

*На правах рукописи*

**ШВЕЦ СЕРГЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ**



**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ  
ЗАКАНЧИВАНИЯ СКВАЖИН С БОЛЬШИМ ОТХОДОМ  
ОТ ВЕРТИКАЛИ С УСТАНОВКОЙ ЦЕЛЕВОГО  
ФИЛЬТРА**

**Специальность 25.00.15 – *Технология бурения  
и освоения скважин***

**А в т о р е ф е р а т**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**Санкт-Петербург - 2017**

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ухтинский государственный технический университет».

*Научный руководитель:*

кандидат технических наук, доцент

*Кейн Светлана Александровна*

*Официальные оппоненты:*

*Бастриков Сергей Николаевич*

доктор технических наук, профессор, АО «Сибирский научно-исследовательский институт нефтяной промышленности», генеральный директор

*Трохов Владислав Валерьевич*

кандидат технических наук, филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухте, отдел технологий строительства скважин, ведущий инженер

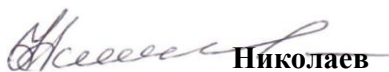
*Ведущая организация:* ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»

Защита диссертации состоится 28 сентября 2017 года в 15 ч 00 мин на заседании диссертационного совета Д 212.224.02 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, В.О. 21-я линия, дом 2, ауд. № 1163.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 28 июля 2017 года.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



Николаев  
Николай Иванович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Современный уровень развития горизонтального бурения позволяет осуществлять строительство скважин с длиной ствола до 14000 метров, при этом общее смещение забоя от вертикали составляет 7000-8000 метров, что в 3-7 раз превышает глубину скважины. При строительстве таких скважин неизбежны проблемы, связанные с их заканчиванием. Для достижения запланированных дебитов в низкопроницаемых коллекторах длину горизонтального участка в продуктивном пласте увеличивают до нескольких километров, что влечет за собой проблемы допуска обсадной колонны до конечного забоя. Существуют технологии и технические средства, обеспечивающие спуск эксплуатационных колонн в ствол скважины с большим смещением забоя, в том числе и с горизонтальным участком. К ним можно отнести решения с заполнением нижнего участка колонны облегченным раствором или с вращением колонны, которые не всегда эффективны и дорогостоящи, поскольку связаны с применением импортных технологий и технических средств. Кроме того отсутствуют критерии, позволяющие оценить условия, при которых возможен успешный спуск колонны до проектного забоя под действием собственного веса в подобные скважины.

Важной задачей при проектировании горизонтальных скважин, особенно с горизонтальным стволом большой протяжённости, является выбор параметров фильтра, позволяющих оптимизировать дебит скважины и предупредить вынос песка из терригенных коллекторов. Выбор рационального типа фильтра и плотности щелевых отверстий должен обеспечить надежную эксплуатацию скважины.

В связи с этим, разработка технологии заканчивания скважины, включающая решения по выбору плотности щелевых отверстий фильтра, а также решения по его допуску до проектного забоя под действием собственного веса, является актуальной задачей.

**Цель работы** заключается в повышении эффективности заканчивания и освоения скважин в пескопроявляющих и низкопроницаемых коллекторах.

**Идея работы** состоит в разработке технологии строительства скважин с большим отходом от вертикали в интервале продуктивных пластов с установкой щелевого фильтра в горизонтальном стволе.

**Основные задачи исследований:**

1. Анализ промыслового опыта спуска обсадных колонн в скважины с большим коэффициентом смещения забоя от вертикали.
2. Обоснование выбора плотности щелевых отверстий фильтра и методика поиска предельной величины коэффициента смещения скважины от вертикали.
3. Обоснование и выбор показателей определяющих успешный спуск обсадной колонны до проектного забоя.
4. Разработка технико-технологических рекомендаций по спуску легкосплавного фильтра в горизонтальную скважину.
5. Расчет плотности щелевых отверстий фильтра на основе математической модели, учитывающей его фильтрационное сопротивление.

**Методика исследований** включает аналитические исследования по обеспечению спуска обсадной колонны до проектного забоя в длинный горизонтальный участок скважины; обработку промысловых данных методами математической статистики; математическое моделирование фильтрации пластового флюида в скважину с учетом фильтрационных сопротивлений щелевого фильтра.

**Научная новизна работы.** Введен и использован критерий «предельный коэффициент смещения» с целью оценки предельного смещения скважины от вертикали при выбранных технических средствах и технологии спуска обсадной колонны, так же получена зависимости между дебитом горизонтальной скважины и скважностью щелевого фильтра, что позволяет производить обоснованный выбор плотности щелевых отверстий.

