

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа
Кафедра «Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Э.А. Петровский
подпись инициалы, фамилия
«___» _____ 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Скважинный гидродинамический вихревентор
тема

15.04.02 Технологические машины и оборудование
код и наименование направления

15.04.02.02 Надежность технологических машин
и оборудования нефтегазового комплекса
код и наименование магистерской программы

Руководитель _____
подпись, дата _____
д.т.н., профессор
должность, ученая степень _____
Э.А. Петровский
инициалы, фамилия _____

Выпускник _____
подпись, дата _____
Ю.А. Геращенко
инициалы, фамилия _____

Рецензент _____
подпись, дата _____
д.т.н., профессор
должность, ученая степень _____
Р.Т. Емельянов
инициалы, фамилия _____

Красноярск 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Роль и проблемы повышения нефтеотдачи скважин	6
1.1 Классификация методов повышения нефтеотдачи	6
1.1.1 Физико-химические газов методы	9
1.1.2 Тепловые рисунок методы	11
1.1.3 Механические жидкостью методы.....	13
1.1.4 Комбинированные патенте методы.....	16
1.2 Современное шнековой оборудование камеру для можно интенсификации fluid добычи влияние нефти	18
2 Виброволновое research воздействие действия на пласт	20
2.1 Физические свойства основы гидратами виброволнового усинское воздействия агента на пласт.....	20
2.2 Достоинства активно и недостатки камере виброволнового внутри воздействия является на пласт.....	26
2.3 Устройства, замыкаясь предназначенные позволит для валерий виброволнового учетом воздействия солей на пласт емкости и их классификация.....	27
2.3.1 Пульсаторы	28
2.3.2 Завихрители	37
2.4 Недостатки внедрение существующих двигатели конструкций, скважины требования, потока предъявляемые давления для другой их эффективной самотлор работы.....	52
3 Винтовая состоит шнековая минимуму турбина жидкости для пленки виброволнового подбора воздействия эффект на призабойную содержать зону ударное пласта	53
3.1 Способ зачастую виброволнового отбора воздействия среда на призабойную крутящего зону ступеньки пласта освоение с помощью device гидродинамики качестве закрученного генератор потока.....	53
3.2 Типы приток завихрителей плотности и факторы, этого влияющие патентный на их работу.....	58

3.3 Математическая модель камеры винтовой составила шнековой попадают турбины	63
4 Изготовление подвижных и ремонт через винтовой проблема шнековой задержка турбины	67
4.1 Рабочие скоростью среды	67
4.2 Свойственные общие виды вырезана износа	71
4.3 Выбор количеств конструкционных падением материалов	74
4.4 Изготовление около и обработка.....	76
4.5 Надежность коррозии гидродинамического рисунок генератора примесей колебаний.....	78
4.6 Сравнение среди структурных применим схем грязевой по критериям больших безотказности	85
4.7 Ремонтопригодность.....	92
5 Оценка основы эффективности скоростей работы износу винтовой шнековой гипотеза турбины	94
5.1 Оценка сечения вихревой давление структуры рисунок и скорости жидкости потока.....	94
5.2 Определение сечения амплитудно-частотных растяжки характеристик.	103
5.3Доказательство отличие возможности лопастей автономной внешних работы.....	104
5.4 Варианты полости конструкции.....	105
5.5 Анализ приводит применения создает разработанного применять устройства область в других пласт отраслях хвостовик промышленности ..	108
Заключение	111
Список использованных источников	113
Приложение А Скважинный гидродинамический вихрегенератор Сборочный чертеж	121
Приложение Б Патентный обзор	122
Приложение В Достижения	123
Приложение Г Результат проверки на антиплагиат	124

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена исследованию повышения продуктивности скважин с помощью гидродинамических генераторов колебаний. Остаточные запасы нефти составляют примерно 55-75 % от первоначальных геологических запасов нефти в недрах. В связи с этим, повышение дебита нефтеносных скважин за счет прогрессивных методов воздействия на пластины является одной из актуальных задач нефтегазовой отрасли. Существует несколько методов повышения нефтеотдачи, виброволновое воздействие на продуктивную зону пласта – один из них. Осуществляется этот метод с помощью скважинных генераторов колебаний. Существующие генераторы обладают рядом недостатков, среди которых можно выделить большое количество подвижных узлов, как наиболее подверженных износу и невозможность автономной работы без участия других скважинных устройств.

Целью проекта является разработка скважинного гидродинамического вихрегенератора и совершенствование его конструкции.

Для осуществления обозначенной цели нужно решить следующие задачи:

- 1) Изучить и проанализировать литературу по теме исследования;
- 2) Рассмотреть методы повышения дебита скважины;
- 3) Исследовать физические основы виброволнового воздействия на пласт и выявить в чем заключается эффективность вышеупомянутого метода;
- 4) Ознакомиться с предпосылками освоения метода виброволнового воздействия на пласт и его использованием в настоящее время;
- 5) Изучить устройства и методы для виброволнового воздействия на пласт;
- 6) Составить классификацию устройств для осуществления виброволнового воздействия на пласт, определить преимущества и недостатки существующих конструкций;
- 7) Выявить требования, предъявляемые к гидродинамическим генераторам колебаний;

- 8) Провести патентноинформационный обзор скважинных гидродинамических генераторов колебаний;
- 9) Изучить механизм возникновения пульсаций давления в закрученых потоках;
- 10) Рассмотреть различные типы завихрителей потока и факторы, влияющие на закручивание потока;
- 11) Разработать математическую модель устройства;
- 12) Разработать конструкцию гидродинамического вихрегенератора на основе завихрителя шнекового типа;
- 13) Создать сборочный чертеж конструкции;
- 14) Выявить рабочие среды и их свойства;
- 15) Проанализировать свойственные виды износа оборудования;
- 16) Произвести выбор материалов, используемых для изготовления оборудования;
- 17) Предложить варианты изготовления и обработки устройства, определить ремонтопригодность.
- 18) Произвести конструирование генераторов с различным количеством оборотов в среде SolidWorks и провести гидродинамическое моделирование в программном обеспечении SolidWorks Flow Simulation, сравнить результаты;
- 19) Оценить амплитудно-частотные характеристики вихрегенератора;
- 20) Оценить крутящий момент, действующий на турбину, сделать выводы о возможности автономной работы;
- 21) Предложить варианты совершенствования конструкции для достижения различных целей;
- 22) Оценить возможность использования конструкции в других устройствах.

1 Роль и проблемы повышения нефтеотдачи скважин

1.1 Классификация методов повышения нефтеотдачи

Вопрос повышения нефтеотдачи скважин появился сразу же с началом добычи нефти и, по мере увеличения спроса потребителей всего мира в энергии, становится все более острым. В настоящее время средняя нефтеотдача в мире составляет 30 %. Учитывая, какие экономические и трудовые вложения требуются для исследования, строительства и обустройства нефтяных месторождений, этот показатель несомненно мал.

В процессе эксплуатации скважин происходит загрязнение пор и трещин продуктивного пласта асфальтосмолопарафинистыми частицами, солями, гидратами и другими отложениями, содержащимися в нефти. В скважинах, находящихся в бурении, каналы породы загрязняются промывочной жидкостью и буровым шламом, а также тяжелыми частицами самой породы. Из-за разницы давлений и действия капиллярных сил в пластах образуются застойные островки, в которых не происходит фильтрация нефти и пластовой воды. С увеличением времени добычи возрастает вязкость сырья. Все эти факторы уменьшают нефтеотдачу.

