

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
технический исследовательский университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения им. А.Буркитбаева

Кафедра «Технологические машины и оборудование»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»  
Институт энергетики  
и машиностроения

Елеуов Алмас Куандыкович

Совершенствование техники и технологии борьбы с пескопроявлениями при  
добыче нефти из проблемных месторождений

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Специальность: 7М07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский Национальный  
технический исследовательский университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра «Технологические машины и оборудование»

Елеуов Алмас Куандыкович

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание академической степени магистр техники и технологий

Название диссертаций: «Совершенствование техники и технологии борьбы с  
пескопроявлениями при добыче нефти из проблемных месторождений»

Направление подготовки: 7M07111 – Цифровая инженерия машин и  
оборудования

Научный руководитель  
канд. техн. наук, профессор

Мырзахметов Б.А.

«18» 06 2024 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»

Институт энергетики  
и машиностроения

Рецензент

Доктор технических наук,

Генеральный директор ТОО «Бурмаш»

Кудайкулова Г.А.

«18» 06 2024 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой ТМиО

канд. техн. наук, ассоц. профессор

Калиев Б.З.

«18» 04 2024 г.

Нормоконтроль

Ст. преподаватель, магистр техн. наук.

Е.Е.Сарыбаев

«18» 04 2024 г.

Алматы, 2024



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН


Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра «Технологические машины и оборудование»

7М07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ТМиО  
канд. техн. наук, ассоц. профессор  
 Бортебаев С.А.  
« 01 » 12 2022 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертаций**

Магистрант: Елеуов Алмас Куандыкович

Тема: «Совершенствование техники и технологии борьбы с пескопроявлениями  
при добыче нефти из проблемных месторождений»

Утвержден приказом руководителя университета №408 – п от «23» ноября 2022

г.

Срок сдачи законченной диссертаций: «18» июня 2024 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: материалы из патентов и  
многофункциональный клапан для погружных насосов

Перечень вопросов подлежащих разработке в магистерской диссертации или  
краткое содержание магистерской диссертации:

а) Обзор и анализ казахстанских месторождений в борьбе с выносом песка  
преимущества и недостатки – рассматривали обзор и сделали анализ  
месторождений Казахстана;

б) Основные методы борьбы выноса песка – был выполнен всевозможный обзор  
на существующие методы борьбы с пескопроявлением;

в) Многофункциональный клапан как решения для борьбы с выносом песка –  
рассмотрели общие сведения, принцип работы и расчетная часть;

г) Экономическая часть – рассмотрели какие могут быть убытки и инвестиции  
в борьбе с пескопроявлениями;






Рекомендуемая основная литература: из 20 наименований

# ГРАФИК


## подготовки магистерской диссертаций

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Аналитическая часть	1.03.2023	
Основная часть	1.05.2023	
Расчетная часть	10.04.2024	
Экономическая часть	1.05.2024	
Аналитическая часть	20.05.2024	

Подписи консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Консультанты Ф.И.О (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Аналитическая часть	к.т.н., профессор, Мырзахметов Б.А.	01.03.2023	
Основная часть	к.т.н., профессор, Мырзахметов Б.А.	29.05.2023	
Расчетная часть	к.т.н., профессор, Мырзахметов Б.А.	05.04.2024	
Экономическая часть	к.т.н., профессор, Мырзахметов Б.А.	10.05.2024	
Нормоконтролер	м.т.н., лектор Сарыбаев Е.Е.	18.06.2024	

Научный руководитель:  к.т.н., проф., Мырзахметов Б.А.

Задание принял к исполнению магистрант  Елеуов А.К.

Дата «16» 06 2024 г.

## **АНДАТПА**

Магистрлік диссертацияда суасты ұңғыма сорғыларына арналған көпфункционалды клапанның көмегімен құмның пайда болуымен күресті жетілдіру бойынша зерттеу нәтижелері келтірілген. Механикалық қоспалары бар қабат сұйықтығының қозғалыс режимін есептеу әдісі және құмдағы сұйықтықтың қозғалысын есептеу әдісі жасалды, сонымен қатар оған есептеу нәтижелері бойынша графиктер қосылды.

Диссертацияда құмның пайда болуымен күресу әдістеріне және оған қандай жағымсыз салдарға әкелуі мүмкін мәселелер қарастырылған. Құммен күресудің барлық қолданыстағы және өзекті әдістері сипатталған, сонымен қатар көп функциялы клапанның жұмыс принципі сипатталған.

Магистрлік диссертация 50 беттен және әдебиеттер мен дереккөздер тізімінен 2 беттен тұрады.

## **АННОТАЦИЯ**

В магистерской диссертации приведены результаты исследования совершенствование борьбы с пескопроявлениями при помощи многофункционального клапана для погружных скважинных насосов. Произведен метод расчета режима движения пластовой жидкости, содержащей механические примеси и расчет движения жидкости в песке, также к нему были добавлены графики по результатам расчетов.

В диссертации рассмотрены вопросы, связанные с методами борьбы с пескопроявлениями и какие негативные последствия, могут повлечь за ним. Были описаны все существующие и актуальные методы борьбы с песком, а также описан принцип работы многофункционального клапана.

Магистерская диссертация составлена из 50 страницы комментария и 2 страниц списка литератур и источников.

## **ABSTRACT**

The master's thesis presents the results of a study on improving the control of sand phenomena using a multifunctional valve for submersible borehole pumps. A method for calculating the mode of movement of a reservoir fluid containing mechanical impurities and calculating the movement of a liquid in sand has been developed, and graphs based on the results of calculations have also been added to it.

The dissertation examines issues related to methods of combating sand phenomena and what negative consequences may entail. All existing and current sand control methods were described, as well as the principle of operation of the multifunctional valve.

The master's thesis consists of 50 pages of commentary and 2 pages of a list of references and sources.

## **Термины и сокращения**

ШВН – штанговый винтовой насос;  
ГНО - глубинно-насосное оборудование;  
ПЗП – призабойная зона пласта;  
ФСЦ – целевой скважинный фильтр;  
ВНУ – винтовая насосная установка;  
НКТ – насосно-компрессорная труба;  
ПСМ – погружной сепаратор механический;  
УЭЦН – установка электроцентробежного насоса;  
МФК – многофункциональный клапан.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	7
1	Аналитическая часть борьбы с пескопроявлениями	9
1.1	Обзор и анализ казахстанских месторождений в борьбе с выносом песка преимущества и недостатки	9
1.2	Причины и последствия возникновения пескопроявления	15
2	Основные методы борьбы выноса песка	20
2.1	Технологические и технические методы борьбы с пескопроявлением	20
2.2	Применение фильтров различной конструкции	23
3	Расчетная часть	31
3.1	Расчет режима движения пластовой жидкости, содержащей механические примеси	31
3.2	Расчет движения песка в стволе наклонной скважины при промывке песчаной пробки	33
4	Многофункциональный клапан как решения для борьбы с выносом песка	40
4.1	Актуальность вопроса и других методов борьбы с выносом песка	40
4.2	Общие сведения многофункционального клапана при добыче нефти и газа	44
4.3	Принцип работы многофункционального клапана и его технология	46
5	Экономическая часть	52
	Заключение	57
	Список использованной литературы	58



## ВВЕДЕНИЕ

Современная нефтегазовая промышленность сталкивается с множеством технических и технологических вызовов, среди которых одной из наиболее актуальных проблем является пескопроявление при добыче нефти и газа. Пескопроявления в скважинах могут приводить к значительным потерям в производительности, увеличению эксплуатационных расходов и необходимости частых ремонтных работ. Эти негативные явления особенно остро проявляются на проблемных месторождениях, где геологические условия способствуют выносу песка в скважины.

Актуальность проблемы обусловлена тем, что в условиях жесткой конкуренции и необходимости оптимизации производственных процессов нефтегазовые компании вынуждены искать эффективные методы борьбы с пескопроявлениями. Традиционные методы не всегда способны обеспечить необходимую эффективность и экономичность, что требует разработки и внедрения новых, более совершенных технологий и техники.

С увеличением числа месторождений, находящихся на завершающей стадии разработки, актуализируется проблема выноса песка, иначе называемого пескопроявлением, поскольку снижается дебит скважины. Вследствие этого эксплуатация скважин становится непостоянной и переходит на периодический режим. В таких условиях возможна периодическая эксплуатация скважин, что может приводить к образованию песчаных пробок над насосом.

Цель данной диссертации состоит в изучении существующих методов борьбы с пескопроявлениями, анализе их эффективности и разработке новых подходов, направленных на повышение производительности скважин и снижение эксплуатационных затрат. Особое внимание уделяется адаптации этих методов к специфическим условиям проблемных месторождений, что требует комплексного подхода и использования инновационных технологий. В частности, важным элементом исследования является внедрение многофункционального клапана для очистки скважинного фильтра, который поможет в борьбе с пескопроявлением и обеспечит стабильную работу скважин.

В ходе исследования будут рассмотрены следующие задачи:

- анализ существующих методов борьбы с пескопроявлениями и выявление их недостатков;
- изучение влияния геологических и технико-технологических факторов на процессы пескопроявлений;
- разработка и тестирование новых методов и технологий борьбы с пескопроявлениями, включая адаптивные режимы добычи, использование современных антипесковых агентов и передовые методы очистки скважин;
- оценка экономической эффективности предложенных решений и их влияние на производственные процессы;



- практическое внедрение разработанных методов на проблемных месторождениях и анализ полученных результатов.

Научная новизна работы заключается:

- в разработке уточненной математической модели расчетного определения времени седиментации механических примесей в восходящем потоке пластового флюида;

- комплексном подходе к решению проблемы пескопроявлений и разработке технического устройства, позволяющего предотвратить образование песчаных пробок во время технологических остановок;

- в разработке технологии и устройства для очистки фильтроэлементов насоса непосредственно в скважинных условиях без проведения ремонтно-восстановительных работ (подземного ремонта скважины).

Предлагается использование многофункционального клапана для очистки скважинного фильтра в сочетании с адаптивными режимами добычи и современными антипесковыми агентами. Ожидается, что внедрение этих инноваций позволит существенно повысить эффективность борьбы с пескопроявлениями и снизить эксплуатационные затраты.

Кроме того, данное исследование включает в себя обзор лучших мировых практик и технологий, используемых в борьбе с пескопроявлениями, с целью адаптации и применения их в условиях отечественных месторождений. Рассматриваются также экологические аспекты применения новых технологий и их влияние на окружающую среду.

Таким образом, данная диссертация направлена на решение одной из ключевых проблем нефтегазовой отрасли и может внести значительный вклад в развитие технологий добычи нефти на проблемных месторождениях. Результаты этого исследования будут способствовать повышению производительности и экономической эффективности нефтедобычи, а также снижению негативного воздействия на окружающую среду.

## **1 Аналитическая часть борьбы с пескопроявлениями**

### **1.1 Обзор и анализ казахстанских месторождений в борьбе с выносом песка преимущества и недостатки**

Месторождения нефти в Казахстане, такие как Тенгиз, Карачаганак и Кашаган, сталкиваются с проблемами выноса песка, что существенно снижает эффективность добычи и увеличивает затраты на обслуживание скважин. Для улучшения технологий борьбы с пескопроявлениями в Казахстане важно рассмотреть и адаптировать лучшие мировые практики, которые доказали свою эффективность в различных геологических условиях. Анализ текущих методов борьбы с пескопроявлениями на этих месторождениях позволяет оценить их эффективность и выявить направления для совершенствования. Разберем методы борьбы с выносом песка на каждом месторождении.

Начнем мы одним из самых крупных месторождений Казахстана Тенгиз, с высокими пластовыми давлениями и температурами. Проблемой месторождения Тенгиз является высокое содержание песка в продуктивной зоне, что требует регулярного технического обслуживания и замены фильтров и экранов.

На данном месторождении они используют два метода борьбы с выносом песка это гравийных фильтров и экранов и инъекция полимеров.

Гравийные фильтры и экраны представляют собой механические барьеры, установленные в скважине, чтобы предотвратить попадание песка в добываемый флюид. Эти фильтры состоят из гравия или другого прочного материала, размещенного вокруг перфорационных отверстий в стволе скважины. Экраны, в свою очередь, представляют собой металлические или пластиковые конструкции с мелкими отверстиями, которые устанавливаются внутри скважины. Процесс установки состоит из трех шагов, а именно нужно сперва подготовить скважину. Перед установкой фильтров и экранов производится очистка скважины и подготовка призабойной зоны. Затем идет второй шаг размещение гравийных фильтров. Гравий закачивается в скважину через перфорационные отверстия и заполняет пространство между стенками скважины и обсадной колонной. После уже финальный этап – это установка экранов. Экраны монтируются внутри скважины так, чтобы их отверстия позволяли проходить нефти и газу, но задерживали песок.

Преимущества данного метода:

- высокая эффективность;
- долговечность.

Эти устройства эффективно предотвращают попадание песка в добываемый флюид, что снижает вероятность засорения оборудования. Гравийные фильтры и экраны могут служить длительное время при правильной установке и обслуживании.

Недостатки данного метода:

- необходимость регулярного обслуживания;
- затраты.

Со временем фильтры и экраны могут забиваться, что требует регулярной очистки или замены. Установка и обслуживание этих систем требуют значительных финансовых вложений.

Переходим ко второму методу инъекции полимеров. Инъекции полимеров представляют собой метод химической стабилизации песчаных пластов. Полимеры – это высокомолекулярные соединения, которые вводятся в пласт для связывания песчаных частиц, уменьшая их подвижность и предотвращая вынос песка. Данный процесс можно также разделить на 3 этапа. Первый этап состоит в том, что необходимо подготовить раствор. Полимерный раствор готовится с использованием специфических полимеров, подходящих для геологических условий конкретного месторождения. Далее идет процесс закачки в пласт. При помощи насосного оборудования раствор закачивается в пласт через перфорации. Затем закрепление песчаных частиц. Полимер взаимодействует с песчаным материалом, образуя стабильную структуру, которая предотвращает миграцию песка.

Как и первый метод борьбы с выносом песка данный метод также имеет свои плюсы и минусы.

Преимущества данного метода:

- снижение миграции песка;
- продление срока службы оборудования.

Полимеры эффективно стабилизируют песчаные пласты, что снижает количество песка в добываемом флюиде. За счет снижения содержания песка уменьшается износ оборудования и снижаются затраты на его обслуживание.

Недостатки данного метода:

- экологические риски;
- затраты на реагенты.

Некоторые полимеры могут оказывать негативное влияние на окружающую среду, что требует тщательного выбора и контроля за применением. Постоянная потребность в химических реагентах увеличивает эксплуатационные расходы.

Гравийные фильтры и экраны, а также инъекции полимеров представляют собой эффективные методы борьбы с пескопроявлениями на месторождении Тенгиз. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при выборе оптимальной стратегии эксплуатации. Совместное применение этих методов может существенно повысить эффективность добычи и снизить эксплуатационные затраты.

По данному месторождению Тенгиз мы получили следующие результаты:

- эффективность методов составляет 75%;
- затраты на обслуживание 20%.

Следующее месторождение, о котором пойдет речь это Карачаганак. Газоконденсатное месторождение с высоким содержанием песчаных частиц. В Карачаганакском месторождении используются два основных метода борьбы

с пескопроявлениями это химические стабилизаторы и механические фильтры.

Химические стабилизаторы представляют собой специальные химические составы, которые вводятся в песчаные пласты для укрепления их структуры. Эти стабилизаторы связывают частицы песка, уменьшая их подвижность и предотвращая вынос песка в добываемый флюид.

Специально разработанный химический состав подбирается с учетом геологических условий месторождения. С помощью насосного оборудования химический стабилизатор вводится в песчаный пласт через перфорации в скважине. Химические компоненты связывают песчаные частицы, образуя прочную структуру, которая предотвращает миграцию песка.