### **Защищаемые научные положения**

1. Использование критерия «пределный коэффициент смещения» позволяет произвести обоснованный выбор технологии установки фильтра в продуктивном пласте для обеспечения его допуска до конечного забоя с запланированным смещением скважины от вертикали.

2. Учет фильтрационного сопротивления щелевого фильтра в методике расчета притока флюида в горизонтальный ствол скважины, а также установленная зависимость между дебитом скважины и скважностью, позволяют оптимизировать плотность щелевых отверстий фильтра.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается достаточным объемом теоретических и экспериментальных исследований, удовлетворительной сходимостью расчетных данных с фактическими.

**Практическая ценность работы** заключается в разработке технико-технологических решений по заканчиванию скважины, имеющей большой отход от вертикали и включает технологию установки фильтра в горизонтальный ствол до проектного забоя и оптимизировать выбор плотности щелевых отверстий фильтра. Конструкция комбинированной обсадной колонны с облегченным нижним участком получила положительную оценку в Управлении обеспечения производства бурения ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» и планируется к использованию при строительстве горизонтальных скважин в 2017-2018 гг. на Лыаельской площади Ярегского нефтяного месторождения.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались на международной научно-технической конференции «Севергеоэкотех» при Ухтинском государственном техническом университете в 2013 г., на научно-технической конференции преподавателей и сотрудников УГТУ (2013 г.), международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов «West-Siberian Petroleum Conference 2014» в Тюмени, VII Всероссийской конференции

«Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых», посвященная 85-летию Пермской нефти (2014 г.) г. Пермь.

**Публикации.** Основные результаты исследований опубликованы в 6 статьях, в том числе в 3 изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

**Личный вклад автора.** Заключается в сборе и обработке промышленной информации, обработке исходных данных и проведении научных экспериментов, обосновании научной новизны проведенных исследований, апробации результатов исследований на представительных молодежных форумах, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов и рекомендаций, библиографического списка из 119 наименований. Материал диссертации изложен на 155 страницах, включает 105 рисунков и 33 таблицы.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** приводится общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность, определяются цель, задачи, идея работы, излагаются защищаемые научные положения, научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** произведен анализ теории и практики спуска обсадных колонн в горизонтальные скважины.

Среди работ, выполненных в данном направлении, следует отметить исследования ученых, таких как, Александров М.М., Басарыгин Ю.М., Близнюков В.Ю., Богатырев В.А., Булатов А.И., Втюрин А.И., Григорян А.А., Гулизаде М.П., Измайлов Л.Б., Иогансен К.В., Калинин А.Г., Кейн С.А., Кисельман М.Л., Логачев Ю.Л., Оганов А.С., Оганов Г.С., Проселков Ю.М., Тарасевич В.И., Шахбазбеков К.Б., Шерстнев Н.М и другие.

Авторами отмечается, что в первую очередь на спуск обсадной колонны до конечного забоя скважины оказывает влияние качество ствола скважины, а также такие факторы, как

технологический (способ бурения), геологический (состав и свойства горных пород) и параметры траектории скважины.

Выполнен анализ методик расчета характеристик профиля скважины, обеспечивающих успешный спуск обсадной колонны, а также сил, действующих в скважине при спуске обсадной колонны. Показано, что наиболее универсальной и имеющей широкое практическое внедрение является методика М. М. Александрова, которая принята за базовую в наших исследованиях.

Рассмотрен опыт строительства горизонтальных скважин на опытно-промышленном участке (ОПУ-5) Лыаельской площади Ярегского нефтяного месторождения. Характерным для траекторий скважин является незначительная вертикальная глубины 205-210 метров, протяженность горизонтального участка 1000-1050 метров, пространственный профиль, а так же высокоинтенсивный набора зенитного угла ( $3,69^{\circ}/10$  метров).

На основании данных сводок станции ГТИ был произведен анализ многочисленных осложнений, возникших при спуске эксплуатационных обсадных колонн, выявлены участки посадок и затажек, а так же глубины, для которых спуск колонны производился принудительно с применением полиспаста.

Также проанализирован опыт крепления горизонтального ствола скважины в песчаном коллекторе щелевыми фильтрами. В технологии изготовления щелевых фильтров с отверстиями шириной 0,1-4 мм используются лазерные установки (завод ООО «Страж-лазер», г. Москва). Максимально допустимая ширина щелевого отверстия определяется размером частиц песчаной фракции, выносимой нефтью.

Учитывая проанализированные теоретические исследования и практический опыт, можно с уверенностью говорить об актуальности проблемы совершенствования конструкции забоя скважины со спуском щелевого фильтра в горизонтальный ствол.