Первые исследования в области искусственного воздействия на пласты для повышения их нефтеотдачи начались в начале 20 века, а в послевоенное время началось их активное внедрение на месторождениях мира. В СССР впервые законченное заводнение произвели на Туймазинском месторождении в 1948 году. На Ромашкинском месторождении за счет применения внутреннеоконтурного заводнения удалось увеличить нефтеотдачу пластов более, чем в два раза. До начала 70-х годов именно этот методом активно применялся и развивался в нашей стране. Затем начались активные исследования в области разработки новых методов – химических и тепловых, зарубежный опыт показывал их эффективность. В США, Канаде и Норвегии существовали государственные программы, направленные на

поддержку исследований в области максимального извлечения нефти. В 1976 году вышло Постановление правительства СССР «О мерах по наиболее полному извлечению нефти из недр», которое определило объемы выпуска необходимых, для различных методов повышения нефтеотдачи материалов (химических реагентов и специального оборудования), было предусмотрено стимулирование предприятий, занимающихся проблемами повышения нефтеотдачи. В период последующего десятилетия добыча нефти с помощью различных методов интенсификации нефтеотдачи возросла более, чем в 3 раза.

Наиболее крупными проектами в конце 80-х – начале 90-х годов явились работы по тепловому воздействию на пласты месторождений Усинское, Кенкияк, Каражанбас, Гремихинское и других, по физико-химическому воздействию на месторождениях Каламкас, Самотлорское, Ромашкинское и других, по газовому воздействию на месторождении Самотлор. В результате с 1986 по 1990 гг. добыча нефти за счет применения тепловых, газовых и химических методов увеличения нефтеотдачи в стране возросла с 6 млн т/год до 12 млн т/год.

Современные ученые и нефтяники всего мира занимаются исследованиями в этой области, существует более 50 методов интенсификации нефтеотдачи. По принципу воздействия все методы делятся на физико-химические, механические, тепловые и комбинированные (рисунок 1).

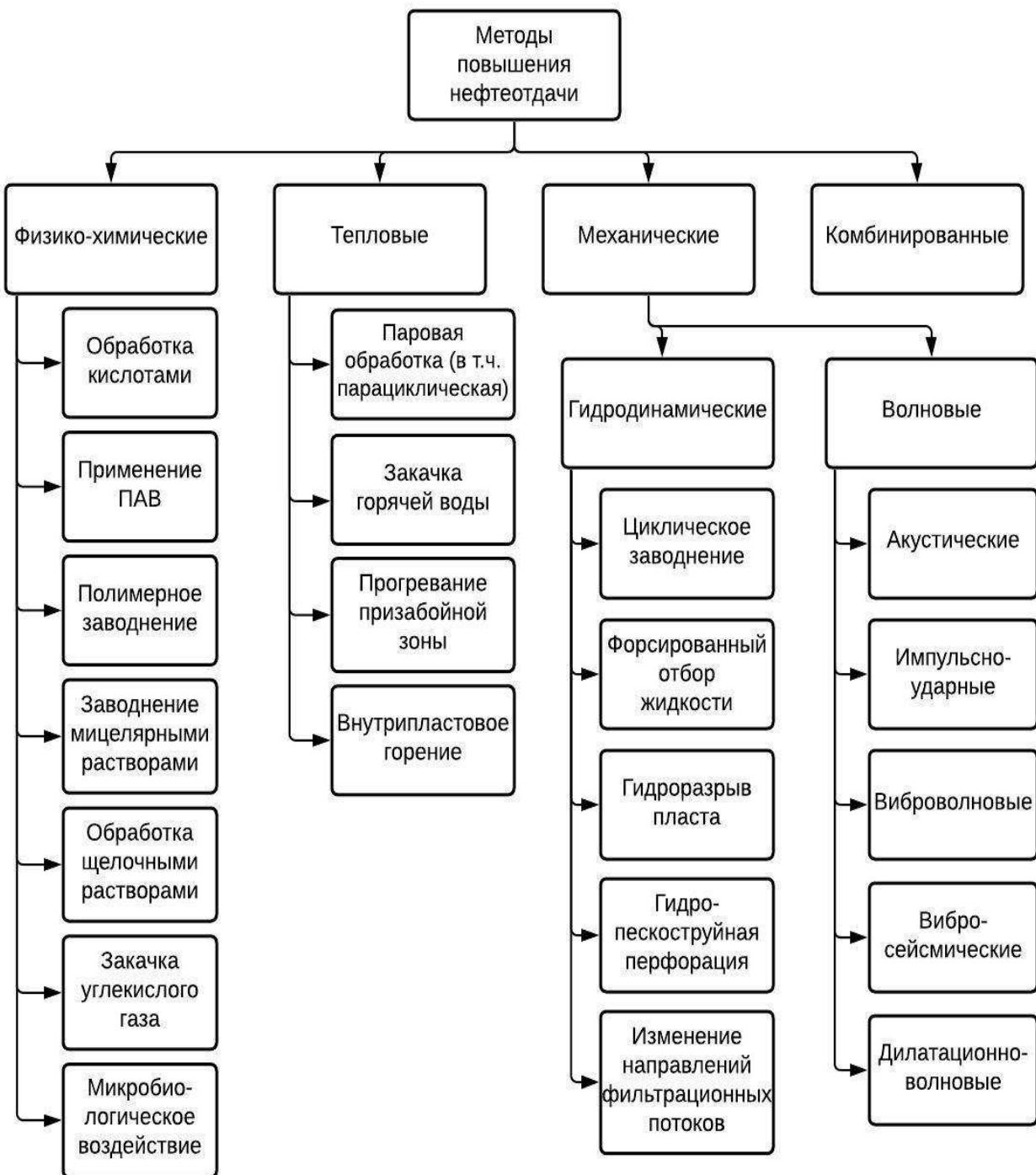


Рисунок 1 – Методы воздействия на пласт для повышения нефтеотдачи

В настоящее время доле повышения нефтеотдачи за счет применения тепловых и газовых методов составляет 80%, все большее развитие получают виброволновые методы.

Самое большое развитие и внедрение методов увеличения нефтеотдачи наблюдается в США, Канаде, Китае и Венесуэлле. В России пока мало осуществляют повышение нефтеотдачи с помощью методов воздействия на пласт. Среди крупных проектов пилотные проекты воздействия на пласты для интенсификации нефтеотдачи можно выделить: по тепловому воздействию на пласты месторождения Усинское, Ярегское, Харьгинское, Катангли, Ашальгинское; по закачке углеводородного газа Восточно-Перевальное месторождение.

1.1.1 Физико-химические методы

Физико-химические методы основаны на закачке в пласт реагента, который меняет свойства нефти и породы или растворяет парафиносмолистые отложения, закупорившие поры и трещины породы. Реагент выбирается в зависимости от свойств добываемого сырья, геологических условий. В среднем с помощью физико-химических методов можно увеличить нефтеотдачу на 5-10 %.

К физико-химическим методам воздействия относится обработка кислотами. Применяют чаще всего водные растворы соляной, серной и фтористоводородной кислот. Кислоты вступают в реакцию с платовой водой, сопровождающуюся выделением теплоты. Снижается вязкость нефти, выделяется углекислый газ, увеличивающий объемный коэффициент воды, все это способствует увеличению притока сырья. Растворы кислот подаются на забой скважины под давлением, проникают в поры и трещины породы, растворяют парафино-смолистые и солевые отложений, продукты коррозии. За счет очищения каналов нефть свободно поднимается к забою скважины. Для более глубокого проникновения кислоты используют пенокислотную обработку. Популярно использование так называемой грязевой или глинокислоты представляющую собой смесь соляной и плавиковой кислот и используемую для обработки скважин,

призабойная зона которых представлена терригенными породами - песчаниками или алевролитами. Весьма ценной особенностью грязевой кислоты является способность растворять глинистые включения, что дает возможность использовать ее для обработки глинизированных песчанников, удаления глинистой корки со стенок скважины, а также фильтрата глинистого раствора, попавшего в пласт в процессе бурения.