Преимущества химического стабилизатора:

- эффективность;
- гибкость применения.

Химические стабилизаторы надежно укрепляют песчаные пласты, предотвращая вынос песка. Можно использовать для различных типов песчаных пластов в зависимости от их характеристик.

Недостатки химического стабилизатора:

- экологические риски;
- стоимость.

Некоторые химические компоненты могут негативно влиять на окружающую среду. Частое обновление химических реагентов увеличивает эксплуатационные расходы.

Механические фильтры представляют собой устройства, установленные в скважине для улавливания песка и других механических примесей из добываемого флюида. Эти фильтры могут быть выполнены из различных материалов, включая металл и пластик, и содержат мелкие отверстия для задержания песка.

В процессе установки механического фильтра необходимо сделать очистку скважины и установить обсадную колонну. Механические фильтры монтируются в скважине на уровне песчаных пластов. Флюид проходит через фильтр, который задерживает частицы песка и предотвращает их попадание в добываемый поток.

Преимущества механического фильтра:

- надежность;
- долговечность.

Механические фильтры эффективно задерживают песок, предотвращая его вынос. При правильном обслуживании фильтры могут служить длительное время.

Недостатки механического фильтра:

- обслуживание;
- затраты.



Фильтры могут забиваться и требуют регулярной очистки или замены. Установка и обслуживание фильтров требуют значительных финансовых вложений.

Применение химических стабилизаторов и механических фильтров на месторождении Карачаганак является эффективным методом борьбы с пескопроявлениями. Химические стабилизаторы обеспечивают надежную стабилизацию песчаных пластов, а механические фильтры задерживают песок, предотвращая его попадание в добываемый флюид. Важно учитывать специфические условия месторождения для выбора оптимального метода и сочетания методов борьбы с пескопроявлениями.

По итогу по месторождению Карачаганак результаты анализа, следующие:

- эффективность методов 65%;
- затраты на реагенты 30%.

Третьим месторождением является Кашаган. Морское месторождение с глубоководными скважинами. Тут речь пойдет о таких методах как: расширяемые экраны и многофункциональные клапаны.

Расширяемые экраны представляют собой инновационные устройства, которые расширяются после установки в скважине, плотно прилегая к стенкам ствола [1]. Это позволяет эффективно предотвращать попадание песка в добываемый флюид, обеспечивая стабильность добычи.

Для того чтобы подготовить данный процесс в первую очередь нужно очистить и подготовить ствола скважины. Экран устанавливается в суженном виде, затем расширяется до полного прилегания к стенкам скважины. После расширения экран фиксируется и начинает выполнять фильтрационную функцию.

Преимущества данного метода:

- эффективность;
- долговечность.

Плотное прилегание экрана предотвращает миграцию песка. Расширяемые экраны изготовлены из высокопрочных материалов, что увеличивает срок их службы.

Недостатки данного метода:

- сложность установки;
- затраты.

Требуется специализированное оборудование для установки и расширения экранов. Высокие начальные инвестиции на установку и оборудование.

Многофункциональные клапаны предназначены для автоматического регулирования потока флюида и предотвращения выноса песка. Эти клапаны могут изменять свои настройки в зависимости от условий эксплуатации, обеспечивая оптимальную работу скважины.

Сначала необходимо сделать выбор и настроить клапана в зависимости от условий месторождения. Установка клапанов на различных уровнях

скважины для эффективного контроля потока. Регулирование настроек клапанов в процессе эксплуатации для адаптации к изменяющимся условиям. Также, как и у других методов у него есть свои преимущества и недостатки. Стоит отметить, что мы будем применять многофункциональный клапан как основным инструментом для борьбы с выносом песка.

Преимущества многофункционального клапана:

- автоматизация;
- гибкость применения.

Клапаны могут автоматически регулировать поток, что снижает необходимость постоянного контроля. Подходят для различных условий эксплуатации, включая глубоководные скважины.

Недостатки:

- техническая сложность;
- стоимость.

Требуют сложных технических решений и специализированного обслуживания. Высокая стоимость оборудования и обслуживания.

Использование расширяемых экранов и многофункциональных клапанов на месторождении Кашаган представляет собой эффективные методы борьбы с пескопроявлениями. Эти технологии обеспечивают высокую эффективность и надежность в сложных условиях глубоководных скважин. Важно учитывать специфические особенности месторождения и адаптировать методы для максимальной эффективности и экономичности.

В результате анализа месторождения Кашаган получаем следующие значения:

- эффективность методов 80%;
- затраты на обслуживание 25%.

В результате всего анализа из трех месторождений самым экономически целесообразным было бы использование скважинных устройств предотвращающих образованию песчаных пробок и кольматацию фильтров на месторождении Кашаган. Применение расширяемых экранов и многофункциональных клапанов обеспечивает высокую эффективность и надежность в сложных условиях эксплуатации. В таблице 1 наглядно можно наблюдать результаты анализа трех месторождений.

Таблица 1 – Эффективность и затраты при борьбе с пескопроявлениями

Месторождение	Эффективность, %	Затраты на обслуживание / реагенты
Тенгиз	75%	20%
Карачаганак	65%	30%
Кашаган	80%	25%

Эти методы минимизируют вынос песка и требуют меньше частого вмешательства по сравнению с химическими стабилизаторами и

механическими фильтрами. Менее оптимальным является Карачаганак. Химические стабилизаторы и механические фильтры требуют частого обновления и обслуживания, что увеличивает эксплуатационные расходы и снижает эффективность в долгосрочной перспективе.

Каждое месторождение требует индивидуального подхода, основанного на его специфических условиях. Однако на основе анализа методов борьбы с пескопроявлениями наиболее перспективным выглядит использование технологий, применяемых на месторождении Кашаган.

Помимо данного анализа месторождений Казахстана можно также добавить и результаты исследования согласно данным по продуктивности скважин на месторождениях Узень, Каражанбас, Северные Бузачи и других, до 65% механических примесей имеют пластовое происхождение в то время, как только 8–12% примесей имеют поверхностное происхождение. На национальном уровне актуальность проблемы пескопроявления подтверждается отчетами крупнейших нефтедобывающих компаний Казахстана. В частности, анализ отказов штанговых винтовых насосов (ШВН) показывает, что пескопроявления являются значительной причиной отказов оборудования.

В таблице 2 представлены усредненные данные по статистике отказов установок ШВН из-за пескопроявлений для трех крупных месторождений Казахстана за период 2009–2013 годов. Как видно, эта проблема особенно характерна для таких крупных месторождений, как Кумколь, Северные Бузачи и Каражанбас [2].

Таблица 2 – Статистика отказов ШВН по причине выноса песка [3,4]

Месторождение	Оператор	Кол-во скважин, оборудованных ШВН, шт	Доля отказов ШВН из-за песка, %
Каражанбас	АО «Каражанбасмунай»	1600	26
Северные Бузачи	Филиал компании «Бузачи Оперейтинг Лтд»	900	51
Кумколь	АО «ПетроКазахстан»	180	до 40

За этот период было обнаружено, что основной проблемой отказов на месторождениях было именно пескопроявление.

Если учитывать, что к отказам относятся пересыпание интервала перфорации и отказы штанговых винтовых насосов (ШВН) из-за высокого содержания механических примесей, особенно песка, можно выделить три основные причины отказов глубинно-насосного оборудования (ГНО), как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Причины отказов УШВН, которые связаны с пескопроявлением, на месторождении Северные Бузачи за период 2009-2013 гг.

Согласно исследованиям, проведенным на месторождении Северные Бузачи, основной причиной отказов оборудования является пескопроявление, которое составляет 51% всех случаев. Это приводит к пересыпанию интервалов перфорации и остановке скважин.

Таким образом, можно утверждать, что проблема пескопроявления является одной из главных причин отказов ГНО.

## 1.2 Причины и последствия возникновения пескопроявления

Пескопроявление является серьезной проблемой при добыче нефти и газа, оказывая значительное влияние на производственный процесс и оборудование. Рассмотрим основные причины и последствия этого явления.

В первую очередь это конечно же геологическая особенность пластов. Основной и, наверное, главной причиной возникновения пескопроявления это слабоцементированный породы. Коллекторы, представленные рыхлыми и слабоцементированными песчаными слоями, легко подвержены разрушению под воздействием флюидов, что приводит к выносу песка в скважину. Также стоит отметить и высокую пористость. Высокопористые пласты имеют большее количество пустот, через которые могут перемещаться песчаные частицы.

Помимо геологических особенностей есть такие причины как: динамические условия эксплуатации, технологические факторы и физико-



химические свойства флюидов. Если рассматривать динамические условия, то не стоит забывать про изменения давления и скорость фильтрации. Внезапные изменения давления в пласте могут дестабилизировать песчаные пласты, вызывая их разрушение и вынос песка. Высокая скорость потока флюида через породы может увеличить эрозионное воздействие на песчаные пласты.

Специалисты из научного центра ОАО «НК «Роснефть» выявили, что явления пескопроявления имеют свои предпосылки и причины появления [5]. На рисунке 2 и 3 показаны отдельно причины и последствия пескопроявления.



Рисунок 2 – Причины возникновения пескопроявления

При технологическом факторе возникновения выноса песка существуют такие понятия как: интенсивная добыча и недостаточная цементация.

Интенсивная эксплуатация скважин, при которой производится значительное количество нефти или газа за короткий период, увеличивает вынос песка. Высокие дебиты создают мощные потоки флюидов, которые могут вымывать песчаные частицы из пласта. Это требует использования специальных технологий для управления и контроля пескопроявлений.

Недостаточная цементация ствола скважины и слабая крепь призабойной зоны приводят к повышенной вероятности миграции песка. Если цементация не обеспечивает достаточной прочности и герметичности, песчаные частицы могут легко проникать в скважину, вызывая пескопроявления и связанные с ними проблемы.

Следует отметить, что физико-химический состав флюидов являются наряду с геологической особенностью важным аспектом появлению выноса песка при добыче нефти и газа. Тут отмечаем высокую вязкость и состав самого флюида.

Высокая вязкость пластового флюида затрудняет его движение через породы, но при этом может способствовать выносу более крупных песчаных частиц. Вязкие флюиды способны удерживать частицы песка в взвешенном состоянии дольше, что увеличивает вероятность их перемещения в скважину.

Содержание агрессивных компонентов в пластовом флюиде, таких как кислоты или щелочи, может разрушать цементирующие вещества, связывающие песчаные частицы. Это приводит к дестабилизации пласта и увеличению выноса песка. Кроме того, агрессивные флюиды могут способствовать коррозии оборудования, что дополнительно усугубляет проблему.

После причин соответственно необходимо рассмотреть и последствие пескопроявления при добыче нефти и газа. Основные последствия выноса песка:

- повреждение оборудования;
- снижение производительности скважин;
- увеличение затрат на обслуживание;
- экономические потери;
- экологические риски.



Рисунок 3 – Последствие и проблемы выноса песка

Рассмотрим каждую причину отдельно. Начнем с повреждение оборудования. Данная причина может привести к износу насосов и трубопроводов, а также к засорению самого фильтра и экранов. Песок в составе добываемых флюидов действует как абразив, вызывая механический износ насосного и трубопроводного оборудования. Постоянный контакт с песчаными частицами приводит к быстрому износу рабочих поверхностей насосов, клапанов, труб и других элементов системы. Это сокращает срок службы оборудования и требует частой замены или ремонта, что увеличивает эксплуатационные расходы.

Песчаные частицы могут накапливаться на фильтрах и экранах, используемых для защиты оборудования, что снижает их эффективность и требует регулярной очистки или замены. Засорение фильтров приводит к повышению гидравлического сопротивления и снижению производительности системы, а также может вызвать аварийные ситуации.

Снижение производительности скважин является второй причиной выноса песка при добыче нефти и газа. Оно может привести к блокировке потока жидкости и неравномерной добыче, что существенно влияет на конечный продукт.

Песчаные пробки, образующиеся в стволе скважины, блокируют поток флюидов, что снижает дебит скважины и может привести к полной остановке добычи. Это особенно критично для скважин с высокой производительностью, где даже небольшие пробки могут существенно повлиять на объем добываемой нефти или газа.

Пескопроявления могут вызвать неравномерное поступление флюидов из пласта, что снижает эффективность работы скважины и затрудняет управление процессом добычи. Неравномерное поступление также может привести к неправильным расчетам и прогнозам, что усложняет планирование и управление эксплуатацией месторождения.

Увеличение затрат на обслуживание и экономические потери являются немаловажными аспектами, так как такое явление как вынос песка всегда бьет по карману нефтяных компаний. Из-за этих последствий могут возникнуть частые ремонты, необходимость в дополнительном оборудовании, снижение качества добываемого продукта и простой скважины. Эти все последствия конечно же негативно влияют на добычу нефти и газа.

Регулярное образование песчаных пробок и засорение оборудования требуют частых ремонтных работ, что увеличивает эксплуатационные затраты. Восстановительные работы часто требуют остановки скважин, что приводит к дополнительным финансовым потерям из-за недополученной прибыли.

Для борьбы с пескопроявлениями необходимо специализированное оборудование, такое как пескоотделители, фильтры и защитные экраны. Приобретение, установка и обслуживание этого оборудования увеличивают капитальные и эксплуатационные расходы.

Наличие песка в добываемой нефти или газе ухудшает их качество, что требует дополнительных затрат на очистку и переработку. Продукты с высоким содержанием механических примесей могут не соответствовать стандартам качества, что снижает их рыночную стоимость.

Частые остановки скважин для проведения ремонтных и очистных работ приводят к значительным экономическим потерям. Простои снижают общий объем добычи, что отражается на финансовых показателях компании и может снизить её конкурентоспособность на рынке.

Стоит не забывать про такой фактор как экология, так как существует и экологический риск от выноса песка. Это может привести к загрязнению окружающей среды и аварийным ситуациям.

Выбросы песка и загрязняющих веществ могут привести к загрязнению почвы и водных ресурсов. Песчаные частицы, выброшенные на поверхность вместе с флюидами, могут распространяться на большие расстояния и негативно влиять на экосистему.

Пескопроявления могут привести к аварийным ситуациям, таким как разрывы трубопроводов и разливы нефти, что создает серьезные экологические риски. Такие инциденты требуют срочных мер по ликвидации и восстановлению, что увеличивает затраты и может привести к штрафным санкциям.

Понимание причин и последствий пескопроявлений позволяет разработать эффективные стратегии для их предотвращения и управления. Использование современных технологий и методов, а также проведение регулярного мониторинга и технического обслуживания, являются ключевыми факторами для минимизации негативных эффектов пескопроявлений. Комплексный подход к борьбе с этим явлением позволит повысить эффективность и безопасность добычи нефти и газа, снизить эксплуатационные затраты и минимизировать экологические риски.



## **2 Основные методы борьбы выноса песка**

### **2.1 Технологические и технические методы борьбы с пескопроявлением**

Сегодня существует множество методов борьбы с выносом песка, что позволяет применять их в различных геологических условиях и приносит значительные преимущества в нефтегазовой отрасли.

Вынос песка остается одной из главных проблем при добыче нефти и газа, так как влечет за собой большие экономические и экологические затраты. В мировой практике методы борьбы с выносом песка делятся на две основные категории:

- предотвращение выноса песка из пласта (технологические методы);
- эксплуатация скважин с выносом песка из пласта (технические методы).

Технологический метод борьбы с выносом песка включает изучение механических свойств и характеристик пласта на начальном этапе исследования. Этот подход предусматривает детальный анализ механических свойств породы, а также оценку изменений в термодинамическом равновесии породы, возникающих при эксплуатации скважины. Эти изменения могут привести к нестабильности и выносу песка. Понимание этих процессов позволяет разработать более эффективные стратегии для предотвращения пескопроявлений и улучшения общей эффективности добычи нефти и газа.

