал, скрепляющий зёрна песка;

– ударные нагрузки на призабойную зону при кумулятивной перфорации;

– темпы отбора пластового флюида и др.

Вынос песка обычно увеличивается с ростом отбора продукции, при увеличении водонефтяного фактора, истощении эксплуатируемого пласта и др.

Вероятно, что песок пластической области удерживается от выноса в скважину силой трения, определяемой давлением вышележащих толщ песка. Значение давления на любой глубине пластической области зависит от веса вышележащей толщи песка и горного давления вышележащих пород.

Для подтверждения значимости давления в пластической области на изменение выноса песка по толщине пласта рассмотрим эксперимент. В ходе опытов на модельной установке определялась зависимость выноса песка от переменного давления обжима (давления в пластической области). Модель состояла из трубы – корпуса и размещённой внутри эластичной трубки, защищённой от внутреннего давления перфорированной обечайкой. В эластичную трубку помещался кварцевый песок со средним диаметром зёрен 0,5 мм. Песок брался либо чистым, либо с 5 % весовой добавкой глины. Через песок прокачивалась вода. Объём воды и количество вынесенного песка регистрировались. Давления на входе – выходе из модели оставались неизменными на всём протяжении опыта. Давление обжима на эластичную трубку создавалось подачей жидкости во внутреннюю полость корпуса модели и фиксировалось манометром. Полученные в ходе опытов зависимости приведены на рисунке 1.

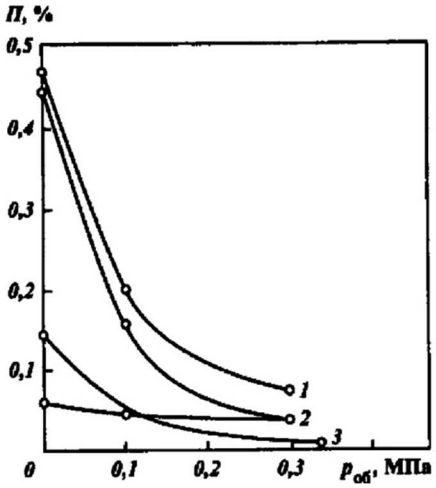

Рисунок 1 – Зависимость выноса песка от давления обжима:
1–3 – номера образцов

Видно, что наибольшее уменьшение выноса песка происходит в интервале давлений обжига от 0 до 0,3 МПа. При дальнейшем увеличении давления обжима вынос песка снижается незначительно. Для представленных образцов давление обжима в процессе опыта сначала повышалось, а затем снижалось. При этом первоначальный вынос песка восстанавливался в образцах 1 и 3, в образце 2, имеющем 5 %-ную добавку глины, этого не происходило: при снижении давления обжима начальный вынос песка не достигался – уменьшение выноса песка было необратимым.

Зависимость выноса песка от давления обжима можно описать уравнением вида:

$$\Pi = \Pi_0 \cdot e^{-\alpha_п \cdot p_{об}},$$

где П – содержание песка в воде, % объёма; Π_0 – начальное содержание песка в воде при давлении обжима $p_{об} = 0$; $\alpha_п$ – коэффициент изменения выноса песка, 1/МПа.

Входящие в уравнение коэффициенты находятся с помощью метода наименьших квадратов.

Результаты эксперимента согласуются с данными расходометрии, проведённой на месторождении Каражанбас (скважины №№ 452, 466, 473, 488 и 529): наиболее интенсивный приток наблюдался в интервале 1,5–2,0 м от кровли пласта – в среднем в 3 раза выше, чем по нижележащему до кровли пласта интервалу. Очевидно, что наибольшая интенсивность притока в верхнем интервале пласта связана с образованием каверны за счёт разгруженности песка пластической области на расстоянии 1,5–2,0 м от кровли пласта. Вероятно, это также связано и с неравномерностью передачи горного давления вышележащих пластов на кровлю песчаного пласта у скважины.

По результатам экспериментов можно сделать следующие выводы:

1) вынос песка уменьшается с ростом давления обжима;

2) при достижении давления обжима 0,3 МПа вынос песка стабилизируется и стремится к постоянному значению;

3) песок, имеющий глинистый цемент, может быть подвержен упрочнению.

Для продуктивных пластов, имеющих пластическую область, вероятно, вынос песка при достижении глубины с давлением в пластической области 0,3 МПа и далее до подошвы будет минимальным; при перфорации только этого интервала интенсивность пескопроявлений снизится.