**Вторая глава** посвящена научно-методическому обоснованию выбора скважности щелевого фильтра для горизонтальной скважины и методики поиска предельной величины коэффициента смещения.

Конструкция эксплуатационной колонны при вскрытии пескопроявляющих пластов, как правило, предусматривает фильтры. Опыт применения фильтров на Ярегском нефтяном месторождении, продуктивный пласт которого сложен песчаником, показал высокую эффективность применения именно щелевых фильтров. При определении скважности, то есть отношения суммарной площади фильтрующих отверстий к общей площади поверхности фильтра, и размеров отверстий должны быть учтены такие факторы как дебит, вязкость нефти, гранулометрический состав пласта, проницаемость, степень его сцементированности и другие факторы.

Для использования вышеперечисленных факторов при исследовании влияния плотности щелевых отверстий фильтра на конечный дебит скважины, нами была разработана математическая модель притока флюида к горизонтальному стволу большой протяженности, учитывающая фильтрационные сопротивления фильтра. Согласно исследованиям В. И. Щурова, приток флюида к щелевому фильтру, будет отличаться тем, что вследствие сгущения линий тока у щелевых отверстий возникает дополнительное фильтрационное сопротивление:

$$R_{oon} = \frac{\mu}{2\pi kh} C \quad (1)$$

где  $C$  – коэффициент, учитывающий дополнительное фильтрационное сопротивление в призабойной зоне из-за несовершенства скважины по характеру вскрытия, определяется по диаграммам, полученным В. И. Щуровым и зависит от размера отверстия ( $d_{эф}$ ), числа отверстий (или щелей) на погонный метр  $N$  и диаметра скважины;  $k$  – проницаемость пласта,  $m^2$ ;  $h$  – толщина пласта, м.

За основу математической модели был принят метод фильтрационных сопротивлений, предложенным Ю. П. Борисовым. Общее фильтрационное сопротивление горизонтальной добывающей скважины представлено в виде суммы фильтрационных сопротивлений подобластей простой формы. Для случая притока флюида к бесконечно длинному горизонтальному



стволу скважины, обсаженной щелевым фильтром, область притока флюида разбивается на три подобласти, в каждой из которых определены фильтрационные сопротивления. Первая подобласть – течение плоскопараллельного потока флюида от контура питания до некоторого радиуса; вторая подобласть – область плоскорадиального потока (приток к скважине); третья подобласть – область притока жидкости в щелевой фильтр.

Окончательная расчетная схема задачи была сведена к решению системы дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} dQ(x) = \frac{2\pi k \cdot dx (P_k - P_c(x))}{\mu \cdot \left[ \pi \frac{R_k}{h} + \ln \frac{h}{2\pi r_c} + C \right]} \\ \frac{dP_c(x)}{dx} = \frac{\lambda}{d_c} \cdot \frac{\rho Q^2(x)}{2\omega_0^2} \end{cases} \quad (2)$$

где  $r_c$  ( $d_c$ ) – внутренний радиус (диаметр) скважины, м;  $\mu$  – динамическая вязкость нефти, Па\*с;  $R_k$  – радиус контура питания, м;  $P_k$  и  $P_c(x)$  – давление на контура питания и в скважине соответственно, МПа.

Решение системы (2) численными методами позволяет получить связь дебита скважины со скважностью щелевого фильтра. Это обеспечивает выбор рациональной плотности щелевых отверстий на погонный метр обсадной трубы.

Для исследования границы применения используемой техники и технологии спуска обсадной колонны нами введен критерий «предельный коэффициент смещения», который позволяет определить предельно допустимое горизонтальное смещения забоя скважины от вертикали при известной глубине расположения горизонтального участка.

Алгоритм нахождения предельного значения  $K_{см}$  заключается в следующем: по методике М.М. Александрова расчета сил, действующих при движении колонны труб в скважине, находилась зависимость осевого усилия в обсадной колонне от длины колонны (рисунок 1). Расчеты производились для

трехинтервального профиля скважины с вертикальным участком, интервалом набора зенитного угла с постоянным радиусом искривления и протяженным горизонтальным участком.