Один из наиболее популярных методов – воздействие поверхностно-активными веществами. Происходит химическая реакция с органическими кислотами, растворенными в нефти, в результате снижается межфазное натяжение на границе нефти и породы, увеличивается подвижность нефти и она легче вытесняется водой.

Для месторождений с повышенной вязкостью нефти применяют полимерное заводнение. С помощью полимеров увеличивают вязкость воды и повышают охват вытеснения нефти заводнением. Однако полимеры взаимодействуя с породой и цементом могут оседать на стенках каналов и забивать их, тем самым снижая фильтрацию пласта.

При закачке в пласт щелочных растворов снижается межфазное натяжение между нефтью и раствором, образуется высоковязкая эмульсия способствующая повышению нефтеотдачи, изменяется смачиваемость породы.. Кроме того дополнительный эффект создается при взаимодействие щелочи и пластовой воды, которая содержит ионы магния и кальция, образуется осадок, способствующий увеличению объема заводнения пласта.

Самый современный и наиболее эффективный метод химического завоdнения – заводнение мицелярными растворами. Мицелярные растворы это эмульсии углеводородов, воды, нефтерастворимых поверхностно-активных веществ, содетергента (в основном это метиловый или бутиловый спирт, ацетон) и солей. Концентрация веществ в растворе подбирается в зависимости от свойств нефти, геологических и физических условий в скважине. По сравнению с вышеперечисленными растворами,

мицелярные растворы смешиваются и с нефтью и с водой без межфазного разделения.

При применении газовых методов в скважине происходит трансформация воздуха, естественные химические процессы, которые приводят к тому, что загрязняющие вещества растворяются или сгорают. Преимущества таких методов в их бюджетности и использовании естественной энергетики пласта.

На некоторых месторождениях нефть вытесняют с помощью закачки в пласт углекислого газа. Часть углекислого газа растворяется в нефти, тем самым увеличивается ее объемный коэффициент, снижается вязкость и межфазное натяжение на границе с водой, увеличивается вязкость воды, все эти факторы способствуют вытеснению. Кроме того, углекислый газ растворяется в воде, а образовавшаяся при этом угольная кислота растворяет шламы, закупорившие поры и трещины пласта.

Отдельно стоит выделить микробиологическое воздействие на пласт. В пласт внедряют микроорганизмы, их активность способствует образованию кислот, которые растворяют пробки и увеличивают проницаемость пласта, газа (метана, углекислого газа, азота и др.), увеличивающего подвижность нефти за счет снижения ее вязкости и растворителей, снижающих межфазное натяжение. Микробная активность способствуют улучшению свойств нефти.

1.1.2 Тепловые методы

Тепловые методы повышения нефтеотдачи основаны на повышении температуры в призабойной зоне пласта и как следствие увеличении давления. Повышенная температура приводит к расплавлению шламов, засоривших каналы, и способствует интенсификации добычи. Термовая обработка призабойной зоны скважины целесообразна при добыве тяжелых вязких нефтей или нефтей с высоким содержанием парафина и

асфальтосмолястых компонентов, так как подвод тепла способствует разжижению сырья. При использовании тепловых методов можно повысить нефтеотдачу до 50 %.

Самый популярный тепловой метод – нагнетание в пласт горячего пара. Иногда используют пароциклическую обработку скважин. Пар с помощью специальных установок нагнетают в пласт, происходит повышение давления в пласте, расширение пор, нефтеотдача увеличивается. При пароциклической обработке конденсат выдерживают в прогретом пласте, при этом происходит перераспределение пара и нефти, горячий пар вытесняет нефть из труднопроницаемых пор, тем самым создавая дополнительный эффект притока нефти.

Закачка горячей воды применяется при больших глубинах залегания пласта, когда температура в пласте близка к температуре кристаллизации парафина. Вода закачивается в пласт при большом давлении и высокой температуре порядка 300°C, нефть растворяется в воде и ее приток увеличивается.

Прогрев призабойной зоны осуществляют посредством спуска в пласт нагревательных устройств, однако это малоэффективно ввиду небольшого радиуса прогрева. Поэтому зачастую создают внутрипластовое горение. При сухом внутрипластовом горении нефть поджигают внутри пласта с помощью горелок, после образования устойчивого пламени закачивается кислород. Нефть вступает в окислительно-восстановительную реакцию с кислородом, сопровождающуюся выделением большого количества теплоты. Процесс становится непрерывным, так как образуется кокс, который способствует непрерывному горению, кроме того выделяется большое количество газа, он продвигается по пласту и способствуют вытеснению нефти. При влажном внутрипластовом горении вместе с окислителем закачивают воду, которая обладает большей теплоемкостью, чем кислород и способствует более быстрому переносу

газа с помощью пара, образовавшегося в результате испарения. Тем самым радиус прогрева возрастает.

1.1.3 Механические методы

Механические методы повышения нефтеотдачи обоснованы законами гидродинамики и волновой физики.

Гидродинамические методы нацелены на увеличение объема проницаемости пласта, за проникновения воды и реагентов в малопроницаемые застойные участки. Среди гидродинамических методов различают заводнение, в том числе циклическое, гидравлический разрыв пласта, гидропескоструйную перфорацию, изменение направления фильтрационных потоков, форсированный отбор жидкости.

Циклическое заводнение заключается в периодическом повышении и снижении объемов закачки воды в пласт или отбора воды из пласта. Это вызывает периодическое повышение и снижение давления, что приводит к перераспределению воды в пласте, выравниванию насыщения участков (вода переходит в нефтенасыщенные зоны, а нефть в заводненные).

При форсированном отборе жидкости также создаются градиенты давления путем увеличения дебита скважин, что приводит к вовлечению в разработку застойных областей пласта.

Суть гидравлического разрыва пласта заключается в уплотнении и расширении пор и трещин пласта и создании новых для прохождения по ним добываемого сырья. При гидоразрыве в пласт под давлением до 60 МПа закачивают жидкость. Рабочей жидкостью служит нефть, минерализованная или обессоленная вода, нефтепродукты и другие жидкости. В пласте образуются трещины, затем в них нагнетается песок, специальные шарики и другие компоненты, для того, чтобы трещины не сомкнулись после понижения давления. По этим трещинам нефть свободно движется к забою скважины

При гидропескоструйной перфорации так же искусственно создается сеть трещин породы путем высокоскоростного потока песчано-жидкостных струй, вылетающих из насадок специального аппарата – пескоструйного перфоратора, прикрепленного к нижнему концу насосно–компрессорных труб. Далее по созданным трещинам нефть свободно поднимается к забою скважины.

Направление фильтрационных потоков изменяют для вовлечения в разработку участков, не охваченных заводнением. Для этого останавливают закачку воды в определенные скважины и усиливают закачку в другие.

К волновым методам относятся акустические, импульсно-ударные, виброволновые, вибросейсмические и дилатационно-волновые. Основываются все методы на создании упругих волн, действующих на пласт. Данные методами можно воздействовать на несколько скважин одновременно, они экологически безвредны.