Нередко роль связующего между песчинками в пласте-коллекторе выполняет скважинный флюид. Это имеет место в залежах высоковязкой нефти и битумов. Так, например, на площади Бугундырь при попытке извлечь из понтических отложений в скважине продукцию получили субстанцию, состоящую в основном из песка, пропитанного высоковязким битумом.

В таких залежах интенсивность выноса песка из пласта в ствол скважины зависит от значения депрессии. Чем выше депрессия, тем больше песка поступает в скважину. Однако вследствие высокой вязкости скважинного флюида в стволе скважины песчаной пробки не образуется. Весь песок остаётся во взвешенном состоянии в нефти и с нею выносится на поверхность.

Применение теплового воздействия на призабойную зону скважин при добыче высоковязких нефтей, снижая вязкость, с одной стороны, увеличивает приток нефти к скважине и её дебит, а с другой – под действием тепла приводит к выпадению песка в стволе скважины, образованию песчаной пробки, перекрывающей частично или полностью интервал перфорации пласта, а также к снижению дебита или прекращению подачи. Так как «золотой середины» не существует, приходится идти на чистки стволов скважин от песка, которые забирают достаточно много времени и средств.

В газовых скважинах вынос песка из пласта в ствол скважины интенсифицируется при обводнении скважин на поздней стадии разработки месторождения, когда вода сначала вымывает связующие глинистые частицы, а затем выносит песок.

Имеют место случаи, когда длительное время не пескующие газовые скважины при обводнении, несмотря на снижение депрессии, начинают песковать. Это надо иметь в виду и принимать меры технического или технологического характера для предотвращения или снижения интенсивности выноса песка в ствол скважины.

Технологические методы снижения последствий пескопроявлений в скважинах

Методы, направленные на предотвращение выноса песка в скважину, условно делятся на 3 группы:

1) механические методы, предполагающие создание искусственных перемычек, предотвращающих доступ песка в скважину;

2) имические методы, основанные на закачке в пласт веществ, впоследствии твердеющих и цементирующих песок;

3) комбинированные методы, предполагающие использование механических фильтров и химически закреплённых зёрен песка.

При выборе способа борьбы с выносом песка в скважину учитывается ряд фактов. Большое значение имеет конструкция забоя скважин. При заканчивании скважин с открытым забоем, как правило, используются механические или комбинированные способы. Химические методы закрепления песка применяются в основном в новых скважинах, где ещё не успели образоваться каверны из-за выноса песка. При выборе способа борьбы с выносом песка учитываются температурные ограничения. Для химических методов допустимые пределы температур составляют 16–175 °С, для механических методов таких ограничений нет, кроме тех случаев, когда при образовании набивок используются нефть или загущенные растворы. Высокая успешность операций достигается при длине обрабатываемого интервала не более 3 м.

К технологическим методам предотвращения пескопроявления в скважинах, прежде всего, относится регулирование отборов флюидов из скважины.

Породы призабойной зоны разрушаются под воздействием фильтрующейся жидкости или газа при определённых значениях градиента давления или скорости фильтрации. При этом определённое значение имеет вязкость флюида в пластовых условиях. Чем выше вязкость флюида, тем меньший градиент давления может быть критическим, т.е. таковым, при котором начинается вынос песка.

Газ имеет значительно более низкую вязкость, чем вода или, тем более, тяжёлая смолистая нефть. Поэтому газовый пласт, сложенный слабосцементированными песчаниками, может подвергаться более значительным депрессиям, чем аналогичный пласт, насыщенный нефтью. Однако надо помнить, что в процессе разработки газового месторождения по мере отборов газа происходит стягивание контура водоносности или подъём подошвенной воды, благодаря чему вода приближается к

эксплуатационной газовой скважине и, в конце концов, поступает на забой. Если песчаник сцементирован глинистым материалом или известковистым, то вода по мере её отбора из скважины постепенно вымывает этот материал, способствуя разрушению пласта даже при более низких депрессиях, чем первоначально.

Ранее отмечали, что нередко в природе накопления высоковязких нефтей или битумов последние становятся связующим материалом для песчинок пласта. Извлекать такие флюиды на поверхность без разрушения пласта просто невозможно. На практике осуществить такое регулирование отборов, чтобы совершенно предотвратить вынос песка из призабойной зоны в ствол скважины, нельзя. Спустя некоторое время песок будет накапливаться в стволе, образуя песчаную пробку.