Этот подход направлен на предотвращение образования песчаных пробоев в пласте. Для этого могут использоваться различные химические реагенты, ингибиторы, полимеры и другие вещества, которые помогают стабилизировать песчаные образования и предотвращать их перемещение при добыче нефти. Эти методы могут быть использованы на стадии разработки месторождения или при реабилитации и ремонте скважин.

Технологические методы направлены на предотвращение выноса песка на стадии разработки и эксплуатации месторождения. Они сосредоточены на изменении условий внутри пласта и скважины для минимизации возможности появления песка. Эти методы включают:

- укрепление пласта с помощью химических реагентов, таких как смолы и полимеры, для стабилизации песчаных образований;
- гравийная набивка, где гравий закачивается в затрубное пространство для создания фильтра;
- контроль давления и скорости потока для предотвращения вымывания песка;
- фильтрация с использованием различных фильтрующих материалов, таких как песочные фильтры или перфорированные трубы;
- гидроразрыв пласта и другие методы изменения структуры пласта.

Также помимо этих методов в технологическую часть борьбы с выносом песка можно добавить три основополагающих методов это механические, физико-механические и химические методы.

К механическим методам предотвращения выноса песка относятся установка различных типов фильтров, таких как:

- скважинные фильтры: устанавливаются непосредственно в скважине для задержания песчаных частиц;
- фильтры насосных установок: применяются в системах насосов для защиты оборудования от абразивного износа;
- сепараторы механических примесей: используются для отделения песка и других твердых частиц из добываемого флюида.

Физико-механические методы основаны на сочетании физических и химических воздействий на процессы, происходящие в скважине. Примеры таких методов включают:

- формирование проппантного фильтра в призабойной зоне пласта (ПЗП): использование проппантов для создания прочного фильтра, предотвращающего вынос песка;
- создание проницаемого тампонажного камня: применение специальных составов для формирования устойчивого и проницаемого камня в ПЗП;
- коксование нефти в ПЗП с укреплением коллектора: процесс, при котором нефть в пласте подвергается коксованию, укрепляя породы и снижая риск выноса песка.

Химические методы направлены на искусственное укрепление ПЗП с использованием различных материалов, таких как смолы и цементы, с необходимыми наполнителями. Один из наиболее перспективных методов включает коксование нефти при разработке нефтегазовых месторождений. Этот метод заключается в формировании и укреплении пород с помощью коксования, при котором кокс действует как связующий элемент. Процесс осуществляется путем длительного окисления в ПЗП горячим воздухом. Коксование эффективно применяется на начальных этапах эксплуатации месторождений, где добывается нефть с высокой вязкостью. На рисунке 4 показаны способы борьбы с пескопроявлениями [6].



Рисунок 4 – Способы борьбы с пескопроявлениями

При изучении призабойной зоны пласта можно выделить значимые области, которые зависят от поведения коллектора в процессе эксплуатации скважины. На рисунке 5 можно наглядно посмотреть ПЗП, зависящие от поведения коллектора при эксплуатации скважины.

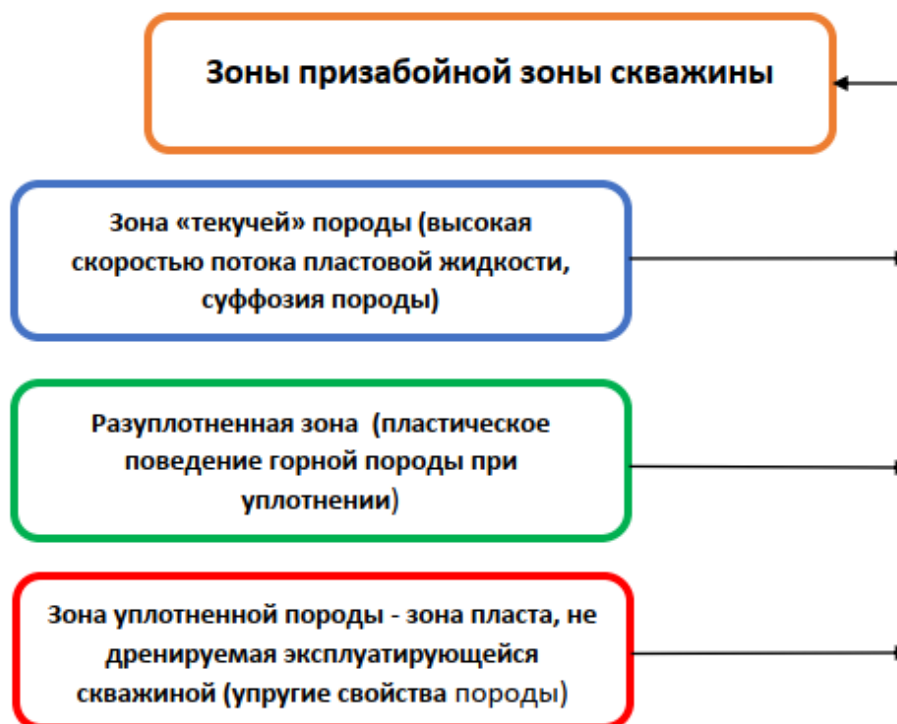


Рисунок 5 – Зоны ПЗП, зависящие от поведения коллектора при эксплуатации скважины

Среди причин и факторов пескопроявлений можно выделить:

- слабая цементация коллектора;
- вязкость пластового флюида;
- скорость перемещения частиц флюида в пласте;
- депрессия;
- напряжения в призабойной зоне пласта;
- загрязнение призабойной зоны пласта.

Если же говорить про технические методы борьбы с пескопроявлением, то технический метод борьбы с выносом песка признан одним из самых экономически эффективных и универсальных подходов. Основной задачей этого метода является разработка технологий, значительно уменьшающих и предотвращающих проникновение песка в добываемую скважину. Это достигается с помощью различных устройств, главным элементом которых являются фильтры.

Фильтр – это специальное устройство, предназначенное для очистки скважины от различных механических примесей, включая песок и другие инородные вещества, в процессе ее эксплуатации. Фильтр позволяет рабочей

жидкости проходить через него, минимизируя гидравлическое сопротивление и предотвращая проникновение нежелательных твердых частиц.

Для каждого устройства существуют свои специфические требования, и фильтры не являются исключением. Основные требования к фильтрам включают:

- достаточную механическую прочность и устойчивость для борьбы с коррозией и механическими примесями;
- обеспечение надежной гидродинамической связи с пластом и устойчивость к суффозии пород в призабойной зоне;
- возможность проведения механической и химической очистки без извлечения фильтра из скважины.

Выбор фильтра играет ключевую роль при добыче нефти и газа, так как это один из важных этапов при ремонте скважины. При выборе фильтра рассчитываются щелевые или проходные отверстия, чтобы улучшить проходимость и минимизировать попадание песка в зависимости от его размеров.

В настоящее время на практике используются следующие типы фильтров:

- намывные гравийные фильтры;
- щелевые фильтры;
- сетчатые фильтры;
- комбинированные фильтры.

Каждый из этих типов фильтров имеет свои преимущества и недостатки. Для достижения высокой результативности и экономичности применяются комбинированные фильтры, которые объединяют в себе несколько видов этих устройств.

### **1.3 Применение фильтров различной конструкции**

Фильтры играют ключевую роль в предотвращении выноса песка при добыче нефти и газа. Их конструкция и эффективность определяют надежность защиты оборудования и продуктивность скважин. Рассмотрим основные типы фильтров, используемых для борьбы с пескопроявлениями, и их особенности.

*Намывные гравийные фильтры.* Намывные гравийные фильтры создаются путем закачивания гравийного материала в ПЗП. Гравий служит барьером, который задерживает песчаные частицы, позволяя при этом флюиду свободно проходить.

Эффективность гравийной набивки в значительной мере зависит от формы и состава гравия. Для обеспечения хорошей пористости необходимо сначала добиться одинакового размера зерен, предпочтительно сферического кварцевого песка. Важно убедиться, что песок тщательно отсортирован и имеет крупнозернистую структуру.

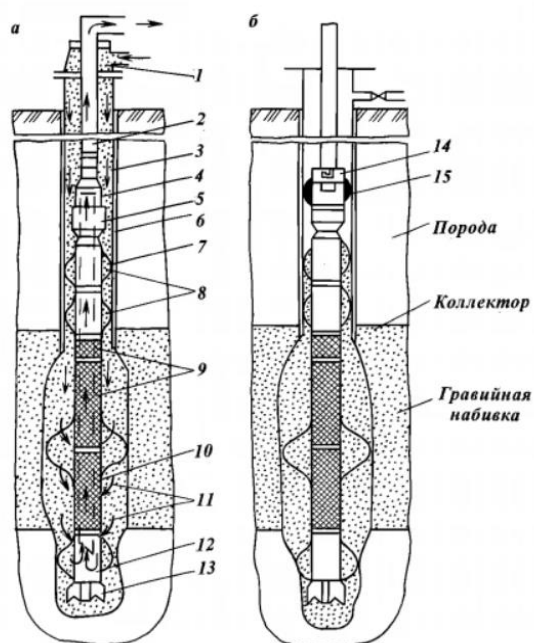
Преимущества данного фильтра:

- высокая эффективность фильтрации песка;
- снижение риска повреждения оборудования;
- длительный срок службы при правильной установке.

Недостатки данного фильтра:

- трудоемкость и сложность процесса установки;
- высокие первоначальные затраты на материалы и установку.

Схемы оборудования скважины при намыве гравийного фильтра представлены на рисунке 6. ВНИПИтермнефть разработала технологию предотвращения пескопроявлений в добывающих скважинах с использованием противопесочных фильтров с гравийной набивкой, адаптированную к условиям месторождения Каражанбас [7].



1 - промысловая устевая головка; 2 - НКТ или бурильные трубы; 3 - обсадная колонна диаметром 168 мм; 4- переводник с левой резьбой; 5- ниппель-переводник пакера; 6 - переводник; 7 - пружинный центратор; 8, 12 - НКТ диаметром 89 мм; 9 - секция фильтра; 10 - НКТ с диаметром 48 мм; 11 - зона гидродинамического уплотнения гравия; 13 - башмак-заглушка; 14 - захватное приспособление; 15 - пакер.

а - без пакера; б - с пакером

Рисунок 6 – Схемы оборудования скважины при намыве гравийного фильтра

Принцип их работы заключается в использовании гравия в качестве физического барьера, который задерживает твердые частицы, такие как песок, и не позволяет им попадать в добываемый флюид.

Процесс начинается с подготовки скважины, которая включает бурение до заданной глубины и установку обсадной колонны. Нижняя часть обсадной колонны перфорируется, создавая пути для входа пластового флюида в скважину. Внутри обсадной колонны устанавливается противопесочный

фильтр, который состоит из перфорированных или щелевых труб. Эти трубы могут быть изготовлены из материалов, устойчивых к коррозии и механическим повреждениям.

После установки фильтра вокруг него через специальные отверстия или щели начинает нагнетаться гравийный материал. Гравий намывается слоями, равномерно распределяясь вокруг фильтра. Важно, чтобы размер зерен гравия был оптимальным: достаточно крупным, чтобы задерживать песок, но достаточно мелким, чтобы не препятствовать прохождению флюида.

Гравийный слой улавливает механические примеси, такие как песок и мелкие частицы, предотвращая их попадание в скважину. Очищенный флюид затем продолжает движение вверх по скважине, где его добывают на поверхность.

Для обеспечения эффективной работы гравийного фильтра необходимо регулярное обслуживание и мониторинг состояния скважины. Это включает периодические проверки фильтра, анализ качества добываемого флюида и проведение очистительных работ при необходимости.

Таким образом, намывные гравийные фильтры работают, создавая барьер из гравия вокруг перфорированной трубы, который задерживает песок и другие твердые частицы, позволяя очищенному флюиду свободно подниматься по скважине.

Эффективность гравийной набивки в основном зависит от формы и состава гравия. Для достижения оптимальной пористости необходимо использовать однородные зерна сферического кварцевого песка. Важно, чтобы песок был тщательно отсортирован и имел крупнозернистую структуру.

*Щелевые фильтры.* Щелевые фильтры состоят из труб с продольными или спиральными щелями. Размер щелей подбирается таким образом, чтобы пропускать только флюид, задерживая при этом песок и другие твердые частицы. На рисунке 7 изображен щелевой фильтр.



Рисунок 7 – Щелевой фильтр

Щелевые скважинные фильтры являются одними из наиболее часто используемых для борьбы с пескопроявлениями. Эти фильтры обеспечивают надежную работу установки электроцентробежного насоса (УЭЦН) в условиях, когда возникают проблемы с выносом песка и проппанта в

скважинах. Кроме того, они способствуют укреплению стенок в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах.

Основная функция щелевых фильтров заключается в предотвращении попадания нежелательных механических примесей и выноса песка во время эксплуатации скважин. Преимущества этого фильтра включают длительный срок службы, высокую степень фильтрации и обеспечение стабильной работы ГНО.

Щелевой скважинный фильтр (ФСЩ) состоит из жесткого щелевого экрана, предохранительного клапана и центратора. Установка ФСЩ осуществляется на базе погружного электрического двигателя (ПЭД) с узлом уплотнения. После этого фильтр монтируется непосредственно на кожух ПЭД или на пакер.

Преимущества ФСЩ:

- простота конструкции и установки;
- высокая пропускная способность при низком гидравлическом сопротивлении;
- надежность и долговечность при правильной эксплуатации.

Недостатки:

- ограниченная способность к фильтрации мелких частиц;
- необходимость регулярного обслуживания и очистки.

Принцип работы щелевых фильтров начинается с подготовки скважины, включающей бурение до заданной глубины и установку обсадной колонны. Внутри обсадной колонны размещают щелевой фильтр, который состоит из перфорированных труб с узкими продольными щелями. Эти щели имеют определенный размер, который позволяет задерживать песок и другие механические примеси, но пропускать нефть и газ.

Когда пластовый флюид, содержащий нефть, газ и песок, поступает в скважину, он проходит через щелевой фильтр. Щели в фильтре задерживают песок и другие твердые частицы, предотвращая их попадание в добываемый флюид. Очищенный флюид затем продолжает движение вверх по скважине, где его добывают на поверхность. Щелевые фильтры эффективны для задержания более крупных частиц благодаря своему дизайну, который обеспечивает достаточную прочность и устойчивость к засорам.

Для поддержания эффективности щелевого фильтра необходимо регулярное обслуживание и мониторинг его состояния. Это включает периодические проверки фильтра на наличие засоров или повреждений, анализ качества добываемого флюида и проведение очистительных работ при необходимости. В случае значительных засоров или повреждений фильтр может быть заменен или очищен.

Щелевые фильтры обеспечивают надежную защиту оборудования от пескопроявлений, снижая риск повреждения насосов, трубопроводов и других компонентов системы добычи. Это способствует снижению операционных затрат, уменьшению времени простоя скважин и повышению общей производительности.



Таким образом, щелевые фильтры работают, используя узкие продольные щели для задержания твердых частиц из пластового флюида. Они создают эффективный барьер для песка и других примесей, обеспечивая поступление очищенного флюида в скважину и улучшая надежность и эффективность добывающего оборудования.

*Сетчатые фильтры.* Сетчатые фильтры представляют собой цилиндры, покрытые металлической или пластиковой сеткой. Размер ячеек сетки определяет размер частиц, которые могут быть задержаны. На рисунке 8 изображен сетчатый фильтр скважинный.



Рисунок 8 – Фильтр сетчатый скважинный

Принцип работы этого типа фильтра заключается в следующем. Во время эксплуатации скважины все механические примеси, присутствующие в рабочей жидкости, задерживаются с помощью металлической сетки. В колбе фильтра имеются два отверстия: входное и выходное, и внутри этой колбы размещена сетка. Входные и выходные отверстия соединены трубопроводом. Сетчатый фильтр, имея различные размеры ячеек, отфильтровывает механические примеси в соответствии с их размером. Таким образом, при высоком уровне загрязнения жидкости используется сетка с более крупными ячейками. Размер ячейки выбирается в зависимости от степени загрязнения рабочей жидкости.