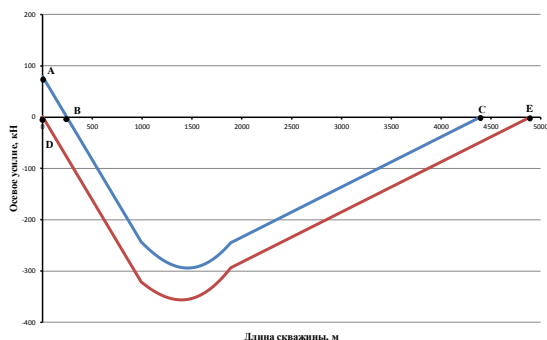


Рисунок 1 – Зависимость осевого усилия от длины скважины

Изменяя длину горизонтального добивались того, чтобы на устье скважины осевое усилие равнялось нулю, кривая DE (рисунок 1). Полученное смещение забоя скважины от вертикали, включая длину горизонтального участка, является максимально допустимым. Наличие в колонне растянутой части, участок АВ кривой ABC (рисунок 1), свидетельствует о возможности успешного спуска обсадной колонны до проектного забоя скважины под собственным весом.

Таким образом, предельный коэффициент смещения определяется как отношение  $A$  – смещения забоя скважины от вертикали, для которого осевое усилие на устье равно нулю, к  $H$  – глубине расположения горизонтального участка по вертикали:

$$K_{см} = \frac{A}{H} \quad (3)$$

**В третьей главе** обоснование и выбор показателей, влияющих на успешный спуск обсадной колонны до проектного забоя выполнено на основе анализа промысловой информации по спуску эксплуатационных обсадных колонн в горизонтальные скважины опытно-промыслового участка ОПУ-5 Лыаельской площади Ярегского нефтяного месторождения.

На участке пробурено 10 скважин с коэффициентом смещения в пределах от 5,1 до 6,7. Анализ многочисленных осложнений позволил связать их с искривлением скважины в пространстве.

Установлена корреляционная связь между силой прижатия колонны к стенке скважины при ее спуске и величиной пространственного угла искривления, то есть углом между двумя касательными, проведенными к оси ствола в точках замеров, лежащих в плоскости искривления скважины. Установлено соответствие участков фактических осложнений (затяжки, прихваты) участкам значительного увеличения (в 2-10 раз) пространственного угла ствола скважины.

Установлено, что вся обсадная колонна при спуске в горизонтальном стволе скважины находится в сжатом состоянии, растянутая часть обсадной колонны в верхней ее части не превышает 600 метров. Большинство осложнений, возникших при спуске обсадной колонны, отмечались уже после прохождения указанной глубины, когда вся колонна находится в сжатом состоянии, что показано на графиках рисунков 2-4.

Для одномерной обсадной колонны при величине коэффициента трения  $K_{тр} = 0,3$  предельный коэффициент смещения равен 2,3 и слабо зависит от радиуса кривизны ствола скважины и единицы длины обсадной трубы.

На графиках рисунков 2-4 и в таблице 1 представлены основные результаты проведенного анализа.

Выделенные в таблице 1 интервалы резкого изменения пространственного угла могут служить критерием для оценки качества ствола скважины, а также быть инструментом для выявления прихватоопасных зон. Данные таблицы 2 и графики на рисунке 5 иллюстрируют, как изменение применяемой техники и технологии позволяет расширить возможности спуска колонны под действием собственного веса: снижение коэффициента трения до  $K_{тр} = 0,2$  позволяет увеличить предельное значение коэффициента смещения до 3,8.

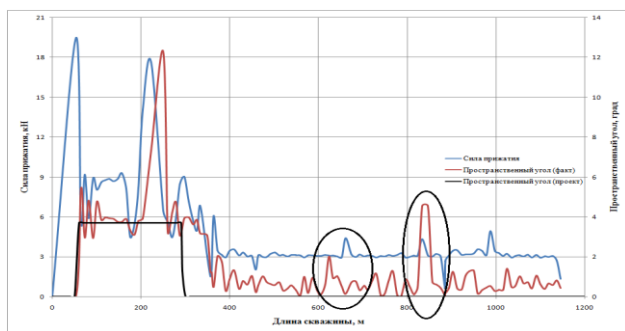


Рисунок 2 – Изменение силы прижатия и пространственного угла по длине скважины № 27ПН Лыаельской площади

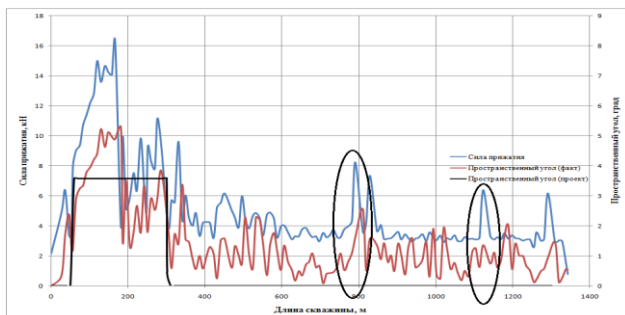


Рисунок 3 – Изменение силы прижатия и пространственного угла по длине скважины № 28Д Лыаельской площади