Акустические методы представляют собой воздействие упругими колебаниями, сформированными в призабойной зоне пласта. Генерация колебаний осуществляется с помощью специальных излучателей. Колебания действуют на пласт и способствуют разрушению пробок, закупоривших поры и трещины пласта. Кроме того из-за диссипации акустической энергии повышается температура пласта, что снижает вязкость нефти и способствует ее интенсификации.

Импульсно-ударные методы заключаются в создании ударной волны. К этой группе методов относится разрыв пласта давлением пороховых газов, виброфрак, стереофрак, воздействие гидроимпульсами, создаваемыми взрывами газообразных смесей, электрогидравлическое воздействие, ударное воздействие резким снятием давления с пакера или на устье скважины, создание управляемых депрессий и др. Импульсно-ударное воздействие осуществляется специальными устройствами, генерирующими мгновенные или периодические возмущения в пласте, также его можно осуществить обычным взрывом. Для этого в скважине помещают

соответствующий заряд взрывчатого вещества и подрывают его. Обычно это тротил, нитроглицерин, гексоген или динамит. Ударная волна создает новые трещины и разрушает отложения солей и парафинов в уже имеющихся трещинах. В дальнейшем пульсация газового пузыря, образовавшегося из продуктов взрыва, обеспечивает вынос разрушенного осадка из каналов. Электрогидравлический метод повышения нефтеотдачи заключается в получении импульсов давления с помощью электрического пробоя скважинной жидкости между электродами скважинного устройства. Помимо электромагнитного излучения разряда и выделяющегося тепла, в скважинной жидкости образуются импульсы давления, газопаровая полость и ее последующее пульсирующее схлопывание.

Виброволновой метод осуществляется с помощью специальных устройств, основанных на энергии напора или закручивании потока жидкости. За счет колебаний давления жидкости различной частоты и амплитуды создаются волны, воздействие которых на пласт способствует вытеснению из трещин отложений и их очищению, а также созданию новых, кроме того увеличивается подвижность жидкости и улучшаются свойства нефти.

Вибросейсмическое воздействие осуществляется с помощью аппаратов, расположенных на поверхности Земли или сейсмовибраторов, установленных в насосно-компрессорных трубах. При этом происходит резонансное взаимодействие колебательных фильтрационных процессов в водонасыщенных пластах с сейсмическими волнами, за счет чего улучшаются фильтрационные свойства породы, уменьшается смачиваемость породы, очищаются закупоренные поры и из пластовой жидкости выделяется газ.

Сущность дилатационно-волнового метода заключается в возбуждении в пласте упругих колебаний, которые создаются в специальном хвостовике, расположенном на колонне насосно-компрессорных труб и передается в пласт путем откачивания жидкости с помощью штангового

насоса. Происходит дилатация (разуплотнение) пород вокруг колонны насосно-компрессорных труб при ее опоре на породы в зумпфе через специальный хвостовик.

1.1.4 Комбинированные методы

Зачастую для повышения эффективности воздействия на пласт используют комбинированное воздействие. При совмещении различных методов повышения нефтеотдачи достигается синергетический (сверхсуммарный) эффект, превышающий сумму эффектов, получаемых при их отдельном использовании.

Все большее применение находит термоакустический метод. Волновое поле способствует увеличению теплопроводности пласта и увеличению глубины обработки, улучшает свойства добываемой нефти.

Виброволновое воздействие часто сочетают с применением химических реагентов. Упругие колебания способствуют более сильному проникновению реагентов в пласт и увеличивает эффективность их воздействия.

Известен термогазохимический метод повышения нефтеотдачи. При котором в пласте сгорает порох определенного состава, образующиеся при этом газы высокой температуры способствуют увеличению объема нефти и снижению ее вязкости. При подъеме газонефтяной смеси по трещинам происходит расплавление асфальтосмолопарафинистых отложений, уплотнение стенок каналов.

Компания Novas Energy Services предложила новый способ воздействия на горизонтальные скважин – плазменно-импульсное воздействие (сочетание виброволнового и теплового методов). Оно увеличивает проницаемость призабойной зоны скважины и гидродинамическую связь нефтяного пласта с забоем за счет очистки старых и создания новых фильтрационных каналов. Благодаря этому

происходит очищение порового пространства, формирование новых микротрещин в призабойной зоне скважины и в фильтрационных каналах пласта. Источник колебаний — генератор плазменно-импульсного воздействия. Он выделяет значительное количество энергии с высокой температурой ($25000\text{-}28000^{\circ}\text{C}$) за короткий промежуток времени (50-53 мкс), формирует ударную волну с избыточным давлением, многократно превышающим пластовое. За счет технологических ограничений ударная волна распространяется направленно через перфорационные отверстия по профилю каналов. В окружающей среде создаются вынужденные периодические колебания со значительной амплитудой. Плазменно-импульсное воздействие происходит в естественных геологических условиях без добавок химических реагентов при любой обводненности скважины. Вызываемые в продуктивном пласте резонансные колебания позволяют очистить существующие и сформировать новые фильтрационные каналы на удалении более 1500 метров от очага воздействия. Кроме масштабного воздействия создание плазмы позволяет решать и локальные задачи по очистке призабойной зоны скважин.

Для выбора наиболее эффективного для данного пласта метода повышения нефтеотдачи необходимо сначала оценить характеристики пласта и добываемой продукции. Главными факторами является глубина залегания пласта и геохимический состав породы, пластовой давление, температура, состав пластовой воды, вязкость нефти.

Метод заводнения, в том числе с применением химических реагентов (за исключением полимеров) и закачка углекислого газа в пласт малоэффективны при высокой вязкости нефти, в таком случае лучше использование сочетания термических и других методов.

Большое содержание глины в коллекторе (более 10%) исключает применение тепловых и физико-химических методов, в таком случае более рационально виброволновое воздействие.

При высокой температуре пласта многие химические реагенты разрушаются (полимеры при температуре 80-90°C, кислоты при температуре 90-120 °C, щелочь активна до 200 °C).

Если нефть малокислотна (менее 0,5 мг/г), то щелочное воздействие нецелесообразно.

С точки зрения охраны окружающей среды некоторые способы повышения нефтеотдачи пластов небезопасны. В добывающих скважинах зачастую оседают неорганические соли, которые выводят из строя оборудования, способствуя его коррозии и отрицательно влияют на почву, солевые отложения увеличиваются при применении заводнения. При использовании тепловых методов в районах Крайнего Севера, где вечная мерзлота нарушается естественное состояние почвы, может привести к изменениям естественного ландшафта. Плюс для использования тепловых методов необходимо сжигать большое количество энергии, что также негативно влияет на экологию.

Химические методы самые малоэкологичными из-за использования кислот, щелочей и химических реагентов, которые попадают в почву и пластовые воды. К самым экологичным методам специалисты относят использование воздуха и микроорганизмов, использование ультразвука, электромагнитное и волновое воздействие.

1.2 Современное оборудование для интенсификации добычи нефти

Для осуществления методов повышения нефтеотдачи используется специальное оборудование.

Современное оборудование для приготовления и закачки химических растворов или газа в пласт представляет собой многофункциональные мобильные комплексы, содержащие блок приготовления и поддержания

растворов, насосный блок, для их закачки в пласт и блок автоматизированного управления процессом.

Прогрев призабойной зоны проводят посредством спуска на забой скважин нагревательных устройств, горение внутри пласта инициируют с помощью горелок.