Преимущества сетчатого фильтра:

- легкость и простота установки;
- высокая точность фильтрации;
- возможность быстрого и простого технического обслуживания.

Недостатки сетчатого фильтра:

- склонность к засорению при высоких концентрациях песка;
- ограниченный срок службы из-за износа сетки.

Сетчатые фильтры широко применяются в добывающих скважинах нефти и газа для предотвращения пескопроявлений, которые могут привести

к серьезным технологическим и экономическим проблемам. Принцип их работы заключается в использовании мелкоячеистой сетки для фильтрации твердых частиц, таких как песок, из добываемого флюида.

Процесс начинается с подготовки скважины, которая включает бурение до необходимой глубины и установку обсадной колонны. Внутри обсадной колонны размещают сетчатый фильтр, который состоит из перфорированных или щелевых труб, покрытых мелкоячеистой сеткой. Сетка изготовлена из материалов, устойчивых к коррозии и механическим повреждениям, таких как нержавеющая сталь или специальные сплавы.

Мелкоячеистая сетка задерживает песок и другие твердые частицы, предотвращая их попадание в добываемый флюид. Очищенный флюид затем продолжает движение вверх по скважине, где его добывают на поверхность. Сетчатые фильтры эффективны для задержания мелких частиц благодаря малому размеру ячеек сетки, что обеспечивает высокую степень фильтрации.

Эффективность сетчатого фильтра является регулярное обслуживание и мониторинг его состояния. Периодические проверки включают осмотр сетки на наличие повреждений или засоров, анализ качества добываемого флюида и проведение очистительных работ при необходимости. В случае обнаружения значительных засоров или повреждений, фильтр может быть заменен или очищен.

Сетчатые фильтры обеспечивают надежную защиту оборудования от пескопроявлений, что снижает риск повреждения насосов, трубопроводов и других компонентов системы добычи. Это, в свою очередь, способствует снижению операционных затрат, уменьшению времени простоя скважин и повышению общей производительности.

Сетчатые фильтры работают, используя мелкоячеистую сетку для задержания твердых частиц из пластового флюида. Они создают эффективный барьер для песка и других примесей, обеспечивая поступление очищенного флюида в скважину и улучшая надежность и эффективность добывающего оборудования.

*Комбинированные фильтры.* Комбинированные фильтры объединяют в себе несколько типов фильтрующих элементов, таких как гравийные, щелевые и сетчатые компоненты. Это позволяет достичь высокой эффективности фильтрации и надежности работы.

Преимущества комбинированного фильтра:

- высокая эффективность и универсальность;
- способность адаптироваться к различным условиям эксплуатации;
- продление срока службы оборудования.

Недостатки:

- сложность конструкции и установки;
- высокие затраты на изготовление и обслуживание;
- высокие эксплуатационные затраты в случае ухудшения фильтрационных свойств.

Комбинированные фильтры являются эффективным и универсальным решением для борьбы с пескопроявлениями при добыче нефти и газа. Их многоуровневая система фильтрации позволяет эффективно задерживать механические примеси различных размеров, обеспечивая надежную защиту оборудования и повышая общую продуктивность скважин. Несмотря на некоторые сложности и дополнительные затраты, связанные с их использованием, преимущества комбинированных фильтров делают их востребованными в условиях сложных и высокозагрязненных пластов.

Фильтры, используемые для борьбы с пескопроявлениями в скважинах при добыче нефти и газа, играют важную роль в поддержании эффективной работы оборудования. Однако ухудшение их фильтрационных свойств может привести к значительным эксплуатационным затратам. Одной из главных проблем является кольматация, когда поры фильтра заполняются мелкими частицами, что приводит к снижению его пропускной способности. В результате уменьшается объем добываемой нефти и газа, что негативно сказывается на производительности.

Кроме того, повышенное сопротивление потоку жидкости из-за кольматации вызывает дополнительную нагрузку на насосное оборудование. Это ускоряет его износ и увеличивает частоту поломок, требующих дорогостоящего ремонта или замены. Сложности в работе оборудования, вызванные износом, также могут привести к необходимости остановки скважин для проведения технического обслуживания, что приводит к потерям в добыче и дополнительным финансовым затратам.

Проблемы с фильтрами также увеличивают затраты на обслуживание, так как они требуют регулярной очистки или замены, чтобы поддерживать их эффективность. Эти меры, хотя и необходимы, требуют времени и ресурсов, что увеличивает общие эксплуатационные расходы.

Когда фильтры подвержены кольматации или высоким уровням сопротивления, это приводит к значительным эксплуатационным затратам по нескольким причинам:

- снижение производительности;
- износ оборудования;
- увеличение затрат на обслуживание;
- необходимость остановки скважин;

Кольматация приводит к уменьшению пропускной способности фильтров, что снижает объем добычи нефти и газа. Повышенное сопротивление потоку жидкости вызывает дополнительную нагрузку на насосное оборудование, что приводит к ускоренному износу и частым поломкам. Фильтры, подверженные кольматации, требуют регулярной очистки, замены или ремонта, что увеличивает эксплуатационные затраты. Для замены или очистки фильтров необходимо останавливать эксплуатацию скважин, что приводит к потерям в добыче и дополнительным финансовым затратам.

Фильтры являются важным элементом системы добычи нефти и газа, обеспечивая защиту оборудования и стабильность процесса. Однако их эффективность зависит от способности противостоять коагуляции и высокому сопротивлению. Правильный выбор и своевременное обслуживание фильтров позволяют минимизировать эксплуатационные затраты и поддерживать высокую производительность скважин.

Таким образом, ухудшение фильтрационных свойств фильтров может существенно повысить эксплуатационные затраты за счет снижения производительности, ускоренного износа оборудования, увеличения частоты и затрат на обслуживание, а также потерь в добыче из-за вынужденных остановок скважин. Поддержание фильтров в хорошем состоянии и своевременное обслуживание являются ключевыми факторами для минимизации этих затрат и обеспечения стабильной работы добывающего оборудования.

Выбор подходящего типа фильтра зависит от конкретных условий эксплуатации скважины, таких как характеристики пласта, концентрация песка и требования к качеству добываемого флюида. Применение фильтров различных конструкций позволяет эффективно бороться с пескопроявлениями, обеспечивая стабильную и бесперебойную работу нефтегазовых скважин. Комбинированные фильтры, объединяющие преимущества нескольких типов фильтрующих элементов, представляют собой наиболее перспективное решение для достижения высокой эффективности и экономичности в добыче нефти и газа.

### **3 Расчетная часть**

#### **3.1 Расчет режима движения пластовой жидкости, содержащей механические примеси**

На протяжении длительного времени эксплуатации скважин было установлено, что одним из наиболее надежных и эффективных методов борьбы с пескопроявлениями является использование противопесочного фильтра. Однако, помимо фильтров, существуют и другие методы, такие как сепараторы. Тем не менее, оба эти метода могут привести к образованию песчаных пробок в скважине, что отрицательно сказывается на добыче нефти и газа. Это вызывает необходимость проведения частых ремонтных работ по очистке от песка и промывке оборудования, что с экономической точки зрения не всегда целесообразно. Таким образом, важно стремиться к полному удалению песка из скважины на поверхность, что является менее затратным вариантом по сравнению с остановкой скважины, приводящей к значительным затратам времени и денег.

Следует учитывать, что полное удаление песка из скважины невозможно. Поэтому необходимо применять различные технологические методы, которые позволят эксплуатировать скважину с максимальной эффективностью выноса песка.

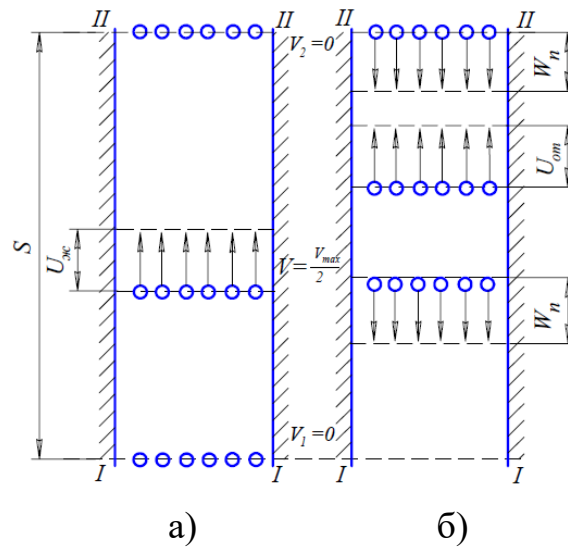
На сегодняшний день при добыче нефти и газа популярность получили винтовые насосные установки (ВНУ) с поверхностным приводом. Во время эксплуатации данной насосной установки поток жидкости формируется таким образом, что становится непрерывным. В расчетах А.М. Привердяна отмечается, что при выборе труб и штанг, создающих необходимую площадь  $F$  для дальнейшего прохождения жидкости, уменьшение площади  $F$  может привести к увеличению гидродинамического сопротивления. Также в его работе указывается анализ движения жидкости с песком только в насосно-компрессорную трубу (НКТ), однако песчаная пробка создается во время осаждения песка в эксплуатационной колонне.

Состояние потока жидкости с включением песка представлено на рисунке 9. На этой схеме показаны условные обозначения, иллюстрирующие группу песчаных зерен, находящихся в одном слое.

Перемещение песчаных частиц в этом процессе происходит дискретно, в зависимости от работы скважинного плунжерного насоса. Во время одного хода плунжера жидкость перемещается от сечения I–I до сечения II–II.

Процесс движения жидкости, перемешанной с песком, в скважине является сложным явлением, включающим взаимодействие различных физических факторов. Для точного описания и расчета движения такой смеси необходимо учитывать механические свойства породы, характеристики жидкости, а также параметры потока и наклон скважины.

Основные факторы данного процесса являются скорость потока, концентрация песка, механические свойства породы и траектория скважины.



*а - перемещение жидкости в НКТ за один полупериод подъема плунжера насоса;  
б - движение песчаных частиц в трубе в течение полного цикла работы насоса.*

Рисунок 9 – Состояние системы "жидкость-песок" в трубе

На рисунке 9 объем жидкости за один ход плунжера  $Q$ , поддерживает частицу песка во взвешенном состоянии, что дает переместить сечение I–I в положение II–II, это если только учесть, что отсутствует осаждение песка. В таком случае скорость перемещение составит:

$$U_{\text{ж}} = \frac{Q}{F(1-\sigma)}, \quad (3.1.1)$$

где  $F$  – доля просвета в сечении трубы;

$\sigma$  – концентрация песка по объему (в процентах).

В случае падения частичек песка, то непосредственно это вызывает вытеснение жидкости вверх в объеме:

$$Q' = wF\sigma, \quad (3.1.2)$$

где  $w$  – скорость осаждения песка.

Расход жидкости, в связи с этим, который направляется вверх при помощи осаждения песка, составляет:

$$U'_{\text{ж}} = \frac{Q''}{F(1-\sigma)}, \quad (3.1.3)$$

Для сохранения равновесия выражение (3.1.2) приравниваем к выражению (3), которое относительно решенное  $Q''$ .

Вследствие этого получим выражение:

$$U_{\text{ж}} = w\sigma(1 - \sigma), \quad (3.1.4)$$

В процессе перемещения песка совместно с жидкостью вверх (рис. 13б) скорость перемещение жидкости  $U_{\text{ж}}$  и песка  $U_{\text{п}}$  будут соответственно:

$$U_{\text{ж}} = \frac{Q}{F(1-\sigma)}, \quad (3.1.5)$$

$$U_{\text{п}} = \frac{q}{F\sigma}, \quad (3.1.6)$$

где  $Q$  и  $q$  – расход жидкости и песка.

Относительная скорость частиц песка составляет:

$$U_{\text{отн}} = U_{\text{ж}} - U_{\text{п}}, \quad (3.1.7)$$

Учитывая все вышеуказанные выражения, за один ход плунжера штангового насоса частицы песка будут перемещены на расстояние:

$$l_{\text{п}} = U_{\text{отн}}t, \quad (3.1.8)$$

где  $t$  – время, за которое выполняется ход плунжера насоса вверх.

Тщательный расчет и моделирование процесса движения жидкости с песком позволяет оптимизировать эксплуатацию скважин, предотвращать образование песчаных пробок и повышать общую производительность добычи нефти и газа. Использование современных математических моделей и компьютерного симулирования играет ключевую роль в достижении этих целей.

### **3.2 Расчет движения песка в стволе наклонной скважины при промывке песчаной пробки**

При эксплуатации нефтяных скважин, особенно наклонных, часто возникает проблема образования песчаных пробок, которые препятствуют нормальному течению жидкости и могут привести к серьезным простоям и затратам на ремонт. Для эффективного управления этими пробками необходимо детальное понимание и расчет движения песка в стволе скважины при промывке.

Ниже делаются попытки применить диффузионную теорию к движению взвешенных частиц при промывке песчаной пробки образовавшейся в наклонной скважине.

В процессе эксплуатации в нефтяных скважинах при недостаточной скорости восходящего потока жидкости, а также сложности траектории



выносимых частиц песка, с течением времени песок накапливается, образуя песчаную пробку. Для предупреждения пробкообразования следует не допускать увеличение объемной концентрации песка в потоке жидкости [17].

Движение взвешенных частиц при ламинарном потоке в наклонной плоской трубе описывается дифференциальными уравнениями

$$\frac{\partial C_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial C_x}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C_x}{\partial y^2}, \quad (3.2.1)$$

где  $C_x = C_x(x, y, t)$  – текущая концентрация песка в жидкости;

$D$  – коэффициент диффузии;

$V_x$  – текущая скорость потока;

$W$  – средняя скорость потока;

$2h$  – расстояние между пластинками.

Средняя скорость потока в наклонной плоской трубе определяется по следующей формуле:

$$W = \frac{\Delta P - \gamma \ell \sin \alpha}{3\mu \ell} h^2, \quad (3.2.2)$$

где  $\Delta P$  – перепад давления на длине  $\ell$ ;

$\mu$  – динамическая вязкость жидкости;

$\ell$  – длина пластинки;

$\alpha$  – угол наклона.

Дифференциальное уравнение (3.2.1) с учетом (3.2.2) будет

$$\frac{\partial C_x}{\partial t} + \frac{3W}{2} \left( 1 - \frac{y^2}{h^2} \right) \frac{\partial C_x}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C_x}{\partial y^2}, \quad (3.2.3)$$

Начальное и граничное условия для рассматриваемой задачи имеют вид

$$C(x, y, 0) = 0 (x, y > 0), \quad (3.2.4)$$

$$C(0, y, t) = C_0 (t > 0), \quad (3.2.5)$$

$$\left. \frac{\partial C_x}{\partial y} \right|_{y=h} = 0, \quad (3.2.6)$$

$$C(x, 0, t) = C_1, \quad (3.2.7)$$

где  $C_1$  – концентрация песка  $y = 0$ ;

$C_0$  – концентрация песка при  $x = 0$ .

Для решения дифференциального уравнения (3.2.3) введем систему отчета, движущегося со средней скоростью  $W$ , то есть  $x_1 = x - wt$ , тогда получим:

$$\left[ \frac{3W}{2} \left( 1 - \frac{y^2}{h^2} \right) - W \right] \frac{\partial C_x}{\partial x_1} = D \frac{\partial^2 C_x}{\partial y^2}, \quad (3.2.8)$$

В первом приближении, принимая  $\frac{\partial C_x}{\partial x_1} = \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x_1} = \text{const}$  в уравнении (3.2.8), то получим

$$\left[ \frac{3W}{2} \left( 1 - \frac{y^2}{h^2} \right) - W \right] \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x_1} = D \frac{\partial^2 C_x}{\partial y^2},$$

или

$$\frac{W}{2} \left( 1 - 3 \frac{y^2}{h^2} \right) \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x_1} = D \frac{\partial^2 C_x}{\partial y^2} \quad (3.2.9)$$

Дважды интегрируя (3.2.9) по  $y$ , находим

$$C_x = \frac{W}{2D} \left( \frac{y^2}{2} - \frac{y^4}{4h^2} \right) \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x_1} + A_y + B, \quad (3.2.10)$$

где  $A$ ,  $B$  – постоянные интегрирования.

