УДК 622

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЯ ДЛЯ СКВАЖИН, ВСКРЫВАЮЩИХ СЛАБОКОНСОЛИДИРОВАННЫЙ ПЛАСТ

DEVELOPMENT OF SAND CONTROL TECHNOLOGY FOR WEAKLY CONSOLIDATED ROCK

Жихор Павел Сергеевич
кандидат технических наук,
главный специалист отдела проектирования
и мониторинга разработки месторождений Западной Сибири,
ООО «НК «Роснефть»-НТЦ»
pszhikhor@mail.ru

Долгов Сергей Викторович
доктор технических наук,
профессор кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Институт нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный
технологический университет

Zhikhor Pavel Sergeevich
PhD in Petroleum Engineering,
Chief Specialist of Field Development
Department, LLC «NK "Rosneft»-NTC»
pszhikhor@mail.ru

Dolgov Sergey Viktorovich
D.Sc. in Drilling Engineering, professor,
Oil, Gas and Power Engineering Institute,
Kuban State Technological University

Аннотация. В данной статье представлены основные результаты диссертационной работы по теме «Исследование процессов разрушения слабоконсолидированного пласта и разработка технологии предотвращения пескопроявления». В работе на примере IV горизонта Анастасиевско-Троицкого месторождения определяются причины и механизм разрушения пород призабойной зоны пласта (ПЗП), приводится модель текущего (разуплотненного) состояния ПЗП скважин, способ оценки ее геометрических параметров, а также способ крепления разуплотненных пород.

Ключевые слова: вынос песка, призабойная зона пласта, разуплотнение породы, предотвращение выноса песка, уплотнение породы, слабоконсолидированная порода.

Annotation. «Researching of Unconsolidated rock destruction processes and development of sand control technology» dissertation results are presented in this article. Reasons and process of near wellbore rock destruction are defined for The Fourth Horizon Anastasievsko-Troickoye field. Model of unconsolidated (decompacted) near wellbore rock are adduced. Approach for geological parameters of decompacted zone and compaction technology of unconsolidated rocks are also presented in this article.

Keywords: sand production, near wellbore area, decompaction of rock, sand control, compaction of rock, unconsolidated rock.

Вынос породы с продукцией добывающих скважин при эксплуатации в подавляющем числе случаев носит негативный характер, вызывая ряд факторов, усложняющих и удорожающих разработку месторождения. Поэтому работы, направленные на разработку эффективной технологии борьбы с выносом породы, всегда были и остаются весьма актуальными.

Анастасиевско-Троицкое месторождение находится в Краснодарском крае в разработке с 1954 года. Основным объектом разработки является IV горизонт.

К характерным особенностям месторождения можно отнести следующие:

1. Литологическая однородность и высокая проницаемость коллектора.
2. Коллектор представлен слабоконсолидированным песчаником. Основной связующий элемент – глина, которой в составе породы только 5–7 %, и насыщающая нефть.
3. Малая толщина нефтенасыщенного слоя (текущая – имеет значения от 0 до 3 метров) при массивной газовой шапке и активном аквифере.
4. Высокая плотность сетки скважин, которая достигает значения 23 га/скв.
5. Мелкодисперсный состав пластового песка (фракция 0,01–0,25 мм составляет 70 %).

Такие особенности обусловливают главную проблему месторождения – вынос песка с продукцией добывающих скважин, которая сопутствует всему периоду разработки месторождения.

За более чем 50-ти летний срок разработки месторождения применялись практически все существующие на сегодняшний день способы борьбы с выносом песка. Начиная от простых, механических фильтров различной конструкции, и заканчивая более сложными химическими способами крепления – коксование нефти, применение вяжущих составов и смол различного состава [2]. В последнее время наиболее часто применяется способ предотвращения выноса песка путем крепления ПЗП

закачкой полимеризованного проппанта под давлением [4]. Что подтверждается результатами анализа капитальных ремонтов скважин, проведенных с 2008 по 2015 годы (рис. 1).