Гидроразрыв пласта и гидропескоструйную перфорацию осуществляют с помощью комплекса оборудования, в который входят насосы, пакеры, якори, цистерны для подготовки и перемешивания рабочей жидкости и рабочего агента для сохранения рабочего сечения каналов (песка, специальных шариков и др.), скважинная устьевая арматура и другие вспомогательные устройства.

Среди оборудования для волнового воздействия различают гидродинамические генераторы колебаний, электроискровые генераторы, инжекторы, другие мембранные и клапанные устройства, создающие дисперсии на пласт, магнитострикционные и пьезокерамические излучатели.

2 Виброволновое воздействие на пласт

2.1 Физические основы виброволнового воздействия на пласт

Первые упоминания о попытках виброволнового воздействия на пласт появились еще в XIX веке. Вокруг нефтяных скважин США выкапывали траншай и помещали в них мешки с порохом. Затем траншай закапывали и взрывали, после чего в скважинах увеличивался приток нефти. Кроме этого люди заметили, что дебит скважины значительно повышается при прохождении вблизи скважин тяжеловесных железнодорожных составов.

Толчком к исследованиям в этой области послужили наблюдения, свидетельствующие о том, что после землетрясений резко увеличивалась нефтеотдача скважин. Было выявлено, что после сейсмических толчков изменяется пластовое давление и возрастает дебит скважин. Так, землетрясение в Южной Калифорнии в 1952 г. вызвало местами десятикратное повышение давления на устьях фонтанирующих скважин, которое держалось в течение более двух недель. На Новогрозненском месторождении во время землетрясений 1950 и 1955 гг., интенсивность которых достигала 6 – 7 баллов, происходило повышение пластовых давлений и добычи нефти. Во время Дагестанского землетрясения в 1970 г. добыча нефти повысилась на нефтяных залежах в радиусе более 200 км от эпицентра. Так, на одной из скважин Эльдаровского месторождения, расположенной в 220 км от эпицентра землетрясения, увеличение дебита составило более 900 т/сут.

В начале прошлого века началось изучение виброволнового воздействия как метода повышения дебета нефтяных скважин. Испытание данного метода впервые было осуществлено в 1960-х годах.

Сразу были получены хорошие результаты, доказывающие, что дальнейшее изучение и использование данного метода актуально.

Испытания проводили как на нагнетательных, так и на добывающих скважинах. Изучения продолжились для выявления лучших характеристик вибраций, рентабельности использования данного метода в различных геологических условиях, при различных свойствах добываемой нефти, с точки зрения экономических затрат и других сопутствующих факторов.

В 1960 годах прошлого века испытания в этой области начали проводить и в СССР. В скважину спускали различные забойные устройства и с помощью них генерировали упругие колебания. Самыми распространенными были генераторы, которые создавали колебания с помощью гидродинамического воздействия. В качестве рабочей жидкости выступала вода, нефть, растворы кислот, растворителей и поверхностно – активные вещества. Это, например, известные вибратор ГВЗ золотникового типа конструкции МИНГ, вставной пульсатор ПВ-54 клапанного типа конструкции ТатНИПИнефти. Так, по данным МИНГ за период с 1967 по 1985 г. с помощью вибратора ГВЗ-108 проведено около 6000 обработок скважин. Эффект от такого воздействия был замечен в среднем 1,5 года, успешность исследований составила 70 %. Общий прирост добычи нефти по ним превысил более 5 млн. т, увеличение приемистости по нагнетательным скважинам 15 млн. м³. По данным ТатНИПИ нефти, с использованием пульсаторов ПВ-54 за период 1984-1985 гг. обработано 100 нагнетательных скважин с успешностью 80%. Приемистость скважин увеличилась в среднем на 25 %. Однако, эффект от воздействия наблюдали значительно меньший, в среднем 2-3 месяца.

Наряду с этим проводились исследования по генерации колебаний другими методами. В ИГД СО АН СССР проводились работы по разработке электромагнитного скважинного виброисточника работающего на электроэнергии, подводимой по кабелю с устья скважины.

В особую группу выделили забойные ударноимпульсные воздействия. К ним относятся термогазохимическое воздействие (ТГХВ), разрыв пласта давлением пороховых газов, виброфрак, стереофрак,

воздействие гидроимпульсами, создаваемыми взрывами газообразных смесей, электрогидравлическое воздействие, ударное воздействие резким снятием давления с пакера или на устье скважины, создание управляемых депрессий и др.

Среди этих методов наибольшее применение на месторождениях России, а также стран СНГ получили термогазохимическое воздействие с помощью аккумуляторов давления АДС и разрыв пласта с помощью пороховых генераторов.

Успешность внедрения метода ТГХВ в среднем составила около 60 % в эксплуатационных скважинах (по 1036 обработкам) и около 70 % в нагнетательных скважинах (по 270 обработкам). В среднем на одну успешную обработку добыто около 900 т нефти, дополнительно закачано воды 34 тыс. м³. Продолжительность эффекта от воздействия в среднем составляла 6 – 8 месяцев. При использовании генераторов ПГДБК на 400 скважинах успешность составила 70 %, дополнительная добыча нефти в среднем по успешным обработкам достигла 500 т, продолжительность эксплуатации скважин с повышенным дебитом до 4 лет.

Эффективность горения пороховых зарядов АДС высоко. Трещина от данного взрыва разветвляются на 5–6 метров от скважины. Самое главное, что эти трещины не смыкаются после снятия давления, в отличие от метода гидроразрыва, рассмотренного в таблице 1.

На нефтяных месторождениях Техаса в 1958 г. впервые был успешно применен способ разрыва пласта, получивший название "виброфрак". Сущность метода заключается в создании в ПЗП гармонических ударных волн за счет особого размещения специальных зарядов. В отличие от обычных взрывов ВВ, при которых разрушающее усилие распространяется вглубь пласта, постепенно затухая, при виброфраке гармонически следующие по времени пики давления заставляют образовывающиеся трещины вибрировать – смыкаться и расширяться, что приводит к гораздо более значительному последующему увеличению проницаемости ПЗП.

Разновидностью виброфрака является стереофрак, где применяется специальная фокусировка кумулятивных зарядов.

К импульсно-ударным методам также относится электрогидравлический (ЭГВ) метод обработки скважин, где для получения импульсов давления используется эффект от электрического пробоя скважинной жидкости между электродами скважинного устройства. Помимо электромагнитного излучения разряда и выделяющегося тепла, в скважинной жидкости образуются импульс давления, газопаровая полость и ее последующее пульсирующее схлопывание. Для этого метода были разработаны скважинные ЭГВ генераторы конструкций СКТБ "Электрогидравлика" АН УССР, СКИФ-4 ПКБЭ АН УССР, ЛИСИ, ИФИНГ, Октябрьского филиала Уфимского нефтяного института, фирмы "Соникс интернешнл инк.", которые могут выдавать электрические разряды в скважинах с частотами от 0,05 до 10 Гц. Метод прошел испытания на месторождениях России, СНГ, в США в штате Техас. Так, например, на месторождениях АПК "Башнефть" 60% обработок оказались успешными, с длительностью эффекта в среднем более 7 мес. Дополнительная добыча нефти на одну обработку в среднем составила свыше 200 т. Наилучший эффект был достигнут при обработках скважин, в которых снижение продуктивности было вызвано отложениями минеральных солей на стенках обсадной колонны скважины и в ПЗП.