Используя условия (3.2.6) и (3.2.7) определяем постоянные интегрирования и подставляя найденные значения в (3.2.10), имеем

$$C_x = C_1 + \frac{W}{4D} \left( y^2 - \frac{y^4}{4h^2} \right) \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x_1} \quad (3.2.11)$$

Заменяя  $C_1$  через среднюю концентрацию в сечении:

$$\tilde{C} = \frac{1}{2h} \int_{-h}^{+h} C_x dy, \quad (3.2.12)$$

Подставляя  $C_x$  из (3.2.11) в (3.2.12) и раскрывая интегралы, получим

$$C_1 = \tilde{C} - \frac{7wh^2}{120D} * \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x_1}$$

Выражение (3.2.11) с учетом последнего принимает вид

$$C_x = \tilde{C} + \frac{Wh^2}{4D} \left( -\frac{7}{30} + \frac{y^2}{h^2} - \frac{y^4}{2h^4} \right) \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x_1}$$

Расход вещества по всему сечению плоской трубы равен

$$q = \int_{-h}^{+h} C_x (V_x - w) dy = -\frac{4w^2 h^3}{105D} * \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x_1}$$

При  $\frac{\partial C_x}{\partial x} \neq const.$

$$\frac{\partial \tilde{C}}{\partial t} + w \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x} = D^* \frac{\partial^2}{\partial x^2}, \quad (3.2.14)$$

где  $D^* = \frac{2w^2 h^2}{105D}$  – эффективный коэффициент диффузии.

Для решения дифференциального уравнения (3.2.14) применим преобразования Лапласа.

Применяя преобразование Лапласа относительно переменной  $t$ , получим обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами относительно изображения:

$$\frac{d^2 u}{dx^2} - a \frac{du}{dx} - b s u = 0 \quad (3.2.15)$$

где  $u = \int_0^\infty \tilde{C} e^{-st} dt$ ;  $a = \frac{w}{D^*}$ ;  $b = \frac{1}{D^*}$ .

Граничное условие по изображению

$$u(0, s) = \frac{C_0}{s} \quad (3.2.16)$$

Решение дифференциального уравнения (3.2.15) будет

$$u = A_1 e^{\frac{a + \sqrt{a^2 + 4bs}}{2} x} + B_1 e^{\frac{a - \sqrt{a^2 + 4bs}}{2} x}$$

где  $A_1$  и  $B_1$  – постоянные интегрирования.

Как видно из последнего выражения при  $x \rightarrow \infty$   $u \rightarrow \infty$   $A_1 = 0$ .  
Отсюда

$$u = B_1 e^{\frac{a - \sqrt{a^2 + 4bs}}{2}x} \quad (3.2.17)$$

Используя условие (3.2.16), то получим

$$u = \frac{C_0}{s} e^{\frac{a - \sqrt{a^2 + 4bs}}{2}x}$$

Для нахождения оригинала воспользуемся таблицей изображений функций, из которой известно, что

$$\begin{aligned} L^{-1} \left[ \frac{1}{s} e^{-\sqrt{bx}\sqrt{s+k}} \right] \\ = \frac{1}{2} \left[ e^{-\sqrt{bx}\sqrt{k}} \operatorname{erfc} \left( \frac{\sqrt{bx}}{2\sqrt{t}} - w \frac{\sqrt{bt}}{2} \right) + e^{\sqrt{bx}\sqrt{k}} \operatorname{erfc} \left( \frac{\sqrt{bx}}{2\sqrt{t}} + w \frac{\sqrt{bt}}{2} \right) \right], \end{aligned}$$

где  $\operatorname{erfc}x = 1 - \operatorname{erf}x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-x^2} dx$

$\operatorname{erf}x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-x^2} dx$  – функция ошибок Гаусса.

$$k = \frac{bw^2}{4}$$

Тогда окончательно получим

$$\frac{\tilde{C}}{C_0} = 1 + e^{bwx} - \operatorname{erf} \frac{\sqrt{b}(x - wt)}{2\sqrt{t}} - e^{bwx} \operatorname{erf} \frac{\sqrt{b}(x + wt)}{2\sqrt{t}} \quad (3.2.18)$$

Как видно из формулы (3.2.18), при  $t \rightarrow 0$  получаем  $\frac{\tilde{C}}{C_0} \rightarrow 0$ , а при  $t \rightarrow \infty$ ,  $\frac{\tilde{C}}{C_0} \rightarrow 1$ .

По формуле (3.2.18) проведены численные расчеты, результаты которых показаны на рис. 10, 11 и 12.

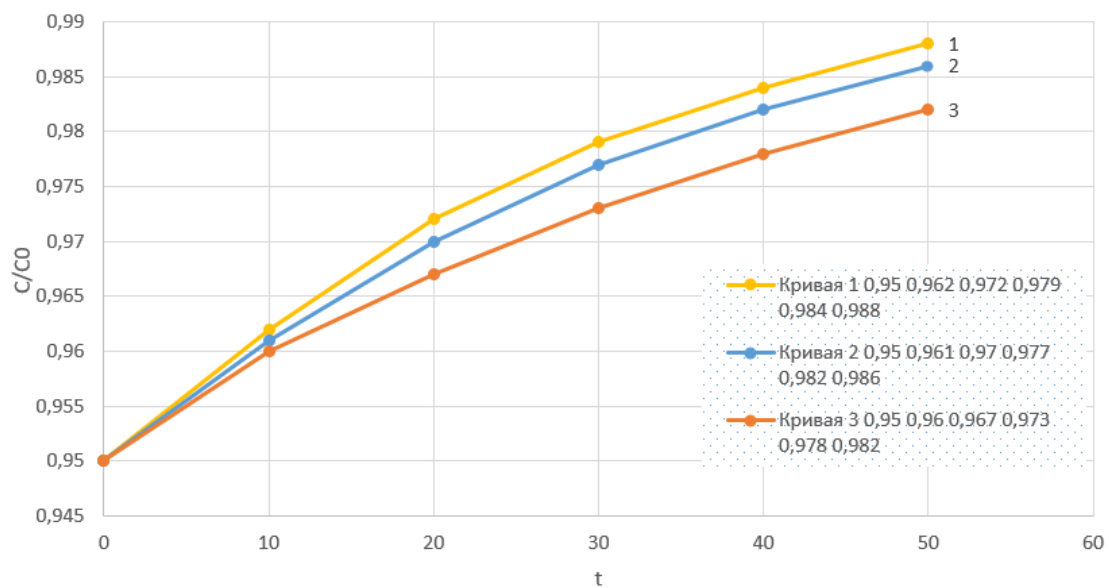


Рисунок 10 – Зависимость концентрации песка  $C/C_0$  от времени  $t$  седиментации с одной точки

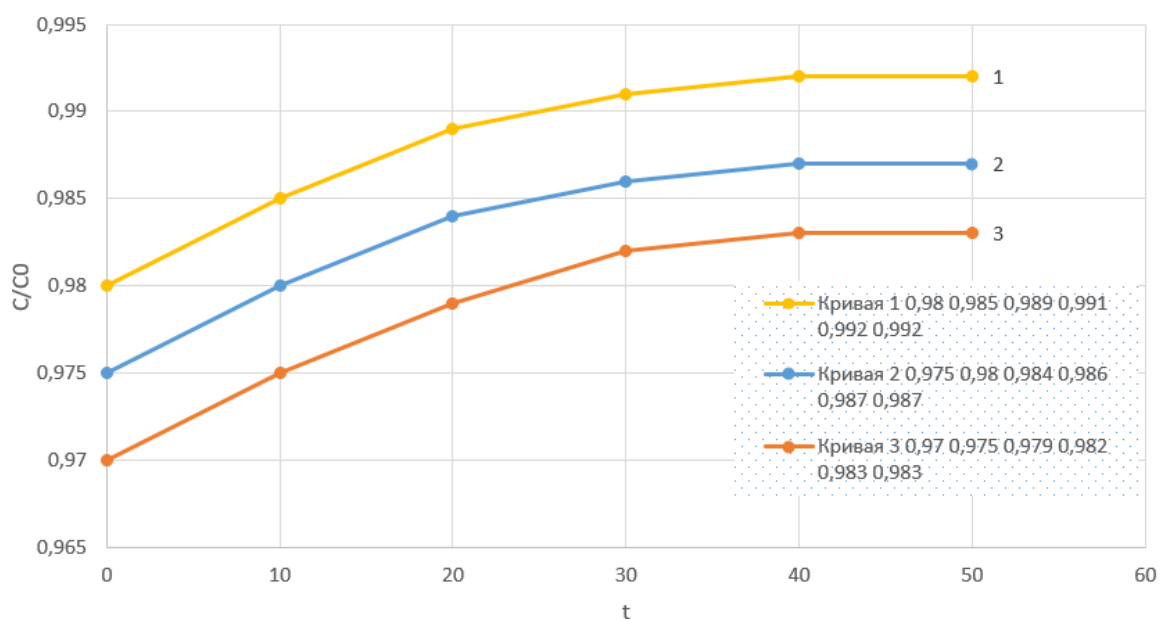


Рисунок 11 – Зависимость концентрации песка  $C/C_0$  от времени  $t$  седиментации с разных точек

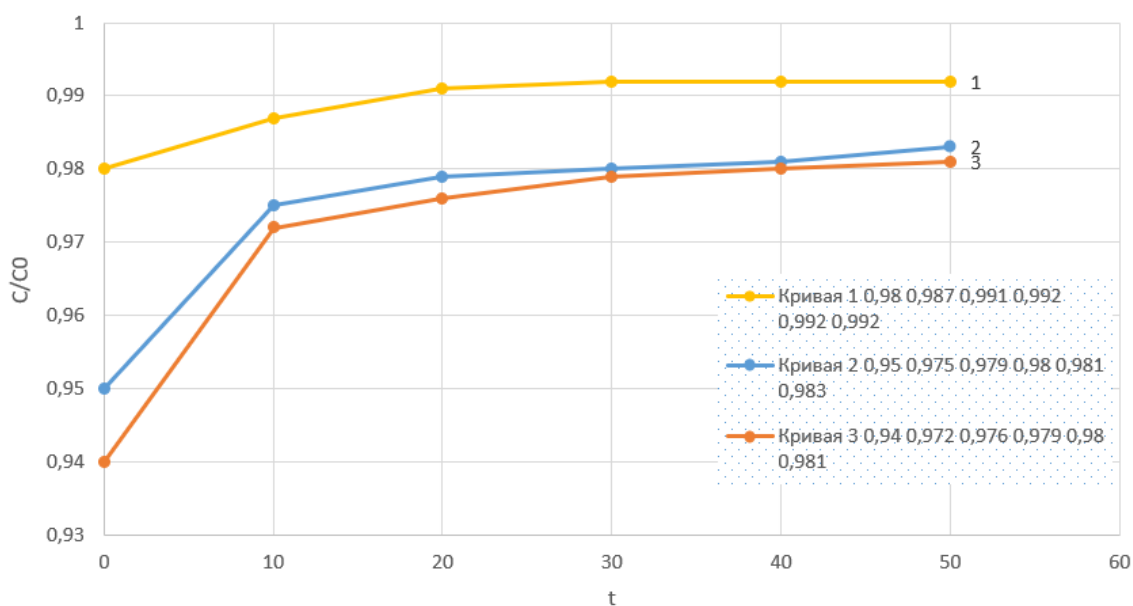


Рисунок 12 – Зависимость концентрации песка  $C/C_0$  от времени  $t$  седиментации с разных точек

В заключении к разделу можно сказать, что разработка и внедрение математической модели для определения времени седиментации механических примесей в восходящем потоке пластового флюида представляет собой значительное достижение в области управления скважинами. Это обеспечивает более высокий уровень контроля, предсказуемости и эффективности при проведении ремонтно-восстановительных работ, способствуя устойчивому и экономически выгодному развитию добывающей отрасли.

## **4 Многофункциональный клапан как решения для борьбы с выносом песка**

### **4.1 Актуальность вопроса и других методов борьбы с выносом песка**

На сегодняшний день остаётся актуальным вопрос борьбы с выносом песка. Эта проблема является крайне затратной в экономическом плане, что затрудняет добычу нефти и газа при эксплуатации скважин.

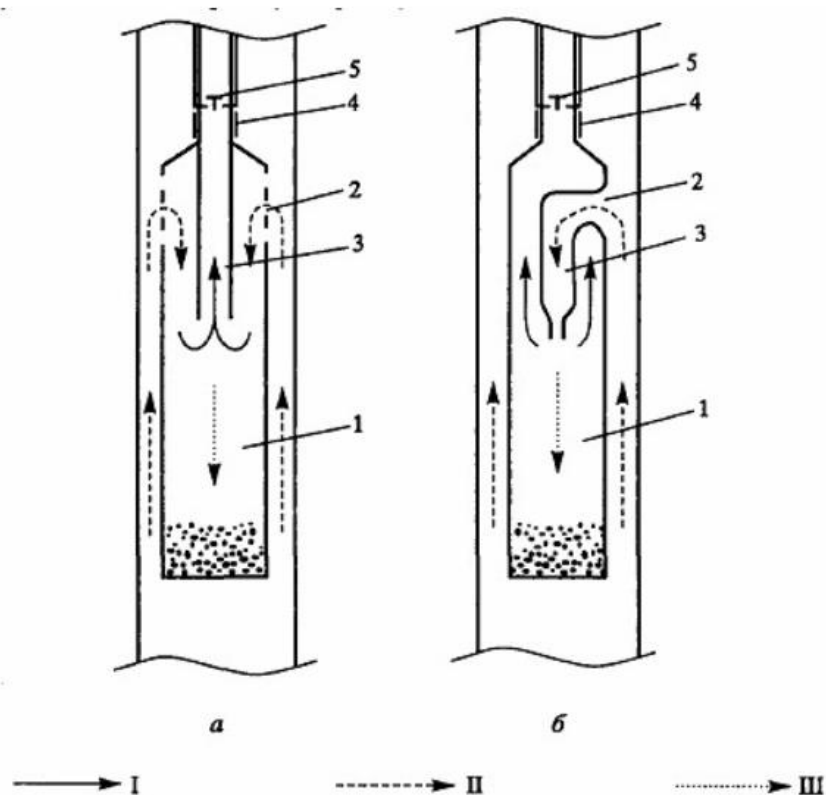
Для борьбы с пескопроявлениями рекомендуются и успешно применяются как технологические, так и технические мероприятия. К таким мероприятиям относятся режимы и темпы откачки продукции скважины. Необходимо контролировать оптимальное забойное давление и другие условия, которые определяют дальнейшее состояние в призабойной зоне пласта (ПЗП). Обычно оптимальным решением в борьбе с пескопроявлениями является использование противопесочных фильтров различной конструкции. Однако, помимо фильтров, существуют и другие решения, которые могут помочь при борьбе с выносом песка. Помимо фильтров используют следующие типы оборудования:

- сепараторы механических примесей;
- песочные якоря;
- износостойкое оборудование.