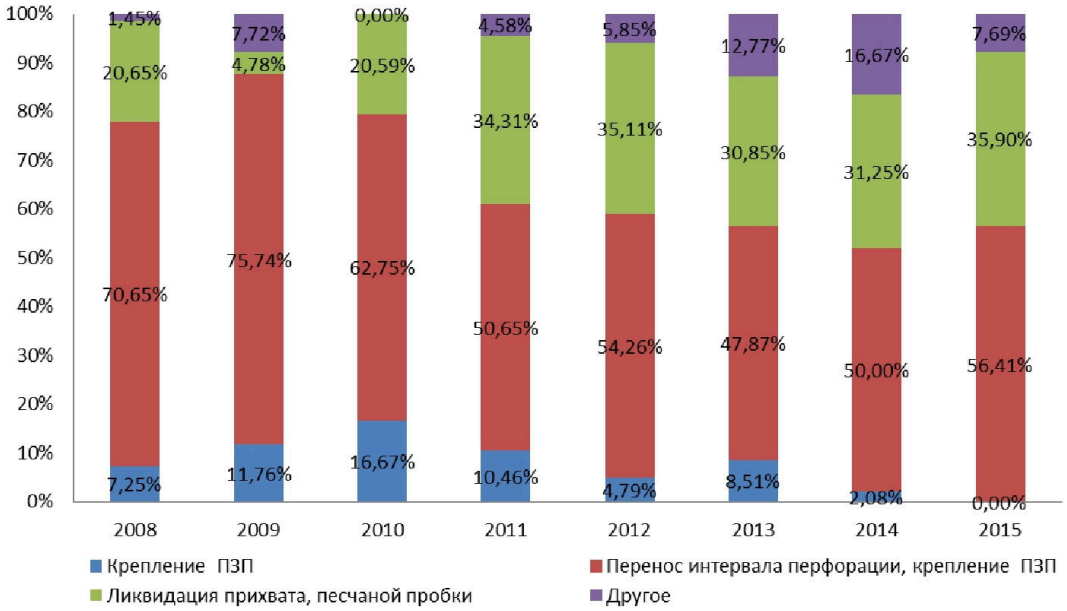

Рисунок 1 – Распределение капитальных ремонтов скважин Анастасиевско-Троицкого месторождения по типам за 2008–2015 годы

На диаграмме видно, что число аварий, вследствие выноса песка из года в год растет, это говорит о снижении эффективности применяемого способа и необходимости разработки нового, более эффективного.

Для разработки эффективной технологии борьбы с выносом песка необходимо, в первую очередь, определить основные причины этого явления. С этой целью был проведен анализ работы скважин Анастасиевско-Троицкого месторождения, который показал, что с увеличением обводненности добываемой продукции интенсивность выноса песка растет. С увеличением доли воды в потоке жидкости происходят следующие процессы:

– увеличивается силы вязкостного трения зерен песка о поток, т.к. вязкость эмульсии выше вязкости нефти;
– происходит увеличение сил адгезии, т.к. порода гидрофильная;
– разрушается и вымывается межзерновой цемент;
– увеличивается линейная скорость потока по поровому каналу при прорывах воды.

Таким образом, одной из причин выноса песка или способствующим этому явлению фактором является увеличение обводненности скважинной продукции.

Другой, не менее важной причиной является суффозия. Расчеты граничных условий действия суффозии для зерен песка АТМ с использованием методики Васильева В.А. [1] показали, что суффозия возможна только для частиц диаметром менее 0,16 мм и должна прекращаться, как только все частицы указанного диаметра будут вынесены потоком жидкости из призабойной зоны. На практике такого не происходит, вынос песка носит постоянный характер. Следовательно, в призабойной зоне пласта происходит постоянный подток частиц, который возможен только при сползании разуплотненного песчаника к забою скважины под действием горного давления.

Таким образом, если порода разуплотнена и подвержена суффозии, то основным направлением борьбы с ее выносом должно быть уплотнение до первоначального состояния и последующее закрепление.

В последнее время для борьбы с выносом песка с продукцией скважин АТМ используется способ крепления породы призабойной зоны пласта полимеризованным проппантом под давлением, при реализации которого в пласт нагнетается сшитый гель с проппантом под давлением, близким, а иногда и превышающим давление ГРП. Для расчета необходимых объемов закачки пользуются методиками, разработанными для операции ГРП.

Классический вид кривой давления закачки геля в пласт при образовании трещины представлен на рисунке 2, а.

Отчетливо виден характерный для инициации трещины пик, резкое падение и стабилизация давления закачки, отражающая рост трещины.

Проведя анализ результатов более чем 300 операций КПЗП, выполненных в период с 2010 по 2014 год, было замечено, что в ряде случаев форма кривых давления закачки геля с проппантом, ха-

рактерна для операции ГРП, что свидетельствует о несоответствии расчетных объемов закачки, требуемым для крепления ПЗП, при этом в ряде случаев наблюдается отрицательный эффект, характеризующийся повышением выноса песка после проведения операции. Только в 43 % случаев форма кривой давления закачки геля имеет вид (рис. 2, б), кардинально отличающийся от кривой закачки при операции ГРП. Резкого перепада давления, сигнализирующего об инициации трещины, не наблюдается, кривая отражает плавный рост, перегиб и падение давления закачки. Следовательно, в таких случаях при закачке геля трещины не образуются. Такое поведение кривой давления закачки схоже с поведением кривой напряжения на стенке подземной полости для вязкопластической среды, полученной экспериментально и описанной Николаевским Н.В. (рис. 3) и Рабиновичем Н.Р. [3, 7] Отсутствие пикового давления на графике закачки можно интерпретировать как пластическое течение породы при разрушении контактных связей в матрице.