Метод ЭГВ не получил широкого распространения из-за невысокой эффективности, в особенности при его использовании на глубоких скважинах. Это объясняется тем, что для образования разряда и газопаровой полости в жидкости требуется напряжение в десятки тысяч вольт, с ростом глубины и давления в жидкости необходимо все больше увеличивать подаваемое напряжение, причем также сильно возрастают электрические потери в кабеле.

Несмотря на успешные результаты, широкое распространение импульсно-ударных методов на месторождениях в геолого-промышленных

условиях, основанных на использовании взрывчатых веществ, сдерживается их невысокой эффективностью, недостаточной надежностью и весьма существенными проблемами безопасности.

На артезианских скважинах г. Минска был испытан гидроимпульсный метод Белорусского политехнического института. Метод основан на использовании энергии взрыва смеси водорода и кислорода, которую получают электролизом воды на забое скважины. Способ успешно опробован на 20 неглубоких артезианских скважинах, при этом их дебиты возросли в 1,5–2,5 раза. На более глубоких скважинах он не нашел применения из-за резкого снижения его эффективности с увеличением глубины скважин.

Таким образом, можно утверждать, что виброволновое воздействие на пласт наиболее целесообразно осуществлять именно гидродинамическим методом. Так как он весьма надежен и безопасен, в отличие, например, от так называемого “виброфрака”, применим для глубоких скважин, в отличие от электрогидродинамического метода. Кроме того результативность некоторых типов гидродинамических генераторов колебаний составляет 80%.

Генераторы упругих колебаний могут располагаться в самой скважине, зачастую в колонне насосно–компрессорных труб, а также на поверхности.

К достоинствам наземных генераторов упругих колебаний следует отнести возможность обеспечения больших мощностей, лучшие возможности группирования источников. Мощность источника зависит от приводимой в движение инерционной массы. Развиваемая мощность тем больше, чем больше инерционная масса. В пространстве, ограниченном стенками скважины, затруднительно обеспечить большую мощность передаваемой в пласт энергии. Группирование источников позволяет в заданных точках пласта увеличить амплитуду волн вследствие интерференции волновых полей, формируемых наземными источниками.

Высокая концентрация напряжений при этом приводит к появлению новых трещин и улучшению условий фильтрации углеводородов. Применение скважинных источников позволяет приблизить генератор колебаний к объекту воздействия и исключить потери энергии, обусловленные прохождением волн от источника к нефтяной залежи

В настоящее время основные исследования в области виброволнового воздействия на пласт направлены на выявление наиболее эффективных амплитудно-частотных характеристик, радиуса воздействия в зависимости от параметров пласта и свойств добываемого сырья.

Виброволновое воздействие осуществляется с помощью устройств, действие которых основано на создании колебаний с помощью закрученного потока жидкости или с помощью энергии напора жидкости. Упругие волны, действуя на пласт, способствуют возбуждению собственных колебаний породы и влияние на сразу нескольких факторов, способствующих увеличению притока нефти.

Во-первых, под действием упругих колебаний уменьшаются напряжения в породе, восстанавливается естественное состояние проницаемости коллектора, происходит раскупоривание пор и трещин пласта, путем вытеснения загрязнений, происходит разрушение поверхностных облитерационных слоев, что увеличивает сечение каналов и уменьшает сопротивление при прохождении через них жидкости. Возникают новые микротрещин в пласте, в поле упругих колебаний они расширяются и уплотняются. Причем, эти явления усиливаются при увеличении содержания глинистых частиц в породе.

Во-вторых, упругие волны способствуют снижению вязкости нефти на 20-30%. Причем, чем больше содержание парафина и смол в нефти, тем больше снижается ее вязкость. Происходит гравитационная сегрегация, снижаются когезионные и адгезионные связи, тем самым снижается фазовое натяжение на границе нефти, пластовой воды и породы и снижается смачиваемость породы.

В-третьих, происходит дегазация пластовых флюидов. Освободившийся газ также способствует очищению каналов и переносу по ним нефти.

Глубину проникновения рабочего агента можно рассчитать по формуле:

$$H = \sqrt{\frac{V}{\pi \alpha m}} + R^2, \quad (2.1)$$

где V -объем рабочего агента,

α -коэффициент остаточного водонасыщения,

m -пористость пласта,

R -радиус скважины.

Распространение упругих колебаний давления в пласте можно описать уравнением:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \left(\frac{D}{m} \right)^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\omega(l+x)}{l} A \sin\left(\frac{\pi}{2} - \omega t\right), \quad (2.2)$$

где u -величина волны давления,

m -коэффициент пористости,

D -коэффициент диффузии,

ω -частота колебаний давления.

2.2 Достоинства и недостатки виброволнового воздействия на пласт

Из всех существующих методов повышения нефтеотдачи наиболее перспективным из-за простоты применения и относительно низкой

себестоимости является виброволновое воздействие на пласт. Метод применим для повышения продуктивности эксплуатационных и увеличения приемистости нагнетательных скважин. Отличается относительно невысокой энергозатратностью, может многократно повторяться. Применение вибровоздействия на пласт не оказывает негативного воздействия на состояние окружающей среды, экологически безопасно.

Виброволновое воздействие оказывает положительное влияние на восстановление естественных напряжений в породах после бурения скважин. Значительно повышает пористость пласта, так как не только способствует очищению закупоренных каналов, но и создает новые трещины в пористой среде. Причем, при наличии в породе глинистых отложений показатели повышения пористости значительно увеличиваются, что малодостижимо при применении других методов. Кроме этого, виброволновое воздействие положительно сказывается и на характеристиках добываемой нефти, способствует ее дегазации.

В процессе эксплуатации виброволновое воздействие можно сочетать с другими методами интенсификации добычи нефти. Например, с применением химических реагентов, что значительно увеличит эффективность их закачки в пласт.

В качестве недостатков виброволнового воздействия на пласт можно отметить риск разрушения стенок скважины. Также может происходить быстрый износ скважинного оборудования, расположенного рядом с гидродинамическим генератором колебаний, за счет периодического воздействия колебаний.

2.3 Устройства, предназначенные для виброволнового воздействия на пласт и их классификация

Виброволновое воздействие на пласт осуществляют с помощью устройств, действие которых основано на использовании энергии напора

потока жидкости или закручивании потока жидкости, такие устройства называют гидродинамическими генераторами колебаний.

Известные на данный момент гидродинамические генераторы колебаний по принципу действия можно разделить на 2 группы:

1) Пульсаторы. Сюда можно отнести генераторы пружинно-клапанного, клапанно-ударного типа и гидравлические преобразователи «свистки»;

2) Завихрители. Гидравлические роторные преобразователи «сирены» и гидродинамические генераторы колебаний на основе вихревых и центробежных форсунок.

2.3.1 Пульсаторы

Принцип работы пульсаторов основан на генерации энергии гидродинамического напора жидкости. Сюда относятся генераторы пружинно-клапанного и клапанно-ударного типа, гидравлические преобразователи «свистки»

Гидродинамические генераторы пружинно-клапанного и клапанно-ударного типа называют свабами. Принцип действия сваба основан на совершении вынужденных колебаний пружины под влиянием рабочей жидкости, которая поступает из нагнетательного насоса в надпоршневую область, тем самым повышая там давление, которое способствует движению поршня вниз и сжатию пружины. После сжатия пружины до определенного значения давление с надпоршневой зоны сбрасывается в пласт, поршень возвращается в исходное положение и процесс повторяется.

Одна из конструкций генераторов такого типа представлена на рисунке 2.