*Сепараторы механических примесей.* Назначение погружного сепаратора механических примесей (ПСМ) – это сепарация механических примесей, содержащихся в откачиваемой пластовой жидкости. Жидкость направляется на вход установки электроцентробежного насоса (УЭЦН). Такая компоновка оборудования устанавливается в нижней части погружного электродвигателя, что помогает улучшить эффективность оборудования. Помимо погружного электродвигателя, ПСМ должен содержать две гидрозащиты. Принцип работы ПСМ заключается в следующем: при поступлении из пласта рабочая жидкость попадает на приёмную часть сепаратора, где с помощью центробежных сил осуществляется отделение твёрдых частиц. Достоинством ПСМ является наличие накопительного контейнера, который во время сепарации накапливает твёрдые частицы и защищает УЭЦН от высокого пескопроявления. Главным недостатком ПСМ является сложность конструкции оборудования.

*Песочные якоря.* Назначение якоря – выделение и отделение крупных частиц песка от нефтяного потока при работе штангового насоса. Это оборудование устанавливается под пакером ниже насосного оборудования. Принцип действия песочных якорей основан на гравитационном осаждении механических примесей в потоке жидкости. При малых скоростях движения жидкости в потоке в чашах якорей происходит отделение частиц песка. По принципу действия песочные якоря относятся к классу гравитационных сепараторов, принципиальные схемы которых показаны на рис. 13





*1 - корпус-накопитель якоря; 2 - отверстие; 3 - труба; 4 - узел соединения якоря с насосом; 5 - всасывающий клапан насоса;  
 I - жидкая фаза продукции; II - жидкость + механические примеси (песок); III - механические примеси  
 а - якорь прямого типа; б - якорь обращенного типа.*

Рисунок 13 – Принципиальная схема песчаного якоря

Якорь на рис. 13а условно называется прямым – продукции скважины поступает в кольцевой зазор между корпусом 1 и трубой 3, а жидкая фаза по трубе 3 поступает к всасывающему клапану насоса 5. Якорь на рис. 13б называется обращенным – продукцией скважины поступает в трубу 3, а жидкая фаза из кольцевого зазора между корпусом 1 и трубой 3 поступает к всасывающему клапану насоса 5. В якорях прямого и обращенного типа скорость нисходящего потока жидкой фазы (в кольцевом зазоре) и скорость восходящего потока в трубе должны быть меньше скорости оседания частиц песка, а в якорях прямого типа скорость нисходящего потока в трубе и скорость восходящего потока в кольцевом зазоре должны быть меньше скорости оседания частиц песка. Оседающий песок накапливается в корпусе-накопителе якоря, который очищается на поверхности после подъема при подземном ремонте скважины. При использовании песчаных якорей вероятность образования песчаной пробки на забое скважины существенно понижается. Практика применения песчаных якорей показала, что эффективность обращенного якоря выше прямого.

Главным недостатком данного оборудования является то, что его накопительная система со временем может засоряться, и для очистки засорённой части необходимо останавливать скважину, что неэффективно при эксплуатации.

*Износостойкое оборудование.* Не секрет, что при эксплуатации скважин вероятность износа оборудования очень велика из-за различных негативных факторов, возникающих при добыче нефти и газа. Для решения этих проблем необходимо использовать износостойкое оборудование.

Анализ отказов показывает, что основной причиной отказов оборудования при эксплуатации скважин является радиальный износ опоры вала внутри насоса. Этот износ вызывает вибрации, создавая большие нагрузки на подшипники.

Существует несколько способов решения проблем, связанных с радиальным износом. Особое внимание следует уделить свойствам и материалам подшипников, а также их устойчивости к коррозии. Рекомендуется использовать цирконий и карбид кремния, так как эти неметаллические материалы обладают высокой устойчивостью к коррозии. На рисунке 14 показана одна из форм износа радиального подшипника качения. Выбор правильного подшипника играет важную роль при эксплуатации скважин. При этом необходимо учитывать материал подшипников и их устойчивость к сложным условиям работы. В таблице 3 приведены наиболее широко используемые и распространенные материалы подшипников.



Рисунок 14 – Износ подшипника качения

В отдельных исследованиях для снижения выноса песка рекомендуется значительное уменьшение темпов отбора жидкости. Однако это не только

экономически неэффективно [10], но также часто способствует образованию песчаных пробок над насосом во время вынужденных остановок скважины. Это происходит потому, что скорости восходящего потока в НКТ оказываются недостаточными для выноса крупнозернистых фракций песка, в результате чего над насосом накапливается высокая концентрация песка.

Таблица 3 – Характеристики материалов подшипников

Материал	Жесткость	Средний коэффициент износа	Коррозия в 15% HCl	Прочность
Цирконий	1200	0,19	0,02%	3,5
Карбид кремния	2600	0,045	0,004%	0,5
Карбид вольфрама	1600	0,035	больше 4%	1,5
Белый чугун	1000	123,4	-	-

Проблема борьбы с выносом песка при эксплуатации скважин остается крайне актуальной и требует значительных экономических затрат. Эффективное решение этой проблемы возможно благодаря внедрению различных технологических и технических мероприятий. Контроль режимов и темпов откачки продукции, оптимального забойного давления и других условий, определяющих состояние в призабойной зоне пласта, играет ключевую роль.

Исходя из вышеописанных методов, можно отметить, что они успешно функционируют в режиме непрерывной эксплуатации скважины. Однако, учитывая тот факт, что большинство месторождений являются старыми, для них применяется периодическая эксплуатация скважин. Причиной этого является низкий уровень дебита скважины. По этой же причине существует опасность такого режима эксплуатации скважин, так как при частых остановках в колонне НКТ происходит осаждение песка и образование песчаных пробок.

Анализ исследований седиментации механических примесей в нефти и нефтепродуктах [11] показывает, что наиболее интенсивный процесс осаждения наблюдается в первой его половине, когда происходит осаждение наиболее крупных частиц. Затем данный процесс выравнивается, так как начинается осаждение мелких частиц песка. Решением проблемы образования песчаных пробок при использовании ГНО является постепенный сброс из НКТ в затрубное пространство более высококонцентрированной механической примеси в часть столба жидкости.

Использование противопесочных фильтров, сепараторов механических примесей и песочных якорей помогает минимизировать вынос песка и продлить срок службы оборудования. Погружные сепараторы механических

примесей эффективно отделяют твёрдые частицы, защищая оборудование от износа, хотя сложность их конструкции является недостатком. Песочные якоря, несмотря на риск засорения, также значительно снижают количество песка в нефтяном потоке. Немаловажную роль играет и использование износостойкого оборудования. Применение материалов, устойчивых к коррозии и износу, таких как цирконий и карбид кремния, способствует снижению радиального износа опор вала и повышает надёжность подшипников, что особенно важно при работе в сложных условиях.

Таким образом, комплексный подход к борьбе с пескопроявлениями, включающий применение различных типов оборудования и контроль эксплуатационных параметров, позволяет существенно повысить эффективность и рентабельность добычи нефти и газа.

## **4.2 Общие сведения многофункционального клапана при добыче нефти и газа**

Сегодня борьба с выносом песка остается актуальной проблемой. Она представляет собой значительные экономические затраты, что осложняет добычу нефти и газа при эксплуатации скважин. Одним из решений для борьбы с песком является многофункциональный клапан.

Многофункциональный клапан (МФК) – это устройство, которое используется в нефтегазовой отрасли для управления потоком флюидов в скважине. Эти клапаны выполняют несколько функций, таких как регулирование давления, контроль потока и предотвращение обратного потока. МФК могут быть автоматическими или управляться дистанционно.

Многофункциональный клапан представляет собой высокотехнологичное устройство, разработанное для управления потоками жидкостей и газов в нефтегазовых скважинах. Этот клапан отличается способностью выполнять несколько функций одновременно, таких как регулирование давления, предотвращение пескопроявлений, и поддержание стабильного потока. В его конструкции предусмотрены механизмы, позволяющие оперативно и точно реагировать на изменения в условиях эксплуатации скважины.

Пескопроявление – это проблема, когда частицы песка из пласта начинают перемещаться в скважину вместе с нефтью или газом. Это может привести к ряду проблем:

- износ оборудования;
- снижение производительности;
- песчаные пробки;
- повышенные затраты на обслуживание.

Песок может вызывать абразивный износ насосов, труб и других компонентов оборудования. Также песок может засорять оборудование,

снижая его эффективность и производительность. Регулярное удаление песка и ремонт оборудования увеличивают эксплуатационные расходы.

Многофункциональные клапаны помогают бороться с пескопроявлением следующим образом:

- фильтрация;
- регулирование потока;
- дистанционное управление.

Некоторые МФК оснащены фильтрующими элементами, которые задерживают частицы песка, предотвращая их попадание в оборудование. МФК могут регулировать скорость потока, снижая турбулентность и, как следствие, количество поднимаемого песка. Возможность управления клапаном на расстоянии позволяет оперативно реагировать на изменения в скважине и регулировать параметры для минимизации пескопроявления.

В нефтегазовой промышленности многофункциональные клапаны используются для решения одной из наиболее значимых проблем – пескопроявлений. Пескопроявление происходит, когда частицы песка начинают перемещаться вместе с продуктивной жидкостью, что может привести к образованию песчаных пробок, повреждению оборудования и снижению производительности скважины. Многофункциональный клапан регулирует параметры потока, что помогает предотвратить перенос песчаных частиц и их осаждение.

Применение многофункциональных клапанов значительно повышает эффективность добычи нефти и газа. Они позволяют минимизировать простои скважин, связанные с очисткой оборудования от песка, что приводит к экономии времени и снижению эксплуатационных затрат. Дополнительно, использование этих клапанов помогает продлить срок службы скважинного оборудования, уменьшая его износ и частоту ремонта.

На сегодняшний день актуальность многофункциональных клапанов в нефтегазовой отрасли сложно переоценить. Многие месторождения сталкиваются с проблемой пескопроявлений, что вызывает необходимость в применении надежных и эффективных технологий для их предотвращения. Многофункциональные клапаны предоставляют такие решения, обеспечивая стабильность и безопасность процессов добычи. Они помогают поддерживать уровень производства и минимизировать экологические риски, что особенно важно в условиях сложных эксплуатационных условий.

Использование многофункционального клапана существенно повышает общую эффективность добычи нефти. За счет интеграции нескольких функций в одно устройство, клапан способствует снижению операционных затрат и уменьшает необходимость в частом техническом обслуживании. Он защищает оборудование от износа и повреждений, продлевая срок его службы и минимизируя время простоя скважин. Многофункциональные клапаны адаптируются к конкретным условиям месторождений, обеспечивая гибкость и надежность системы добычи. Их применение на проблемных месторождениях, где пескопроявления особенно интенсивны, является частью

комплексной стратегии управления скважинами. В таких условиях клапаны работают в сочетании с другими технологиями и методами, создавая эффективную систему борьбы с песком.

Многофункциональные клапаны являются критически важными элементами современной нефтегазовой промышленности. Их способность эффективно управлять потоками, предотвращать пескопроявления и обеспечивать долговременную эксплуатацию скважин делает их незаменимыми в условиях постоянно растущих требований к эффективности и безопасности добычи. Интеграция таких клапанов в эксплуатацию скважин способствует значительному улучшению производственных показателей и снижению эксплуатационных затрат, что делает их применение экономически целесообразным и технически оправданным.

### **4.3 Принцип работы многофункционального клапана и его технология**

Для защиты ГНО в условиях высокого пескопроявления требуются специальные решения, например, противопесочные клапаны. Основные требования к таким клапанам включают:

- минимальное гидравлическое сопротивление к потоку насоса, при этом клапан должен входить в компоновку НКТ;
- возможность многократного слива жидкости из колонны НКТ без подъема самого насоса;
- надежность и герметичность;
- автоматическая активация в зависимости от наличия песка или других механических примесей.

Активаторы клапанов могут быть различных типов, таких как поворотные, тарельчатые, комбинированные и другие.

Многофункциональный клапан для погружных скважинных насосов относится к управляющим клапанным механизмам в скважинной добыче жидких ископаемых.

Существует патент RU №2415253 "Погружной насос с очищаемым в скважине фильтром", который описывает насос, размещенный в полом цилиндрическом кожухе и герметично закрепленный сверху, обеспечивая движение жидкости через зазор между кожухом и насосом. В свою очередь обеспечивает движение в потоке перекачиваемой жидкости через зазор между кожухом и насосом.

К недостаткам данной компоновки насосной установки являются следующие факторы:

- необходимость наличия в компоновке несколько клапанов (как минимум двух): перепускного клапана и обратного клапана, что усложняет конструкцию;

- необходимость наличия компоновки колонны НКТ также и третьего клапана, в роли третьего клапана играет сливной клапан, который нужен для выполнения ремонтных работ;

- неустойчивое срабатывания перепускного подпружинного регулируемого клапана, так как если гидравлическое сопротивление резко возрастет, то данный клапан может запуститься на перепуск жидкости по кожуху от насоса к фильтру, что может вызвать перегрев электродвигателя при циркуляции жидкости.

Традиционная компоновка погружного скважинного насоса на колонне труб включает как минимум два технологических клапана: сливной для сброса жидкости перед подъемом при проведении подземных ремонтных работ и обратный клапан, установленный над насосом для удержания столба жидкости в колонне труб при остановке насоса. Однако такая конфигурация имеет недостатки, включая сложность конструкции из-за необходимости размещения клапанов в различных частях колонны НКТ.

Многофункциональный клапан для скважинных насосных установок решает эти проблемы путем объединения нескольких функций в одном устройстве. Он способен заменить несколько отдельных клапанов, что значительно упрощает конструкцию и повышает надежность установки. Кроме того, такой клапан может выполнять операции по очистке скважинного фильтра и систем фильтрации, промывке НКТ от отложений и сливу жидкости из колонны перед подъемом для выполнения ремонтных работ.

Результатом использования многофункционального клапана является сокращение затрат на эксплуатацию скважин за счет увеличения межремонтного периода и повышения эффективности обслуживания скважин.

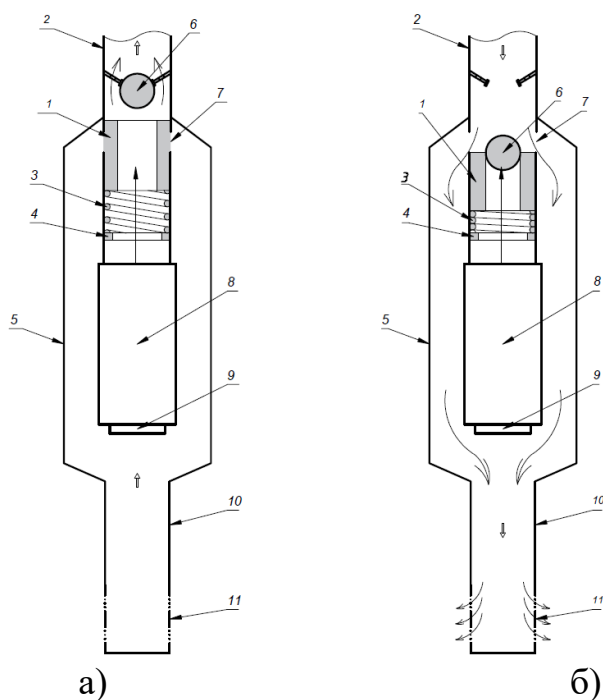
Конфигурация погружной скважинной насосной установки с применением многофункционального клапана включает специально разработанный подпружиненный клапан с подвижным запорным органом типа золотника. Этот клапан расположен над насосной установкой в направлении движения жидкости и предназначен для закрытия перепускных окон на стенках колонны НКТ, которая помещена в полый цилиндрический кожух и герметично зафиксирована сверху. Отличие данной компоновки от традиционной заключается в использовании многофункционального клапана.

Многофункциональный клапан способен выполнять несколько операций, связанных с обслуживанием фильтрации. Он может как очищать, так и промывать устройства фильтра от различных механических примесей, включая пескопроявления. Для выполнения операции по очистке фильтра с поверхности земли генерируется импульс давления. Этот импульс приводит к сжатию пружины с запорным элементом клапана в нижнюю часть, после чего открываются перепускные окна в колонне НКТ для пропуска жидкости через зазор между кожухом и насосом к фильтру.