В то же время пробка может не образоваться, если скорость потока флюида в подъёмных трубах будет выше критической, т.е. такой, когда скорость восходящего потока флюида в трубках равна скорости падения песчинки в жидкости под действием силы тяжести. Подъёмная сила струи флюида пропорциональна квадрату диаметра песчинки, а скорость падения под действием силы тяжести – кубу диаметра песчинки. Поэтому для определённого размера песчинок не наблюдается оседания последних в жидкости. Расчёты показывают, что в зависимости от вязкости флюида, в котором во взвешенном состоянии находятся песчинки, критический размер песчинки лежит в пределах 0,35–0,15 мм. Песчинки меньшего размера никогда не выпадают в осадок и не образуют пробки в стволе скважины.

Если в ствол скважины из призабойной зоны пласта выносятся более крупные песчинки, то чтобы не допустить образования песчаной пробки, надо обеспечить определённую скорость подъёма флюида из скважины, способную вынести песок на поверхность. Однако чем выше скорость подъёма (отбора жидкости из скважины), тем выше депрессия на пласт, что недопустимо вследствие интенсификации разрушения пласта.

Чтобы этого не допустить, применяют различные технологические мероприятия:

– использование подъёмных труб пониженного диаметра, полых насосных штанг, хвостовиков, скребков-завихрителей, глубинных насосов с плунжером «пескобрей»;

– подлив жидкости в затрубное пространство насосных скважин.

При применении насосов с плунжером «пескобрей» нужно иметь в виду, что скорость восходящего потока жидкости должна быть более чем в 2 раза выше скорости свободного падения песчинки заданного размера в неподвижной жидкости заданной вязкости.

Хвостовики – трубы небольшого диаметра, присоединяемые к глубинному насосу и опускаемые до нижних дыр фильтра обсадной колонны, предназначены для всасывания выносимого в ствол скважины песка из призабойной зоны и выноса его на поверхность.

Скребки-завихрители, как правило, устанавливаются на первой штанге над глубинным штанговым насосом и создают вихревое движение жидкости, скорость которого увеличивается у стенок труб, и препятствуют оседанию песка над насосом.

С целью предупреждения заклинивания плунжера насоса применяются полые штанги – НКТ диаметром 33, 42, 48 мм. Жидкость из насоса непосредственно направляется в полые штанги, не соприкасаясь с трущимися поверхностями насоса, что полностью исключает заклинивание плунжера.

Для обвязки насосной установки с выкидной линией используется гибкий шланг либо специальная арматура.

Подлив жидкости в затрубное пространство насосных скважин применяется при эксплуатации малодебитных скважин с обильным поступлением песка в них с целью обеспечения достаточной для выноса песка скорости флюида. Этот метод используется при обязательном спуске хвостовика до нижних отверстий фильтра обсадной колонны.

Жидкость, свободная от песка, подливается через отверстие в план-шайбе. Эффективность метода подлива зависит от точности дозирования количества подливаемой жидкости.

Объёмный расход жидкости, необходимой для выноса различных фракций песка на поверхность, определяется по графику (рис. 2). Расчёт производится по диаметру самых крупных песчинок, поступающих в ствол скважины из призабойной зоны пласта. Значение размера δ песчинок отложено на оси абсцисс, а значение скорости потока ω – по оси ординат. Отметив на оси абсцисс точку, соответствующую расчётному диаметру песчинок, проводят вертикаль до пересечения с кривой, соответствующей вязкости жидкости, и на пересечении горизонтали, проведённой из этой точки, с осью ординат получают скорость ω. Обычно на практике принимают скорость восходящего потока $v = 2\omega$.

Вычисляют количество Q жидкости, необходимое для выноса песка из скважины, по формуле:

$$Q = \frac{\pi \cdot \left(D_в^2 - d_н^2\right) \cdot v \cdot 86400}{4},$$

где $D_в$ – внутренний диаметр подъёмных труб, м; $d_н$ – диаметр насосных штанг, м; v – скорость восходящего потока жидкости, м/с.