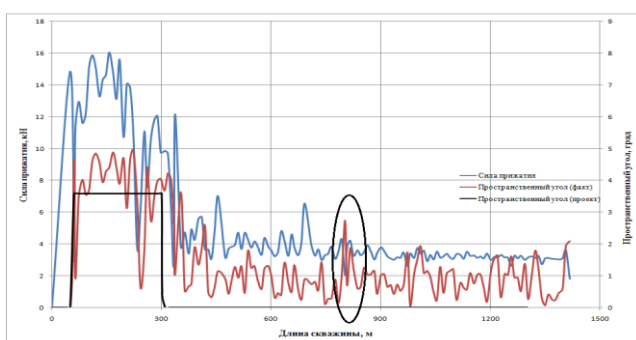


Рисунок 4 – Изменение силы прижатия и пространственного угла по длине скважины № 27Д Лыаельской площади

Таблица 1 – Анализ осложнений при спуске обсадных колонн на Лыаельской площади

Интервал резкого изменения силы прижатия, кН	Интервал резкого изменения пространств. угла, град	Фактические осложнения при спуске обсадной колонны
<b>СКВАЖИНА № 27ПН</b>		
В интервале 651,80 - 660,92 метров в 1,5 раз; В интервале 884,94 - 893,86 метров в 4,8 раз.	В интервале 651,80 - 660,92 метров в 3,5 раз; В интервале 884,94 - 893,86 метров в 7,5 раз.	С 638 метров незначительные посадки колонны (3-5 т). Далее с 870 метров существенные посадки и затяжки до 25 тонн.
<b>СКВАЖИНА № 28ПН</b>		
В интервале 608,29 - 626,72 метров в 1,9 раз; В интервале 838,16 - 856,72 метров в 1,5 раз; В интервале 856,72 - 893,57 метров в 2,2 раз.	В интервале 608,29 - 626,72 метров в 2,6 раз; В интервале 838,16 - 856,72 метров в 3,8 раз; В интервале 856,72 - 893,57 метров в 4,8 раз.	С глубины 640 метров по нарастающей посадки и затяжки обсадной колонны (от 8 до 25 тонн). С 1079,5 метров - спуск колонны с применением полиспаса.
<b>СКВАЖИНА № 29ПН</b>		
В интервале 727,32 - 736,52 метров в 1,4 раз; В интервале 826,86 - 836,04 метров в 1,9 раз.	В интервале 727,32 - 736,52 метров в 3,5 раз; В интервале 826,86 - 836,04 метров в 1,9 раз.	С глубины 600 метров по посадки и затяжки колонны (от 8 до 20 тонн). С 914 метров - спуск колонны с полиспасом.
<b>СКВАЖИНА № 30ПН</b>		
В интервале 726,69 - 736,55 метров в 1,2 раз; В интервале 1141,31 - 1150,77 метров в 1,8 раз.	В интервале 726,69 - 736,55 метров в 4,1 раз; В интервале 1141,31 - 1150,77 метров в 1,5 раз.	С 790 метров посадки и затяжки колонны (6-15 тонн). С глубины 882 метра - спуск колонны с применением полиспаса.
<b>СКВАЖИНА № 31ПН</b>		
В интервале 819,61 - 829,03 метров в 1,9 раз; В интервале 1088,7 - 1107,53 метров в 2,1 раз.	В интервале 819,61 - 829,03 метров в 2,2 раз; В интервале 1088,7 - 1107,53 метров в 7,2 раз.	В интервале 720 - 1060 метров посадки и затяжки обсадной колонны до 18 тонн. С 1060 метров - спуск с полиспасом.

Таблица 2 – Результаты расчета предельных величин коэффициента смещения

Предельная длина скважины, м	Коэффициент трения	Предельная длина горизонтального участка, м	Предельный отход, м	Глубина по вертикали, м	Предельный коэффициент смещения
<i>Обсадная колонна ОТТМ 178*9,2 мм</i>					
4900	0,30	3000	3573	1573	2,3
7370	0,20	5470	6043	1573	3,8
<i>Комбинированная обсадная колонна (ЛОТ ОТТГ 178*14 мм + ОТТМ 178*9,2 мм)</i>					
9760	0,30	7860	8433	1573	5,4
16200	0,20	14300	14873	1573	9,4

Применение комбинированной обсадной колонны, состоящей из стальных бурильных труб и легкосплавных обсадных труб (ЛОТ) из алюминия, позволяет производить спуск колонны под собственным весом до величины коэффициента смещения 5,4 (коэффициент трения  $K_{тр} = 0,3$ ). Использование комбинированной обсадной колонны в сочетании со снижением коэффициента трения до 0,2 позволяет добиться увеличения предельного значения коэффициента смещения до 9,4.