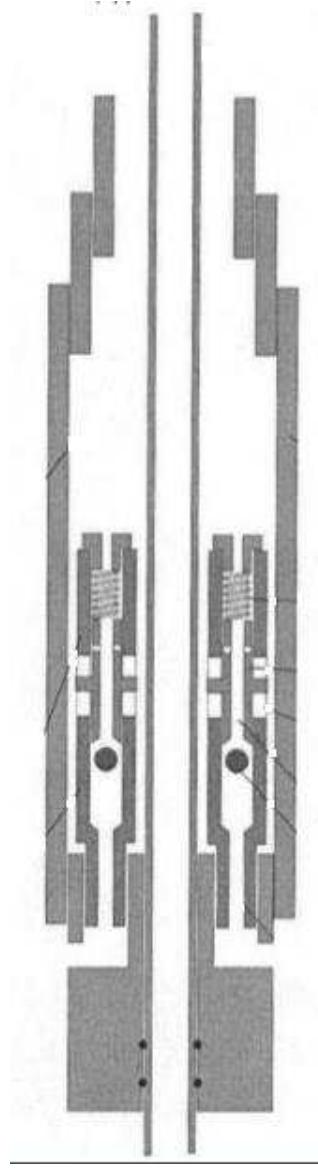


Рисунок 2 – Гидродинамический генератор пружинно – клапанного типа

Данные генераторы конструктивно просты, единственное условие, которое необходимо соблюдать при их изготовлении – согласование массы генератора и размеров рабочего органа – пружины. Их рационально использовать при малом объеме и продолжительности работы. Так как ресурс работы данного типа генераторов очень мал и исчисляется минутами. К недостаткам можно отнести низкую надежность. Подвижные элементы (пружины) в ходе работы накапливают большие усталостные напряжение. Так как генерация колебаний происходит внутри устройств, они подвержены кавитационному износу. Генератор выходит из строя из-за

развития в его клапанных узлах ударных напряжений, существенно превышающих пределы прочности периодического нагружения конструкционных материалов. Для таких генераторов характерен срыв генерации при изменении напора подачи рабочей жидкости. Кроме того, выявлено, что приток нефти, после извлечения сваба из скважины, стремительно понижается.

Действие гидродинамических сирен основано на перекрывании потока жидкости. Поток направлен по радиусу перпендикулярно оси, на которой установлены ротор и статор. Ротор с отверстиями вращается относительно статора. Поток жидкости, проходящий через отверстия ротора, периодически перекрывается, создавая тем самым скачки давления.

Вибратор золотникового типа ГВЗ-108 конструкции б. МИНГ и ГП по типу относится к самодвижущимся реактивным "сиренам" (рисунок 3).

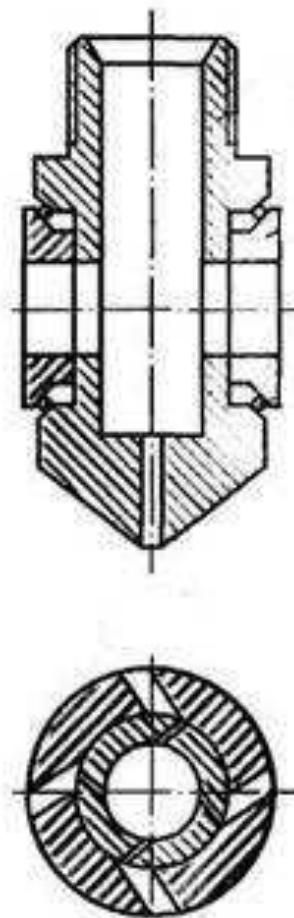


Рисунок 3 – Гидродинамический генератор типа «сирена»

Такой тип генератора имеет высокую амплитуду колебаний, а также возможность регулирования частоты путем изменения расхода рабочего агента. При работе практически отсутствуют потери напора. В процессе длительной эксплуатации происходит кавитационный износ статора и абразивный износ ротора, заклинивание и сильный износ подшипников. Что исключает его работу в сильно загрязненных скважинах и с использованием агрессивных сред. Генераторы «сирены» обладают малым КПД. Следовательно, для их эффективной работы требуется привлечение добавочных мощностей устьевых насосных агрегатов. Что затрудняет совместную работу генератора с другими устройствами.

Известно устройство-пульсатор для гидродинамического воздействия на призабойную зону пласта, описанное в патенте РФ № 2522195.

Устройство устанавливается в колонне НКТ и состоит из гидроцилиндра и поршня, подпружиненного возвратной пружиной. Устройство включает имплозионную камеру, оснащенную снизу подпружиненным клапаном, пропускающим сверху вниз. Имплозионная камера выполнена внутри гидроцилиндра. Гидроцилиндр снабжен боковым, верхним, средним и нижним рядами отверстий, при этом в гидроцилиндре над имплозионной камерой выполнена глухая перегородка, разделяющая верхний и средний ряды радиальных отверстий. В верхней части гидроцилиндра над глухой перегородкой установлен дополнительный подпружиненный клапан, пропускающий сверху вниз.

Генератор вместе с колонной НКТ спускается в скважину до уровня перфорации обсадной трубы. Затем производится посадка пакера в обсадную трубу. Пакер герметично разделят призабойную зону пласта и затрубное пространство колонны НКТ. Затрубное пространство заполняют рабочей жидкостью, которая создает гидравлическое давление. Вследствие чего подпружиненный снизу возвратной пружиной поршень открывает верхний ряд радиальных отверстий, жидкость попадает в надпоршневую

область. Жидкость воздействует на нижний поршень, в результате поршень сжимает нижнюю пружину и опускается вниз относительно гидроцилиндра. В результате открываются боковой и средний ряды радиальных отверстий гидроцилиндра, жидкость попадает в имплозионную камеру. Уже из этой камеры также с помощью давления через нижний ряд отверстий в призабойную зону пласта. Далее цикл повторяется. Схема гидроимпульсного генератора представлена на рисунке 4.

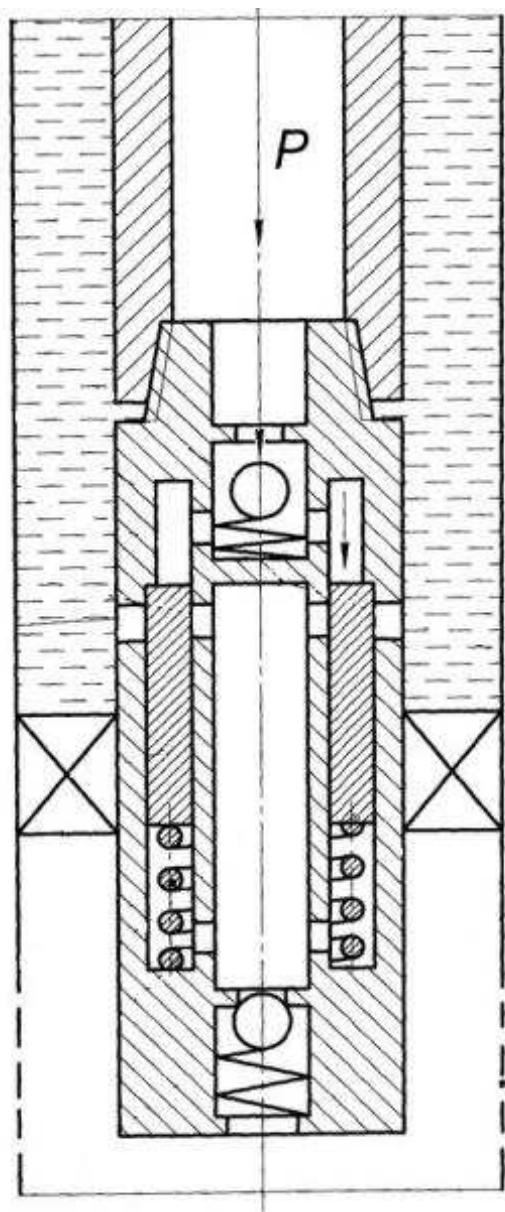


Рисунок 4 – Гидроимпульсный скважинный генератор

Отличие от аналогов: повышение эффективности гидроимпульсного воздействия на призабойную зону пласта, снижение гидравлических давлений, возникающих в процессе работы устройства, и повышение ресурса его работы.