Для очистки стенок НКТ от нежелательных отложений необходимо осуществлять закачку промывочной жидкости с наземной части. Этот подход позволяет избежать попадания химреагентов на насос.



На рисунке 15 представлены два варианта многофункционального клапана. Первый вариант (рис. 15а) показывает положение элементов клапана в работе глубинного насоса, а второй вариант (рис. 15б) иллюстрирует положение клапана при остановке скважины и для выполнения таких операций, как очистка скважинного фильтра с использованием импульса промывки, промывка колонны НКТ от асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) и слив жидкости из колонн НКТ перед подъемом насоса при текущем и капитальном ремонте скважины.



1 - золотник; 2 - колонна НКТ; 3 - пружина; 4 - стопорное кольцо; 5 - кожух; 6 - обратный клапан; 7 - сливные (а) и перепускные (б) окана; 8 - насос; 9-приемное отверстие; 10 - хвостовик; 11 - фильтр

а) положение элементов многофункционального клапана при работе глубинного насоса;  
б) положение элементов многофункционального клапана при остановке насоса и очистке скважинного фильтра

Рисунок 15 – Многофункциональный клапан для погружных скважинных насосов

Принцип работы многофункционального клапана для погружных скважинных насосов во время эксплуатации глубинного насоса (рис. 15а) включает несколько ключевых этапов. Сначала проводится расчет и настройка силы натяжения пружины 3, учитывая глубину скважины, где будет установлен насос 8, а также необходимость подъема жидкости на поверхность с минимальным запасом от расчетной части. Вспомогательные работы выполняются на специальной стойке.

После установки боковых элементов насоса 8, к нему добавляются кожух 5, хвостовик 10 и фильтр 11. Это оборудование опускается в скважину

на колонне НКТ 2 и начинает свою работу. Жидкость проходит очистку через фильтр 11 и поступает через хвостовик 10 в приемное отверстие 9, которое относится к насосу 8. Далее через обратный клапан 6 происходит откачка через колонну НКТ 2 на поверхность. В данной конструкции золотник 1 закрывает сливные окна 7, чтобы жидкость из колонны НКТ 2 не попадала в пространство между кожухом 5 и насосом 8, направляя ее к фильтру 11.

Для очистки скважинного противопесочного фильтра 15 (рис. 15б) необходимо остановить насос 8. Запорный орган обратного клапана 6 должен упасть в седло золотника 1, чтобы предотвратить обратный поток промывочной жидкости, который может содержать агрессивные моющие реагенты для очистки фильтра. На поверхности скважины, в устье колонны НКТ 2, создается избыточное давление, достаточное для выполнения ряда технологических операций, таких как настройка силы натяжения пружины 3, перемещение золотника 1 и открытие перепускных окон 7 (рис. 15б), а также для передачи импульса давления на противопесочный фильтр 11.

После всех указанных операций жидкость, проходящая через колонну НКТ 2 через перепускные окна 7, зазор между кожухом 5 и насосом 8, а также хвостовиком 10, производит промывку фильтра 11 наружу. Для промывки фильтра 11 требуется определить опытным путем объем жидкости, учитывая степень загрязнения продукции скважины. После завершения промывки и очистки фильтра 11, колонна НКТ 2 остается заполненной жидкостью, что позволяет сэкономить время на ее наполнение при запуске насоса 8 обратно в работу.

Периодическая очистка скважинного противопесочного фильтра в условиях высокого пескопроявления поможет сократить и предотвратить образование песчаных пробок над насосом.

Устройство многофункционального клапана значительно упрощает сложную конструкцию компоновки погружных скважинных насосов. На рисунке 16 показана компоновка погружной насосной установки для штанговых винтовых насосов с многофункциональным клапаном.

Погружная насосная установка для ШВН с многофункциональным клапаном представляет собой сложную систему, предназначенную для эффективной добычи нефти из скважин, особенно в условиях, где наблюдаются пескопроявления. Компоновка такой установки включает несколько ключевых компонентов, работающих в гармонии для обеспечения стабильной и надежной эксплуатации.

Компоновка начинается с установки штангового винтового насоса на необходимую глубину в скважине. Насос соединяется с поверхностным оборудованием через штанги и насосно-компрессорные трубы. На определенной глубине, в непосредственной близости от насоса, устанавливается многофункциональный клапан и противопесочный фильтр.

В процессе эксплуатации нефть и газ из пласта поступают в насос через противопесочный фильтр, где происходит предварительная очистка флюидов от песка и других твердых частиц. Далее, через многофункциональный клапан,

осуществляется дополнительная фильтрация и регулирование потока, что предотвращает засорение и износ насоса.

Многофункциональный клапан также управляет давлением в системе, обеспечивая стабильные условия эксплуатации.

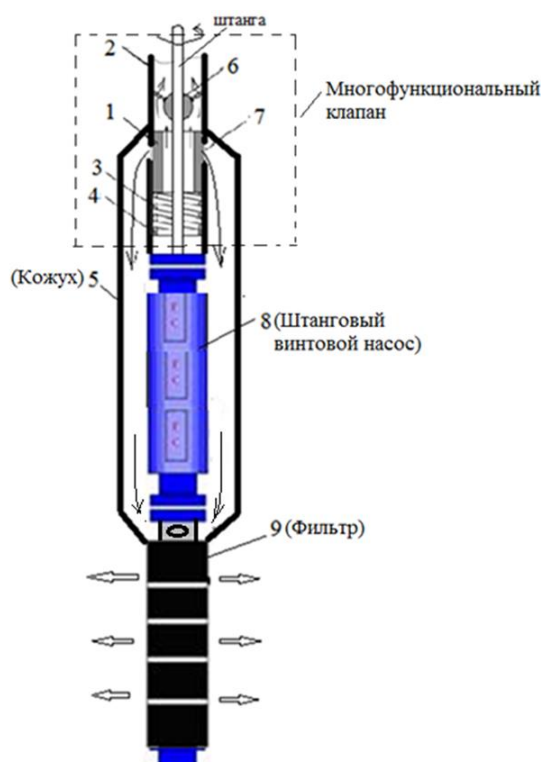
Это особенно важно при наличии пескопроявлений, так как контролируемое давление и поток способствуют предотвращению образования песчаных пробок.

Использование многофункционального клапана и противопесочного фильтра значительно снижает риск повреждений и износа оборудования, продлевая его срок службы.

Комплексная фильтрация и регулирование потока обеспечивают более стабильную и эффективную добычу нефти, уменьшая время простоя и снижая операционные затраты.

Возможность настройки системы в соответствии с условиями конкретного месторождения обеспечивает высокую адаптивность и универсальность установки.

Компоновка погружной насосной установки для штанговых винтовых насосов с многофункциональным клапаном представляет собой эффективное решение для борьбы с пескопроявлениями и оптимизации процесса добычи нефти на проблемных месторождениях.



*1 - золотник; 2 - колонна НКТ; 3 - пружина; 4 - стопорное кольцо; 5 - кожух; 6 - обратный клапан; 7 - сливные окна; 8 - насос; 9 - фильтр*

Рисунок 16 – Компоновка для штанговой винтовой насосной установки с многофункциональным клапаном

Компоновка погружной насосной установки для штанговых винтовых насосов с многофункциональным клапаном представляет собой эффективное решение для борьбы с пескопроявлениями и оптимизации процесса добычи нефти на проблемных месторождениях.

В заключении можно отметить, что использование многофункциональных клапанов в составе погружной насосной установки для штанговых винтовых насосов представляет собой эффективное решение для борьбы с пескопроявлениями и оптимизации процесса добычи нефти на проблемных месторождениях. Данная технология обеспечивает надежное регулирование потока, фильтрацию и управление давлением, что способствует повышению производительности и надежности оборудования, снижая риски и затраты, связанные с пескопроявлениями.

Разработанная компоновка позволяет значительно увеличить срок службы насосного оборудования, минимизируя износ и повреждения. Это особенно актуально для старых месторождений с низким уровнем дебита скважин, где частые остановки и запуск скважин могут приводить к образованию песчаных пробок. Многофункциональные клапаны, в сочетании с другими методами и технологиями, обеспечивают комплексный подход к решению проблем, связанных с пескопроявлениями, что делает их незаменимыми в современных условиях эксплуатации нефтяных скважин.

Многофункциональный клапан не только повышает эффективность добычи нефти, но и улучшает экологические показатели эксплуатации скважин. За счет уменьшения количества песка, попадающего на поверхность, снижается нагрузка на системы утилизации и переработки, что способствует более экологически чистой работе месторождения.

Кроме того, использование многофункциональных клапанов может способствовать улучшению экономических показателей компании. Снижение затрат на ремонт и техническое обслуживание, уменьшение времени простоя скважин и увеличение общей добычи нефти способствуют повышению рентабельности добычи и улучшению финансовых результатов.

Внедрение многофункциональных клапанов в погружные насосные установки для штанговых винтовых насосов представляет собой значительный шаг вперед в управлении добычей нефти, обеспечивая надежность, эффективность и устойчивость процесса.

## **5 Экономическая часть**

При добыче нефти и газа часто возникает проблема с пескопроявлениями, когда песок и другие твердые частицы, находящиеся в породе, начинают поступать вместе с добываемой жидкостью (нефтью или водой). Это может привести к серьезным технологическим и экономическим проблемам, таким как повреждение оборудования, сокращение производственной мощности и увеличение затрат на обслуживание и ремонт.

Экономически обоснованные подходы к решению проблемы

### **1) Применение технологий фильтрации и очистки**

Современные фильтры и сепараторы: Инвестиции в разработку и установку высокоэффективных фильтров и сепараторов помогают отделять твердые частицы от добываемых жидкостей, что снижает риск пескопроявлений и улучшает качество добычи. Хотя начальные затраты на такое оборудование могут быть высокими, оно может значительно сократить операционные расходы за счет уменьшения потребности в частых остановках для очистки скважин и обслуживания оборудования.

Инновационные технологии очистки: Внедрение передовых технологий, таких как электростатические или мембранные методы очистки, позволяет эффективно улавливать твердые частицы и минимизировать их влияние на процесс добычи.

### **2) Оптимизация процессов и управление затратами**

Мониторинг и аналитика: Внедрение систем мониторинга и аналитики для оперативного выявления и прогнозирования пескопроявлений позволяет снижать потери от остановок и простоев, оптимизируя расписание обслуживания и ремонта.

Программы обучения и повышения квалификации: Обучение персонала новым методам управления процессами добычи и обслуживания оборудования помогает сократить человеческий фактор в возникновении пескопроявлений и повысить эффективность работы.

### **3) Устойчивое землепользование и экологические нормативы**

Программы по управлению земельными ресурсами: Разработка и внедрение программ устойчивого землепользования и экологически чистых технологий снижает экологические риски и затраты на восстановление природной среды после эксплуатации скважин.

Соблюдение стандартов и нормативов: Строгое соблюдение экологических нормативов и стандартов помогает предотвращать экологические штрафы и судебные иски, связанные с эксплуатацией скважин и управлением пескопроявлениями.

### **4) Инвестиции в исследования и разработки**

Исследования новых материалов: Ведение исследований для разработки новых материалов и компонентов, обладающих улучшенными антикоррозионными и антиабразивными свойствами, способствует снижению

износа оборудования и, как следствие, минимизации высвобождения песка из скважин.

Технологии для управления потоками: Внедрение передовых технологий, таких как интеллектуальные системы управления потоками и автоматизация процессов, позволяет более точно регулировать процессы добычи и снижать риск пескопроявлений.

Инвестиции в современные технологии и управление рисками связанными с пескопроявлениями не только улучшают экологическую устойчивость добычной индустрии, но и сокращают операционные расходы и повышают производительность. Основные выгоды включают уменьшение затрат на обслуживание оборудования, увеличение срока службы скважин и улучшение репутации компаний в контексте устойчивого развития.

#### 5) Оптимизация управления запасами и снабжением

Управление запасами: Разработка эффективных стратегий управления запасами и снабжением компонентами для оборудования, связанного с предотвращением и устранением пескопроявлений, помогает снижать операционные расходы и минимизировать простои из-за нехватки необходимых материалов.

Стратегии снижения издержек: Внедрение стратегий снижения издержек, например, совместные закупки соседних добывающих компаний или пересмотр условий контрактов с поставщиками, позволяет уменьшить общие эксплуатационные расходы и улучшить финансовую устойчивость.

#### 6) Страхование и финансовые механизмы

Страхование рисков: Покупка специализированных страховых полисов на случай возможных экономических потерь, связанных с пескопроявлениями (например, потерями производства или ремонтными работами), позволяет сгладить финансовые последствия непредвиденных событий.

Инвестиции в устойчивость: Вложения в улучшение устойчивости производственных процессов и предотвращение экологических рисков снижают вероятность возникновения пескопроявлений и связанных с ними затрат на восстановление.

#### 7) Оценка экономической эффективности и ROI

Анализ затрат и выгод: Проведение комплексного анализа затрат и выгод от внедрения новых технологий и стратегий по борьбе с пескопроявлениями позволяет оценить экономическую эффективность инвестиций и оптимизировать бизнес-процессы.

Расчет возврата инвестиций (ROI): Проведение расчетов ROI для различных мероприятий по снижению пескопроявлений помогает принять обоснованные решения о приоритетах инвестиций и ресурсах, направляемых на улучшение устойчивости и производительности добычных процессов.

Борьба с пескопроявлениями в скважинах является важным аспектом современной добычной промышленности нефти и газа, требующим комплексного подхода и значительных инвестиций. Экономически обоснованные меры по управлению этой проблемой не только способствуют

улучшению экологической устойчивости производственных процессов, но и значительно влияют на финансовую эффективность предприятий.

**Инновации в технологиях:** Внедрение современных технологий фильтрации, систем управления потоками и материалов с повышенной устойчивостью к абразивному воздействию помогает снижать износ оборудования и операционные расходы. Это способствует улучшению производительности скважин и сокращению времени простоев.

**Оптимизация управления:** Эффективное управление запасами и снабжением, а также использование стратегий снижения издержек, позволяют компаниям экономить ресурсы и повышать финансовую устойчивость. Мониторинг и аналитика играют ключевую роль в оперативном реагировании на возникающие проблемы с пескопроявлениями.

**Финансовые механизмы и страхование:** Использование страховых полисов и финансовых механизмов помогает сгладить экономические последствия нештатных ситуаций, связанных с пескопроявлениями. Это также способствует повышению инвестиционной привлекательности компаний перед инвесторами.

**Оценка экономической эффективности:** Анализ затрат и расчет возврата инвестиций для мероприятий по снижению пескопроявлений позволяет оптимизировать использование ресурсов и добиться наилучшей экономической выгоды от внедрения новых технологий и стратегий.

Все эти меры в совокупности способствуют не только снижению экологического воздействия от добычи нефти и газа, но и укреплению позиций компаний на рынке, улучшению их репутации в области устойчивого развития и обеспечению долгосрочной устойчивости бизнеса.

Интеграция экономически обоснованных подходов в управлении пескопроявлениями является неотъемлемой частью стратегии современных добычных компаний, направленной на достижение высоких стандартов производственной эффективности и устойчивого развития.

В конце можно подвести итоги всей работы, охватив основные аспекты борьбы с пескопроявлениями при добыче нефти из проблемных месторождений и их экономического влияния:

Пескопроявления при добыче нефти представляют собой серьезную проблему, которая влияет на производительность скважин, операционные расходы и общую эффективность производственного процесса. Накопление песка в скважинах приводит к образованию песчаных пробок, требующих частого ремонта и обслуживания. Это приводит к временным простоям скважин и снижению объемов добычи нефти, что в свою очередь увеличивает эксплуатационные затраты и ведет к упущенной прибыли для нефтяных компаний.