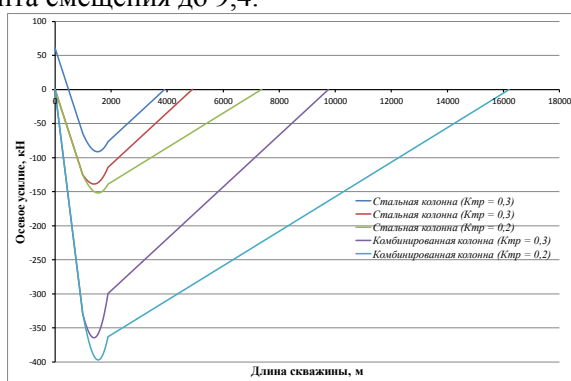


Рисунок 5 – Результаты расчета осевого усилия

Выполненные исследования показывают, что основными параметрами, определяющими допуск обсадной колонны до конечного забоя, является величина коэффициента смещения и наличие в обсадной колонне растянутой части; предельный

коэффициент смещения позволяет на стадии проектирования определить границу применения технико-технологических решений.

**Четвертая глава** посвящена разработке технико-технологических рекомендаций по спуску легкосплавного фильтра в горизонтальные скважины.

На примере месторождения им. Ю. Корчагина и Лыаельской площади Ярегского нефтяного месторождения, с коэффициентом смещения забоя скважин от вертикали более 3,8, показана возможность успешного спуска обсадной колонны до проектного забоя за счет использования обсадных труб из легкого сплава. В скважину спускается комбинированная колонна, состоящая из секции легкосплавных алюминиевых труб в горизонтальном участке и стандартных стальных бурильных (обсадных) труб нефтяного сортамента в вертикальном участке скважины. На рисунках 6 и 7 приведены основные элементы компоновок с указанием их расчетных длин для спуска щелевого фильтра в скважину.

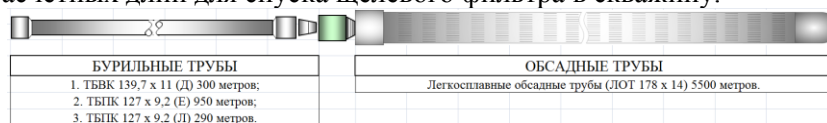


Рисунок 6 – Компоновка для спуска щелевого фильтра на бурильных трубах для условий месторождения им. Ю. Корчагина

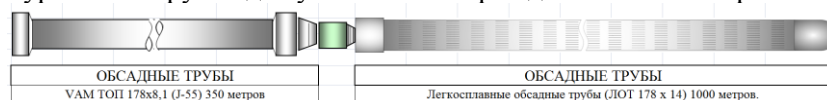


Рисунок 7 – Компоновка для спуска щелевого фильтра для условий Лыаельской площади Ярегского нефтяного месторождения

Более легкая нижняя часть колонны, расположенная в горизонтальном стволе, проталкивается за счет более тяжелой, расположенной в вертикальном или наклонном стволе, при этом увеличивается растянутая часть в колонне и осевое усилие на устье принимает положительное значение, что свидетельствует о возможности допуска сборки в скважину под действием собственного веса.

Произведен необходимый расчет прочности фильтра-хвостовика с учетом щелевых отверстий на действующие нагрузки

при спуске в горизонтальную скважину. Полученное значение в полной мере удовлетворяет необходимым прочностным характеристикам.

**В пятой главе** произведен расчет плотности щелевых отверстий фильтра на основе математической модели, учитывающей фильтрационное сопротивление щелевого фильтра, для условий Ярегского месторождения и месторождения имени Ю. Корчагина.

Для исследования зависимости дебита нефти от скважности фильтра, было выполнено решение системы дифференциальных уравнений (2) для условий вышеуказанных месторождений. Согласно результатам исследования образцов, отобранных из нефтенасыщенной части пласта Ярегского месторождения, гранулометрический состав песчаников показал, что до 90 % преобладают фракции размером 0,1-0,25 мм. Плотность и вязкость нефти, после обработки перегретым паром, составляют 944 кг/м<sup>3</sup> и 3,066 Па\*с соответственно, проницаемость пласта равна  $12 \cdot 10^{-12}$  м<sup>2</sup>. Применение отверстий с разной шириной щели при эксплуатации скважин, показало, что наиболее эффективно предупреждение выноса песка обеспечивается фильтрами с шириной щели равной 0,180 мм. В работе нами рассмотрены три варианта размеров щелей: ширина 0,180, 0,350 и 0,406 мм при длине 40 мм.