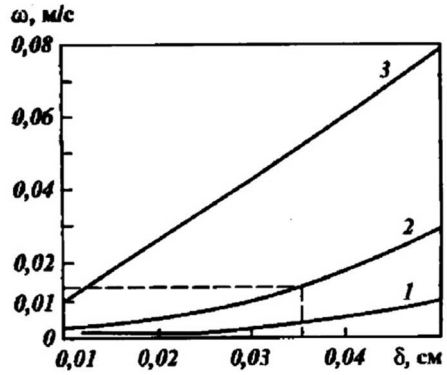

Рисунок 2 – График для определения объёмного расхода жидкости:
1 и 2 – нефть кинематической вязкостью 0,1 и 0,5 см^2/с соответственно; 3 – вода

Побочные негативные эффекты пескопроявляющих скважин

и их предотвращение

Кроме непосредственного воздействия на снижение производительности нефтяных и газовых скважин, пескопроявления в процессе эксплуатации месторождений приводят к целому ряду побочных явлений. Прежде всего, выносимый из пласта песок является высокоабразивным агентом, против которого не могут устоять никакие стали.

При высоких скоростях течения флюидов по трубам, особенно при трёхфазном течении с наличием газовых пузырей, наблюдается высокоскоростной абразивный износ трубопроводов с образованием желоба по нижней образующей и последующим разрывом трубы. Особенно благоприятные условия для абразивного износа выносимым из скважины песком существуют в штуцерах фонтанных и газоконденсатных скважин. Штуцера из легированных сталей разъедаются песком в течение 1,5–2 сут., а в отдельных случаях в течение часов. Применение твёрдых сплавов к существенному улучшению стойкости штуцеров к абразивному износу не приводят. Рассматривался вариант испытания штуцеров с покрытием обычной посудной эмалью. Хотя срок службы штуцеров и увеличился в 2 раза, однако составлял всего несколько суток, что не решает проблемы. Тогда были предприняты попытки создать специальное стеклоэмалевое покрытие, армированное глинозёмистым волокном. Был получен состав покрытия, близкий к стеклокристаллическому, позволивший повысить стойкость эмали к истиранию в 5 раз по сравнению с неармированным покрытием, однако этого также недостаточно. Регулирование скорости потока флюидов в сочетании с покрытием позволяет получить экономически выгодные варианты эксплуатации пескопроявляющих скважин, но здесь возникает опасность образования песчаной пробки на забое и необходимость проведения текущего ремонта по очистке забоя от песка.

Здесь приходится выбирать, что выгоднее – чаще менять оборудование (штуцера, арматуру, трубопроводы) или пойти на увеличение количества текущих ремонтов.

При эксплуатации пескопроявляющих скважин, эксплуатируемых штанговыми или электропогружными насосами, прибегают к использованию песочных или газопесочных якорей, устанавливаемых в скважине ниже насоса и задерживающих песок, продлевая срок работы насоса.

В штанговых насосах применяются плунжеры типа «пескобрей», манжетные насосы. Этому вопросу посвящено достаточно много технической литературы, поэтому не будем на этом подробно останавливаться. Песок, выносимый из скважин, попадает в промысловую систему нефтегазосбора, забивая сборные трубопроводы, на групповые замерно-насосные установки, забивая замерные узлы, сепараторы, клапаны, а также на установки подготовки нефти или конденсата, забивая технологические ёмкости и резервуары.

Для улавливания песка и недопущения его в систему нефтегазосбора испытывались различные пескоуловители. В частности, на месторождении Каражанбас испытывались вертикальный и горизонтальный пескоуловители, установленные на ГЗУ участка внутрипластового горения. Анализ работы вертикального пескоуловителя, принцип действия которого основан на смене направления потока, показал, что при непрерывном движении массы газожидкостной смеси улавливается не более 30 % песка, что объясняется гранулометрическим составом песка и достаточно низкой температурой вязкой нефти, несущей в себе песок.

Лучшие результаты улавливания песка получены на горизонтальном пескоуловителе большой вместимости (180 м^3) при нагреве нефти, снижающем её вязкость. Установлено, что если предварительно сепарировать газ, то при подаче в пескоуловитель горячей нефти практически улавливается весь песок. В случае барботажа газом даже части объёма жидкости резко снижается эффективность процесса.