Экономические последствия пескопроявлений включают в себя не только прямые затраты на техническое обслуживание и замену оборудования, но и косвенные издержки, такие как потери производительности, дополнительные расходы на энергоресурсы и риски экологических штрафов.

Введение современных технологий и методов борьбы с пескопроявлениями, таких как использование многофункциональных клапанов, противопесочных фильтров и других инновационных решений, позволяет снизить негативное влияние песчаных пробок и оптимизировать эксплуатационные затраты.

#### Убытки от временных простоев скважин

Песчаные пробки требуют частого вмешательства и остановок для их удаления. Это приводит к существенным временным простоям скважин, во время которых не происходит добыча нефти. Упущенная прибыль от недобычи значительно снижает экономическую эффективность проекта.

#### Затраты на ремонт и замену оборудования

Необходимость частого технического обслуживания и замены оборудования, поврежденного из-за песчаных пробок, увеличивает операционные расходы компании. Эти затраты включают в себя как стоимость запчастей и технологического оборудования, так и оплату труда специализированных работников.

#### Дополнительные расходы на энергоносители и ресурсы

Неэффективное использование энергоресурсов во время временных простоев скважин и частых остановок увеличивает затраты на электроэнергию и другие ресурсы. Это также включает в себя затраты на транспортировку и обработку добытой нефти.

#### Риски экологических штрафов и ущерба окружающей среде

Повышенная вероятность загрязнения окружающей среды из-за нештатных ситуаций, вызванных песчаными пробками, может привести к дополнительным экологическим издержкам и штрафам со стороны регулирующих органов. Это создает дополнительное давление на финансовое состояние компании и её репутацию.

#### Необходимость инвестиций в современные технологии и оборудование

Внедрение современных технологий и инновационных решений, таких как многофункциональные клапаны, противопесочные фильтры и системы мониторинга, требует значительных капитальных вложений. Однако такие инвестиции оправдывают себя за счет снижения операционных рисков и улучшения общей надежности и эффективности производственных процессов.

Важно отметить, что успешное решение проблемы пескопроявлений требует комплексного подхода, включающего научные исследования, инженерные разработки и эффективное управление производственными процессами. Инвестиции в современные технологии и квалификацию персонала способствуют повышению устойчивости производства к внешним воздействиям и обеспечивают долгосрочное развитие нефтяных операций.

Пескопроявления при добыче нефти из проблемных месторождений представляют серьезную экономическую проблему, влияющую на операционные расходы и общую эффективность производства. Основные аспекты, которые следует учитывать:

- во-первых, песчаные пробки в скважинах приводят к значительным временным простоям и периодическим остановкам добычных процессов. Это



приводит к упущенной прибыли из-за нефтедобычи во время технического обслуживания и удаления пробок;

- во-вторых, необходимость частого обслуживания и ремонта оборудования, поврежденного из-за песчаных отложений, увеличивает операционные затраты компаний. Это включает затраты на запчасти, труд специалистов и дополнительные энергоресурсы.

Дополнительно, риск экологических последствий, таких как загрязнение окружающей среды и потенциальные экологические штрафы, увеличивает общие издержки и может повлиять на репутацию компании.

Использование современных технологий, таких как многофункциональные клапаны и противопесочные фильтры, позволяет снизить негативное влияние песчаных пробок и оптимизировать эксплуатационные расходы. Это важно для повышения общей эффективности нефтедобычи и сокращения операционных рисков, что способствует улучшению финансовых показателей компаний и обеспечивает их устойчивость на рынке энергоносителей.

Таким образом, эффективное управление пескопроявлениями не только снижает операционные риски, но и способствует улучшению финансовых показателей компаний, обеспечивая стабильность и устойчивость в условиях изменчивого рынка нефти и газа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При написании магистерской диссертации на тему «Совершенствование техники и технологии борьбы с пескопроявлениями при добыче нефти из проблемных месторождений», было проделана большая работа включая исследование и анализ научных статей, журналов и специальной литературы. Многофункциональный клапан играет ключевую роль в эксплуатации скважин и в борьбе с пескопроявлениями, что делает его важным элементом для повышения эффективности добычи нефти и газа.

В процессе работы был совершен всесторонний анализ проблемы пескопроявлений, которая остается одной из основных вызовов в добывающей отрасли. Актуальность этой темы сохраняется и сегодня, так как своевременная и эффективная борьба с пескопроявлениями позволяет избежать серьезных последствий, связанных с износом оборудования, увеличением времени простоя и значительными финансовыми затратами. Пренебрежение предварительными мерами по предупреждению пескопроявлений может привести к усложнению последующих усилий по устранению этой проблемы, что потребует больших временных и бюджетных ресурсов.

Основная цель диссертации заключалась в демонстрации многофункционального клапана, чтобы повысить его эффективность и функциональность. В сотрудничестве с научным руководителем были тщательно рассмотрены все недостатки и ограничения предыдущих исследований, что позволило предложить инновационное решение. Многофункциональный клапан, разработанный в рамках данной работы, способен заменить несколько клапанов в компоновке насосной установки, выполняя сразу несколько технологических операций как одновременно, так и по отдельности.

Были проведены необходимые методы расчетов и показ результатов на графике, подтверждающие всю сущность проблемы и актуальности такого явления как пескопроявление. В диссертации подробно описан принцип работы многофункционального клапана.

Таким образом, результаты данного исследования подтверждают, что многофункциональный клапан представляет собой значительный шаг вперед в области улучшения технологий добычи нефти и газа и борьбы с выносом песка. Его внедрение в эксплуатацию позволит не только повысить эффективность и экономичность производственных процессов, но и обеспечить более устойчивое и надежное функционирование добывающих скважин.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Soroush M., Roostaei M., Abolhassan Hosseini S., Mohammadtabar M., Pourafshary P., Mahmoudi M., Ghalambor A., Fattahpour V. Challenges and Potentials for Sand and Flow Control and Management in the Sandstone Oil Fields of Kazakhstan: A Literature Review // SPE International Conference and Exhibition on Formation Damage Control, SPE-199247-MS, Louisiana, USA, February 19–21, 2020.
2. Б. Мырзахметов, Ж. Нуркас, А. Султабаев, Б. Калиев. Особенности эксплуатации нефтяных скважин в условиях высокого пескопроявления. Oil&Gas Journal Russia. С. 60.
3. М.К. Каражанова, Г.М. Эфендиев. Комплексный анализ показателей эксплуатации скважин на месторождениях Казахстана // XXI Губкинские чтения, Москва, 24–26 марта 2016. – С. 47.
4. Ж.Б. Нуркас, Б. Убайдоллаулы. Case Study: Enhancing PCP Perfoance through the Complex Failure Analyziz of More Than 200 Wells // Техническая конференция по тяжелым нефтям, SPE-189732, Калгари, Канада, 13–14 марта 2018.
5. Рекомендованные методики по выбору способа заканчивания скважин в условиях пескопроявления. Проспект компании «Роснефть».
6. Чурикова Л.А., Низамов Р.Р. Обоснование выбора методов предупреждения пескопроявлений с учетом разуплотнения породы в слабokonсолидированных пластах // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2021. 3(84).
7. Научно-Производственная Компания "ФИЛЬТР": <https://www.npk-filtr.ru/ks-ok>
8. Нескин В.А. Разработка и исследование композиции на основе кремнийорганического полимера для ликвидации выноса песка в газовых скважинах: Дис канд. техн. наук: 02.00.11. – М., 2016. – 129 с.
9. Савацки Р., Уэрта М., Лондон М., Меца Б. Холодная добыча на западе Канады: шаг вперед в первичной добыче нефти // RogTech. – 2010. – № 20. – С. 68-74.
10. Рыбак Б. М. Анализ нефти и нефтепродуктов. – М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1962. – 887 с.
11. United States Patent «Valve with shuttle» № US 9 027 654 B2.
12. Мырзахметов Б. А., Крупник Л. А., Бейсенов Б. С., Токтамисова С. М. Применение струйных насосов и средств защиты от пескопроявления при откачке продуктивных растворов урана // Безопасность труда в промышленности. – 2018. – № 7. – С. 74-80. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-7-74-80.
13. Gao G., Dang R., Nouri A., Jia H., Li L., Feng X., Dang B. Sand rate model and data processing method for non-intrusive ultrasonic sand monitoring in

flow pipeline // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015. Vol. 134. Pp. 30—39. DOI: 10.1016/j.petrol.2015.07.001.

14. Серeda Н. Г., Муравьев В. М. Основы нефтяного и газового дела. Учебник для вузов.— 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1980, с. 145.

15. Мырзахметов Б.А., Токтамисова С.М., Сарыбаев Е., Майкенов Е.Б. Защита глубиннонасосного оборудования в условиях высокого пескопроявления. // Промышленность Казахстана, 2018. – №2. – С. 80-83.

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

17. Мамедов К.К. Эксплуатация нефтяных скважин в осложненных условиях. – Баку: Чашыюглу, 1999. – 341 с.

18. Волков, А. В. "Пескопроявления в нефтяных скважинах: причины и методы борьбы." М.: Недра, 1995.

19. Иванов, И. И., Петров, П. П. "Технологии предотвращения пескопроявлений в нефтяных скважинах." Нефтяное хозяйство, 2010.

20. Сидоров, В. В. "Комплексный подход к борьбе с пескопроявлениями в условиях осложненных скважин." Нефтегазовое дело, 2008.

21. Павлов, А. А. "Методы борьбы с пескопроявлениями в нефтяных скважинах." Нефть и газ, 2007.

22. Карпов, М. М. "Системы контроля и управления пескопроявлениями в нефтяных скважинах." Издательство нефтяной литературы, 2005.

23. Лебедев, Е. Е. "Пескопроявления в нефтяных скважинах и их предотвращение." Нефть. Газ. Инновации, 2009.

24. Беляев, В. В. "Технологические решения для борьбы с пескопроявлениями в нефтяных скважинах." Нефтяная промышленность, 2012.

25. Григорьев, С. С. "Методы предотвращения пескопроявлений в осложненных нефтяных скважинах." Геология нефти и газа, 2008.

26. Романов, А. А. "Практика борьбы с пескопроявлениями в скважинах." Издательство нефти и газа, 2011.

27. Николаев, Н. Н. "Современные технологии борьбы с пескопроявлениями в нефтяных скважинах." Нефтяное оборудование, 2013.

28. Орлов, О. О. "Методы борьбы с пескопроявлениями в нефтяных скважинах в сложных условиях." Нефть и газ сегодня, 2010.

29. Соколов, С. С. "Эффективные методы борьбы с пескопроявлениями в нефтяных скважинах." Издательство нефтяного дела, 2009.

30. Кузнецов, К. К. "Технологии предотвращения пескопроявлений в осложненных скважинах." Нефтегазовые технологии, 2011.

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Елеуов Алмас Куандыкович

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Магистерская диссертация

**Название работы:** Совершенствование техники и технологии борьбы с пескопроявлениями при добыче нефти из проблемных месторождений

**Научный руководитель:** Бейбит Мырзахметов

**Коэффициент Подобия 1:** 0

**Коэффициент Подобия 2:** 0

**Микропробелы:** 0

**Знаки из других алфавитов:** 2

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

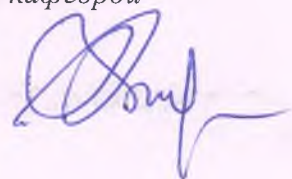
☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата 18.06.242

Заведующий кафедрой





## РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию  
(наименование вида работы)

Елеуова Алмаса

(Ф.И.О. обучающегося)

7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

(шифр и наименование ОП)

Тема: Совершенствование техники и технологии борьбы с пескопроявлениями при  
добыче нефти из проблемных месторождений

Выполнено:

а) графическая часть на 12 листах

б) пояснительная записка на 52 страницах

## ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В диссертационной работе убедительно показано, что дальнейшего  
повышения эффективности работы скважинных насосов в условиях пескопроявления  
можно добиться не только применением специальных противопесочных устройств,  
предотвращающих их образование, но и путем расширения их функциональности.

В частности, возможности их применения для очистки и восстановления  
фильтрационных свойств скважинных фильтров в компоновке УЭЦН и ВНУ. Проведенные  
диссертантом расчетно-аналитические и лабораторные исследования показали  
принципиальную возможность применения многофункциональных противопесочных  
устройств непосредственно в скважинных условиях, что является новым техническим  
решением в практике нефтедобычи и полученные магистрантом результаты представляют  
научный и практический интерес.

Существенных замечаний по структуре и содержанию диссертационной работы не  
имеется. Выявленные в процессе рецензирования незначительные ошибки, на которые  
указаны соискателю, могут быть устранены до защиты.

## Оценка работы

Дипломный проект Елеуова А. соответствует требованиям, предъявляемым к  
квалификационным работам магистров, оформлен в соответствии с требованиями  
нормативных документов и заслуживает оценки А+ («95%»), а диссертант присвоения  
квалификации «Магистр техники и технологий».



Рецензент

Генеральный директор ТОО «Бурмашин»  
(должность, уч. степень, звание)

(подпись)

(ФИО)

«18»

2024г.

**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на магистерскую диссертацию  
(наименование вида работы)

**Елеуова Алмаса Куандыковича**  
(Ф.И.О. обучающегося)

7M07111 –Цифровая инженерия машин и оборудования  
(шифр и наименование специальности)

Тема: Совершенствование техники и технологии борьбы с пескопроявлениями при  
добыче нефти из проблемных месторождений

Пескопроявление является одним из самых частых осложнений в скважинной добыче жидких полезных ископаемых и одним из основных причин отказов глубиннонасосного оборудования. Механические примеси приводят к засорению и абразивному износу ГНО, образованию песчаных пробок в НКТ над глубинным насосом в течение технологических перерывов, что служит частой причиной их отказа.

Для снижения негативного воздействия пескопроявления в практике нефтедобычи используются различные технологические мероприятия и технические средства, которые не в полной мере позволяют предотвратить негативное воздействие мехпримесей.

Проведенный анализ по оценке эффективности имеющихся технологических и технических средств защиты ГНО от пескопроявления показал, что дальнейшего повышения эффективности можно добиться не только применением специальных противопесочных клапанов, предотвращающих их образование, но и путем расширения их функциональности. В частности, возможности их применения для очистки и восстановления фильтрационных свойств скважинных фильтров в компоновке УЭЦН и ВНУ. Проведенные диссертантом расчетно-аналитические и лабораторные исследования показали принципиальную возможность применения многофункциональных противопесочных устройств, хорошо вписываемых в компоновку ГНО, что является новым техническим решением в практике нефтедобычи и полученные магистрантом результаты представляют научный и практический интерес.

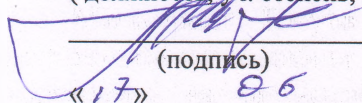
При работе над диссертацией магистрант проявил хорошие инженерные, теоретические и исследовательские навыки. В процессе работы им приобретены аналитические и расчетно-экспериментальные для обоснования предлагаемых решений.

В целом, содержание разделов диссертационной работы логически последовательно, обладает внутренним единством и направленностью на решение поставленной задачи.

Магистрант Елеуов А. обладает достаточными навыками и умениями для самостоятельного решения практических и научных проблем отрасли, может успешно осуществлять научно-исследовательскую и управленческую деятельность в команде, решать профессиональные проблемы в интересах организации.

Диссертационная работа магистранта Елеуова А. по содержанию и оформлению соответствует требованиям нормативных документов, предъявляемых к магистерским диссертациям и рекомендуется к защите с присвоением квалификации «Магистр техники и технологий».

**Научный руководитель**  
**канд. техн. наук, профессор**  
(должность, уч. степень, звание)

  
(подпись)

Б.А. Мырзахметов

2024 г.