По месторождению им. Ю. Корчагина использована следующая промысловая и геологическая информация: плотность нефти  $\rho = 709$  кг/м<sup>3</sup>, вязкость нефти  $\mu = 0,001$  Па\*с, проницаемость пласта  $k = 0,018 \cdot 10^{-12}$  м<sup>2</sup>. Изучение керна показал, что неокосский надъярус сложен преимущественно среднезернистым песчаником (до 80 %) с размером зерен 0,5-1 мм. Рассмотрены два варианта размеров щелей: ширина 0,300 и 0,406 мм при длине 40 мм, площадь 12,00 и 16,24 мм<sup>2</sup> соответственно.

Для указанных месторождений результаты расчетов приведены на графиках рисунков 8-10.

На рисунке 8 приведены зависимости накопленного притока нефти по длине ствола для фильтра с постоянной по всей длине скважностью, а также накопленного притока для фильтра, скважность которого меняется от участка к участку.



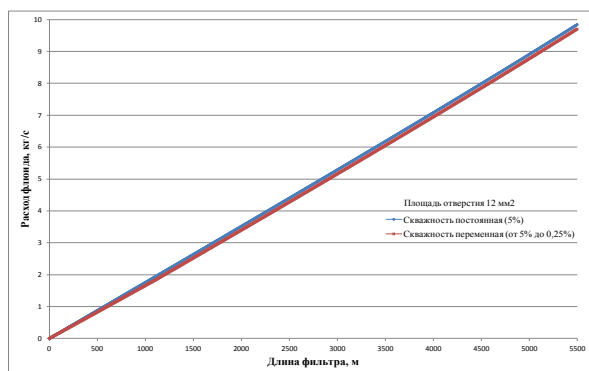


Рисунок 8 – Приток нефти по длине фильтра для условий месторождения им. Ю. Корчагина

В последнем случае выбрано пять участков, скважность уменьшалась от конечного забоя по направлению к устью скважины, приняты значения от 0,25 % до 5 %. Анализ приведенных графиков показывает, что приток нефти в скважину практически одинаков, как при использовании фильтров с разной плотностью отверстий по интервалам, так и фильтра с постоянной плотностью отверстий по всей длине. Принятое в настоящее время в практике строительства горизонтальных скважин использование фильтров с неравномерным распределением отверстий, то есть уменьшением плотности щелей от конечного забоя по направлению к устью, дает такой же эффект выравнивания депрессии на пласт по длине ствола как и применение фильтров с постоянной скважностью.

На рисунках 9, 10 приведены зависимости основных характеристик движения потока флюида от величины скважности фильтра для щелей с различной площадью. Характерной особенностью графиков, не зависимо от геологических и эксплуатационных особенностей месторождения, является выполаживание кривых: при скважности фильтра более 5 %, не происходит существенного изменения дебита скважины, скорости течения жидкости и потерь давления. В зависимости от скважности фильтра в таблице 3 приведена плотность и предложена схема размещения щелевых отверстий на погонном метре 178 мм обсадной трубы.

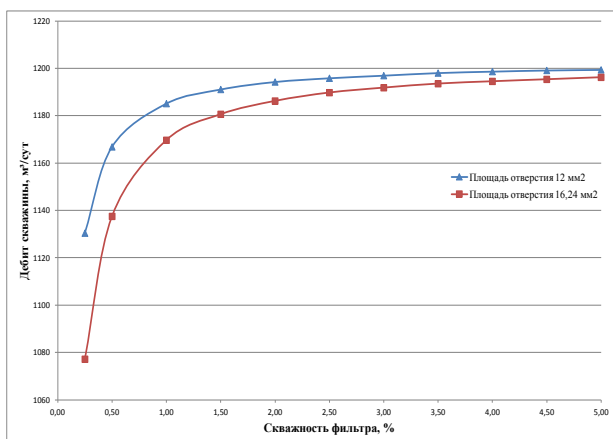


Рисунок 9 – Дебит скважины в зависимости от скважности фильтра для условий месторождения им. Ю. Корчагина

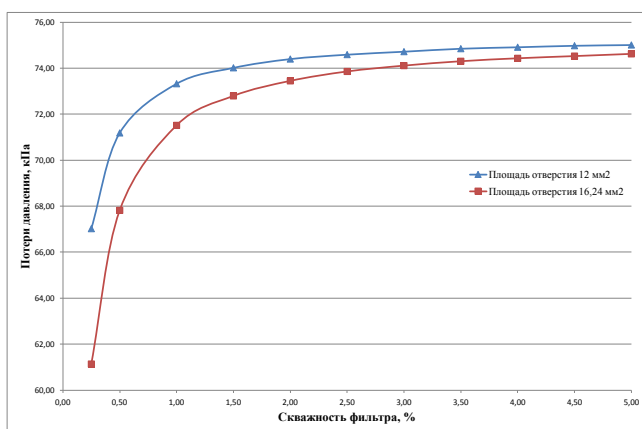


Рисунок 10 – Потери давления в зависимости от скважности фильтра для условий месторождения им. Ю. Корчагина

На стадии выбора плотности отверстий щелевого фильтра предложенная методика расчета притока нефти позволяет обоснованно выбирать скважность фильтра в зависимости от требуемого дебита скважины.