Тем не менее, в трубопроводах песок откладывался, и надо было их очищать от него. На месторождении проводились испытания устройств очистки трубопроводов (УОТ), разработанных инженерным центром «Трубопровод» (г. Краснодар). Испытания дали положительные результаты при очистке от песка прямолинейных трубопроводов диаметром 100 и 150 мм и длиной соответственно 200 и 350 м. Широкое внедрение устройств было бы возможно при техническом решении вопроса оборудования трубопроводов стационарными приспособлениями ввода и улавливания самого УОТ. Для использования УОТ на сточных и магистральных нефтеколлекторах диаметром 200 мм и более требуются проектные решения по строительству промежуточных шламонакопителей с насосными установками.

Вследствие нерешённости проблемы улавливания песка на скважинах и групповых замерных установках весь песок или его основная масса на месторождении Каражанбас транспортировали на центральный пункт сбора и установку подготовки нефти, вызывая значительные осложнения в подготовке нефти и эксплуатации объекта. Применяющиеся отстойники ОГ-200 С не приспособлены для работы в условиях поступления продукции с песком. Низкое расположение приёмной трубы с козырьками-отсекателями создаёт благоприятные условия для накопления песка.

Реконструированные по рекомендациям института «ТатНИПИ-нефть» отстойники ОГ-200 доказали свою работоспособность. Единственным их недостатком явилось отсутствие газового отсека. Система зачистки от песка этих отстойников также доказала свою работоспособность.

Для очистки технологических резервуаров нефти и сточной воды от песка были предложены две схемы – с помощью внутрирезервуарных размывных устройств и наружных гидромониторов. Однако обе схемы требуют наличия шламонакопителя большой вместимости (1–2 тыс. м^3).

На месторождении Каражанбас в течение года накапливалось до 5–7 тыс. м^3 песка в смеси с плёнкой вязкой нефти, асфальтенов и парафина. Возникла новая проблема – утилизация этого песка. Однако она оказалась легко разрешимой. Этот песок явился хорошим материалом для устройства гидрофобных оснований резервуаров и промысловых автомобильных дорог.

Литература:

1. Березовский Д.А., Лаврентьев А.В., Савенок О.В. Разработка физико-химических моделей и методов прогнозирования состояния пород-коллекторов // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 9. – С. 84–86.

2. Березовский Д.А., Савенок О.В. Использование колтюбинговых технологий при очистке от песка забоя скважины // Актуальные проблемы науки XXI века: материалы XVI Международной научно-практической конференции (30 ноября 2016 года, г. Москва). – М. : Международная исследовательская организация «Cognitio», 2016. – С. 74–80.

3. Технология проведения очистки скважин от песчаной пробки при проведении КРС на примере Конитлорского нефтяного месторождения / Д.А. Березовский [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 4. – С. 104–119.

4. Березовский Д.А., Яковлев А.Л. Технология промывки песчаных пробок на скважинах Кульсаринского месторождения // Достижения и проблемы современной науки: материалы XXIV Международной научно-практической конференции (04 октября 2017 года, г. Санкт-Петербург). – СПб. : Научный журнал «Globus», 2017. – С. 5–19.

5. Бондаренко В.А., Гюлумян Е.К. Анализ методов борьбы с пескопроявлениями на месторождениях Краснодарского края и разработка эффективных технологий // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2014. – № 1. – С. 215–218.

6. Бондаренко В.А., Лаврентьев А.В., Савенок О.В. Разработка физической модели песчаника для оптимального выбора технологий крепления призабойной зоны пласта и управления пескопроявлениями // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 10 (189). – С. 70–72.

7. Бондаренко В.А., Савенок О.В. Анализ существующих методов борьбы с пескопроявлениями и разработка статистической модели деформационно-пространственной нестабильности и разрушения песчанистых пород // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2014. – № 1. – С. 35–42.

8. Бондаренко В.А., Савенок О.В. Разработка статистической модели деформационно-пространственной нестабильности и разрушения песчанистых пород с целью снижения пескопроявлений // ГеоИнжиниринг. – 2014. – № 1. – С. 84–87.

9. Бондаренко В.А., Чуйкин Е.П., Савенок О.В. Проблемы выноса песка на месторождениях Краснодарского края и пути её решения // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (20–23 мая 2014 года, г. Тюмень). – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2014. – С. 94–96.

10. Бондаренко В.А., Савенок О.В. Исследование методов и технологий управления осложнениями, обусловленных пескопроявлениями // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № S5–1. – С. 3–27.