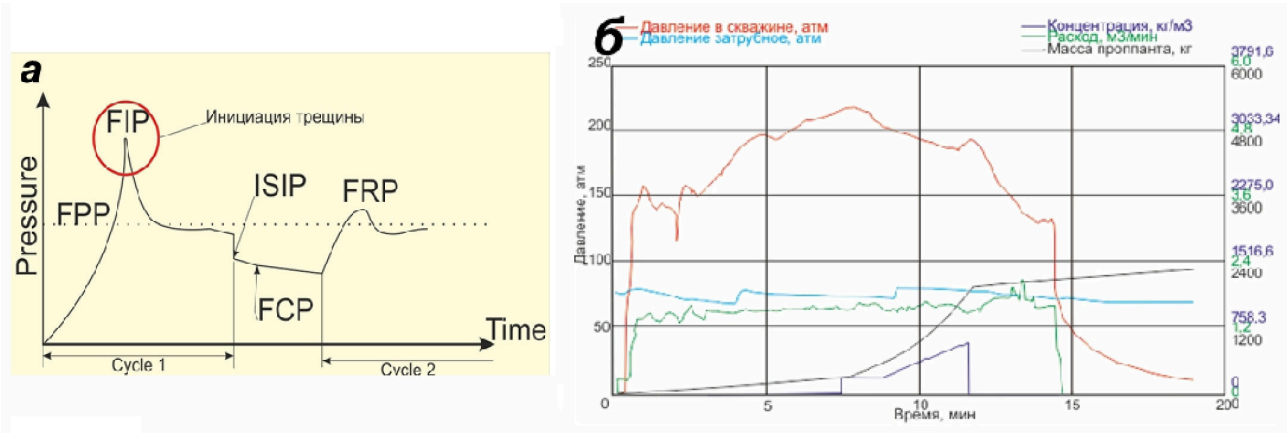

Рисунок 2 – Характер поведения кривой давления закачки геля в пласт

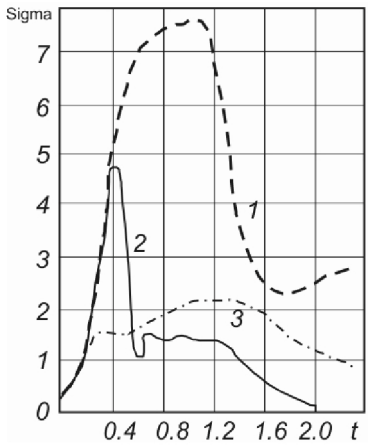

Рисунок 3 – Кривые напряжения на стенке подземной полости по Николаевскому Н.В.:
1 – упруго-пластическая среда, 2 – упругая среда, 3 – упруго-вязкопластическая среда

Таким образом, можно сделать вывод, что в призабойной зоне пласта скважин IV горизонта АТМ за долгие годы эксплуатации с выносом песка образовались разуплотненные зоны, в которых порода ведет себя не как упругая, а как пластическая среда. Под термином разуплотненная зона следует понимать область пласта, в которой отсутствует матрица породы, фактически не существует природного цементировочного материала. Взаимодействие между частицами происходит за счет сил поверхностного трения зерен друг о друга и связывающего действия нефти. При этом возникает возможность переноса массива частиц в границах разуплотненной породы под действием и в направлении градиента давления.

С учетом существования разуплотненной зоны в ПЗП работающей скважины можно выделить три области (рис. 4):

– зону текучей породы, для которой характерна высокая скорость потока пластовой жидкости, ввиду чего зерна породы подвержены суффозии и выносу в наибольшей степени;

– зона разуплотненной породы – с характерным пластическим поведением горной породы при уплотнении. Пористость и проницаемость несколько выше, чем в нетронутой части пласта;

– зона уплотненной породы – не дренируемая эксплуатационной скважиной.