Таблица 3 – Размещение отверстий на погонном метре 178 мм обсадной трубы

Площадь щели, мм <sup>2</sup> / Схема размещения		Скважность фильтра, %				
		1	2	3	4	5
16,24	Количество щелей в ряду, шт.	17	34	51	69	86
	Количество рядов, шт. на 1 пог. м	20	20	20	20	20
	Количество щелей, шт. на 1 пог. м	340	680	1020	1380	1721
7,2	Количество щелей в ряду, шт.	39	78	116	155	194
	Количество рядов, шт. на 1 пог. м	20	20	20	20	20
	Количество щелей, шт. на 1 пог. м	780	1560	2320	3100	3880

### Заключение

1. Использование критерия «предельный коэффициент смещения» позволяет на стадии проектирования определить максимально допустимое смещение скважины от вертикали по ее глубине. В зависимости от применяемых технических и технологических решений по спуску обсадной колонны выделены интервалы предельного коэффициента смещения, в пределах которых возможен допуск обсадной колонны до проектного забоя, а именно:

- в пределах изменения величины коэффициента смещения  $K_{см} \leq 2,3$  под действием собственного веса (принят  $K_{тр} = 0,3$ );
- в интервале  $2,3 \leq K_{см} \leq 3,8$  спуск за счет снижения величины коэффициента трения (принят  $K_{тр} = 0,2$ );
- в интервале значений  $3,8 \leq K_{см} \leq 5,4$  за счет облегчения нижней части обсадной колонны (принят  $K_{тр} = 0,3$ );
- в интервале значений  $5,4 \leq K_{см} \leq 9,4$  комплекс решений по снижению коэффициента трения и облегчению нижней части обсадной колонны (принят  $K_{тр} = 0,2$ ).

2. Применение комбинированной обсадной колонны, состоящей из секции легкосплавных в горизонтальном участке и стандартных стальных труб в вертикальном участке скважины, позволяет осуществить спуск обсадной колонны под собственным весом в скважины с коэффициентом смещения больше 3,8.

3. Наличие корреляционной зависимости между силой прижатия обсадной колонны к стенке скважины и величиной пространственного угла позволяет использовать результаты инклинометрии для выявления прихватоопасных зон. Для участков колонны, находящихся в сжатом состоянии с относительным

изменением пространственного угла 200-1000%, рекомендуется проработка ствола перед спуском обсадной колонны.

4. Исследования зависимости накопленного притока флюида от скважности щелевого фильтра позволяет предложить следующие рекомендации по выбору плотности отверстий фильтра для условий месторождения имени Ю. Корчагина и Лыаельской площади Ярегского нефтяного месторождения:

а) целесообразно применять щелевые фильтры постоянной скважности;

б) скважность фильтра 5 % обеспечивает стабилизацию дебита скважины;

в) увеличение площади щелевого отверстия не приводит к увеличению притока нефти, но позволяет снизить гидравлические потери давления при движении флюида в скважине;

г) плотность щелевых отверстий на погонном метре обсадной трубы выбирается в зависимости от проектного дебита скважины.

5. Конструкция комбинированной обсадной колонны с облегченным нижним участком получила положительную оценку в Управлении обеспечения производства бурения ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» и планируется к использованию в качестве эксплуатационной колонны на горизонтальных скважинах Лыаельской площади.

**Основные положения диссертации опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:**

1. Швец С.В. Влияние параметров траектории горизонтальной скважины на спуск обсадной колонны / С.В. Швец, С.А. Кейн // Научно-технический журнал «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». - 2014. - № 7. - С. 19-23.

2. Кейн С. А. Оценка сложности траектории горизонтальных скважин при спуске обсадных колонн / С.А. Кейн, С.В. Швец // Научно-технический журнал «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». - 2015. - № 7. - С. 38-41.

3. Кейн С.А. Разработка дизайна фильтра-хвостовика для крепления горизонтальных участков большой длины / С.А. Кейн, И.Н. Андронов, С.В. Швец, В.П. Пятибрат // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». - 2016. - № 1. - С. 24-28.