11. Лаврентьев А.В., Савенок О.В., Березовский Д.А. Экспериментальные исследования механизмов гидродинамической устойчивости песчаника // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № S9–2. – С. 3–26.

12. Савенок О.В., Бондаренко В.А. Анализ известных представлений по проблеме пескопроявления // Газовая промышленность. – 2014. – № S (708). – С. 61–65.
13. Шарыпова Д.Д., Бондаренко В.А., Савенок О.В. Разработка технологий предупреждения и ограничения пескопроявлений на примере месторождений Краснодарского края // Проблемы недропользования: материалы Международного форума – конкурса молодых учёных (23–25 апреля 2014 года, г. Санкт-Петербург). – СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2014. – С. 180.
14. Бондаренко В.А., Савенок О.В. Предупреждение пескопроявлений в скважинах и борьба с ними. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2014620964. Заявка № 2014620637 от 04.07.2014.

References:

1. Berezovsky D.A., Lavrentiev A.V., Savenok O.V. Development of physical and chemical models and methods for predicting the state of reservoir rocks // Oil industry. – 2014. – № 9. – P. 84–86.
2. Berezovsky D.A., Savenok O.V. The use of coiled tubing technologies in the cleaning of bottom hole sand // Actual problems of science of the XXI century: materials of the XVI International scientific and practical conference (November 30, 2016, Moscow). – M. : International research organization «Cognitio», 2016. – P. 74–80.
3. Technology of well cleaning from sand plug during well workover on the example of the Konitlorskoye oil field / D.A. Berezovskiy [et al.] // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2016. – № 4. – P. 104–119.
4. Berezovsky D.A., Yakovlev A.L. The technology of washing sand plugs in the wells of the Kulsarynskoye field // Achievements and problems of modern science: materials of the XXIV International Scientific and Practical Conference (October 04, 2017, Saint-Petersburg). – SPb. : Scientific journal «Globus», 2017. – P. 5–19.
5. Bondarenko V.A., Gyulumyan E.K. Analysis of methods for combating sand manifestations at the deposits of the Krasnodar Territory and the development of effective technologies // Problems of development of deposits of hydrocarbons and ore minerals. – 2014. – № 1. – P. 215–218.
6. Bondarenko V.A., Lavrentiev A.V., Savenok O.V. Development of a physical model of sandstone for the optimal choice of technologies for fixing the bottomhole formation zone and controlling sand manifestations // Oil. Gas. Innovations. – 2014. – № 10 (189). – P. 70–72.
7. Bondarenko V.A., Savenok O.V. Analysis of existing methods for combating sand manifestations and development of a statistical model of deformation-spatial instability and destruction of sandy rocks // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2014. – № 1. – P. 35–42.
8. Bondarenko V.A., Savenok O.V. Development of a statistical model of deformation-spatial instability and destruction of sandy rocks in order to reduce sand manifestations // GeoEngineering. – 2014. – № 1. – P. 84–87.
9. Bondarenko V.A., Chuikin E.P., Savenok O.V. Problems of sand removal at the fields of the Krasnodar Territory and ways to solve it // New technologies for the oil and gas region: materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation of students, graduate students and young scientists (May 20–23, 2014, Tyumen). – Tyumen : Tyumen Industrial University, 2014. – P. 94–96.
10. Bondarenko V.A., Savenok O.V. Study of methods and technologies for managing complications caused by sand manifestations // Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2014. – №. S5–1. – P. 3–27.
11. Lavrentiev A.V., Savenok O.V., Berezovsky D.A. Experimental studies of the mechanisms of hydrodynamic stability of sandstone // Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2014. – № S9–2. – P. 3–26.
12. Savenok O.V., Bondarenko V.A. Analysis of well-known ideas on the problem of sand production // Gas industry. – 2014. – № S (708). – P. 61–65.
13. Sharypova D.D., Bondarenko V.A., Savenok O.V. Development of technologies for preventing and limiting sand manifestations on the example of deposits in the Krasnodar Territory // Problems of subsoil use: international forum-competition of young scientists (April 23–25, 2014, Saint-Petersburg). – SPb. : Saint-Petersburg Mining University, 2014. – P. 180.
14. Bondarenko V.A., Savenok O.V. Prevention of sand manifestations in wells and their control. Database registration certificate RU 2014620964. Application № 2014620637 dated 07.04.2014.