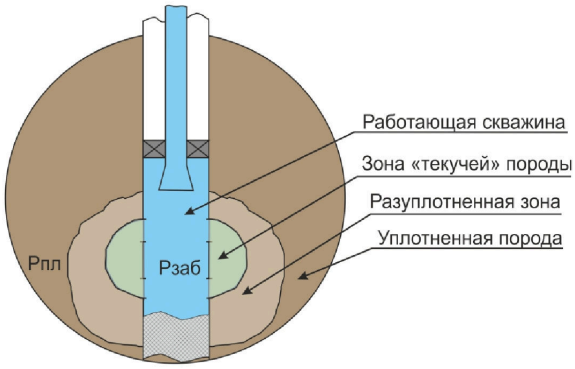

Рисунок 4 – Состояние призабойной зоны пласта с учетом наличия разуплотненной зоны

Для устранения или уменьшения выноса песка необходимо уплотнить и укрепить породу разуплотненной зоны, для этого необходимо оценить объем закачки уплотняющего и расклинивающего агента, чтобы не допустить переуплотнения и разрушения породы.

С этой целью была разработана модель состояния ПЗП, которая позволяет определить объем разуплотненной зоны и его изменение при уплотнении, а также максимально допустимое давление закачки, исключающее разрушение уплотненного слоя [5]. На основе модели был разработан новый способ предотвращения выноса песка, учитывающий разуплотненное состояние породы ПЗП и геометрические параметры разуплотненной зоны [6]. Промышленное применение разработанного способа позволило добиться уменьшения количества выносимых твердых частиц в среднем в восемь раз.

Литература:

1. Васильев В.А. Модель переноса песка в пористой среде. Строительство газовых и газоконденсатных скважин / В.А. Васильев, В.Е. Дубенко // Сб.научн. трудов ВНИИгаза. – М. : ВНИИгаз, 1996. – С. 84–99.
2. Жихор П.С., Вартумян Г.Т., Кошелев А.Т., Пустовой П.А. Эволюция методов крепления призабойной зоны скважин IV горизонта Анастасиевско-Троицкого месторождения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М. : ОАО «ВНИИОЭНГ», 2010. – № 6. – С. 47–49.
3. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. – М. : Недра, 1996. – 447 с.
4. Патент РФ № 2393339. Способ создания гравийного фильтра в скважине / Авт. Изобрет. В.Н. Климовец, Ю.К. Федоров, А.Д. Четверик. – М. кл E21B 43/04, заявл. 06.04.2009, опубл. 27.06.2010 Бюл. № 1.
5. Патент РФ № 2548629. Способ определения параметров разуплотненной зоны продуктивного пласта / Авт. Изобрет. С.В. Долгов, П.С. Жихор. – М. кл E21B 43/04, заявл. 28.01.2014, опубл. 20.04.2015 Бюл. № 11.
6. Патент РФ № 2558080. Способ крепления слабосцементированного пласта / Авт. Изобрет. С.В. Долгов, П.С. Жихор. – М. кл E21B 43/04, заявл. 05.06.2014, опубл. 27.07.2015 Бюл. № 21.
7. Рабинович Н.Р. Инженерные задачи механики сплошной среды в бурении. – М. : Недра, 1989. – 270 с.

References:

1. Vasilyev V.A. Model of transfer of sand in the porous environment. Construction of gas and gas-condensate wells / V.A. Vasilyev, V.E. Dubenko // Collection of scientific works of VNIIGAZ. – M. : VNIIGAZ, 1996. – P. 84–99.
2. Zhikhor P.S., Vartumyan G.T., Koshelev A.T., Pustova P.A. Evolution of methods of fastening of a bottomhole zone of wells IV of the horizon of the Anastasiyevsko-Troitsky field // Construction of oil and gas wells by land and by sea. – M. : JSC VNIIOENG, 2010. – No. 6. – P. 47–49.
3. Nikolaev V.N. Geomekhanika and flyuidodinamika. – M. : Nedra, 1996. – 447 p.
4. Russian Federation patent No. 2393339. A way of creation of the gravel filter in Izobret well / Inventors V.N. Klimovets, Yu.K. Fedorov, A.D. Chetverik. – M. C of E21B 43/04, declared 4/6/2009, published 6/27/2010 Bulletin No. 1.
5. Russian Federation patent No. 2548629. A way of determination of parameters of the loosened zone of productive layer / Inventors S.V. Dolgov, P.S. Zhikhor. – M. C of E21B 43/04, declared 1/28/2014, published 4/20/2015 Bulletin No. 11.
6. Russian Federation patent No. 2558080. Way of fastening of slightly cemented layer / Inventors S.V. Dolgov, P.S. Zhikhor. – M. C of E21B 43/04, declared 6/5/2014, published 7/27/2015 Bulletin No. 21.
7. Rabinovich N.R. Engineering problems of mechanics of the continuous environment in drilling. – M. : Nedra, 1989. – 270 p.