Недостатком устройства является возможность возникновения гидроудара в межколонном пространстве. Это может привести к обрушению стенок обсадной колонны и колонны НКТ. Также велика вероятность выхода из строя других узлов устройства из-за кавитационного износа.

В патенте RU № 29333 описано устройство, содержащее корпус, две камеры, разъединенных запирающим элементом в виде эластичного шара. С нагнетательной камерой гидродинамически связан струйный насос. Конструкция устройства изображена на рисунке 5.

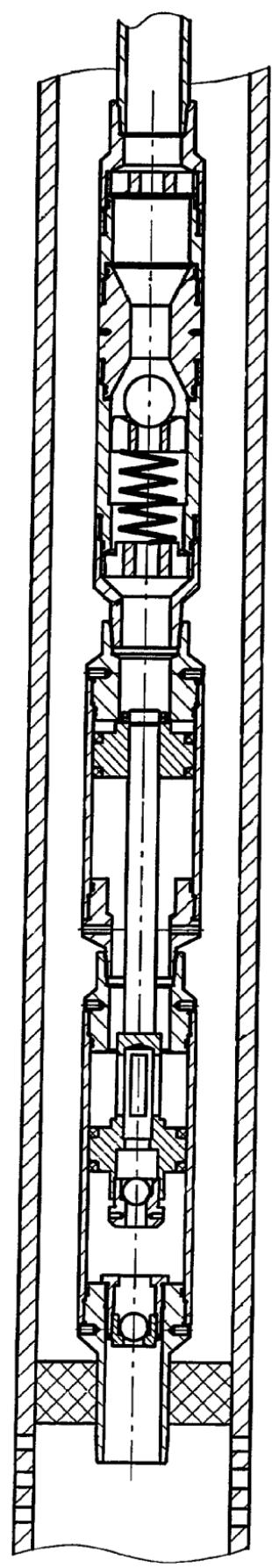


Рисунок 8 – Гидроимпульсная установка

Устройство работает следующим образом. Рабочая жидкость с помощью струйного насоса подается в пространство, образованное обсадной колонной и НКТ. Оттуда попадает в полость между поршнями струйного устьевого насоса и глубинного насоса. Из-за разницы площадей поперечных сечений поршней давление рабочей жидкости передается на шар аккумулятора давления. Шар давит на пружину, деформируя ее, и проталкивает в конфузор аккумулятор давления. Поршни привода насоса и глубинного насоса движутся вверх, так как они связаны штоком. Давление в полости глубинного насоса падает, клапан открывается и пластовый флюид из-под пакерной зоны перетекает в эту полость. Из нее в межтрубное пространство и колонну НКТ. Давление в колонне НКТ повышается шар толкает подвижное седло, сжимает пружину и проталкивает аккумулятор давления из кофузора в диффузор. Поршни насосов движутся вниз. Клапан глубинного насоса закрывается, импульс давления не попадает в подпакерную зону. Весь импульс воздействует на пласт. Циклы повторяются.

Недостатком данного устройства является невозможность многократной смены режимов обработки призабойной зоны скважины без подъема колонны НКТ и общая сложность конструкции.

Гидроимпульсное воздействие на пласт исследуется и иностранными учеными. Например, периодическое вытеснение жидкости из емкости в пласт описано в патенте US6015010. Данное устройство для создания ударной волны в скважине находится в колонне насосно – компрессорных труб. Оно состоит из полого цилиндра, который является рабочей камерой и двух сплошных цилиндров, соединенных с насосным агрегатом. Нижний цилиндр имеет больший диаметр, чем верхний. С помощью насоса посредством верхнего цилиндра рабочий агент закачивается в камеру сжатия. Затем нижний поршень заходит в камеру сжатия, а верхний выходит, из – за разности диаметров жидкость сжимается. Далее смещением

нижнего поршня жидкость сливается в скважину. Затем цикл повторяется. Конструкция устройства представлена на рисунке 6.

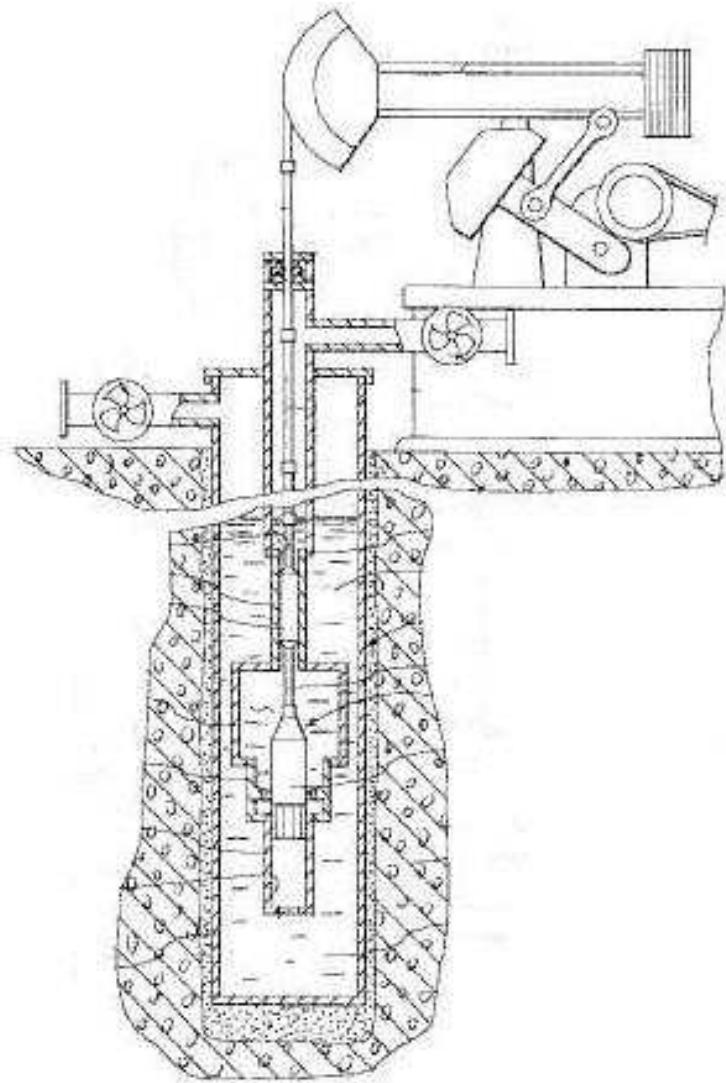


Рисунок 6 – Скважинная гидроударная установка

Недостатком данного изобретения является низкая производительность работ, так как при каждом цикле необходимо опускать на глубину продуктивного пласта рабочие поршни и заново поднимать их. Возможен обрыв цилиндра и, соответственно, поломка всего механизма.

Еще один способ импульсно – волнового воздействия на призабойную зону скважины описан в украинском патенте UA74708. Схема устройства представлена на рисунке 7.

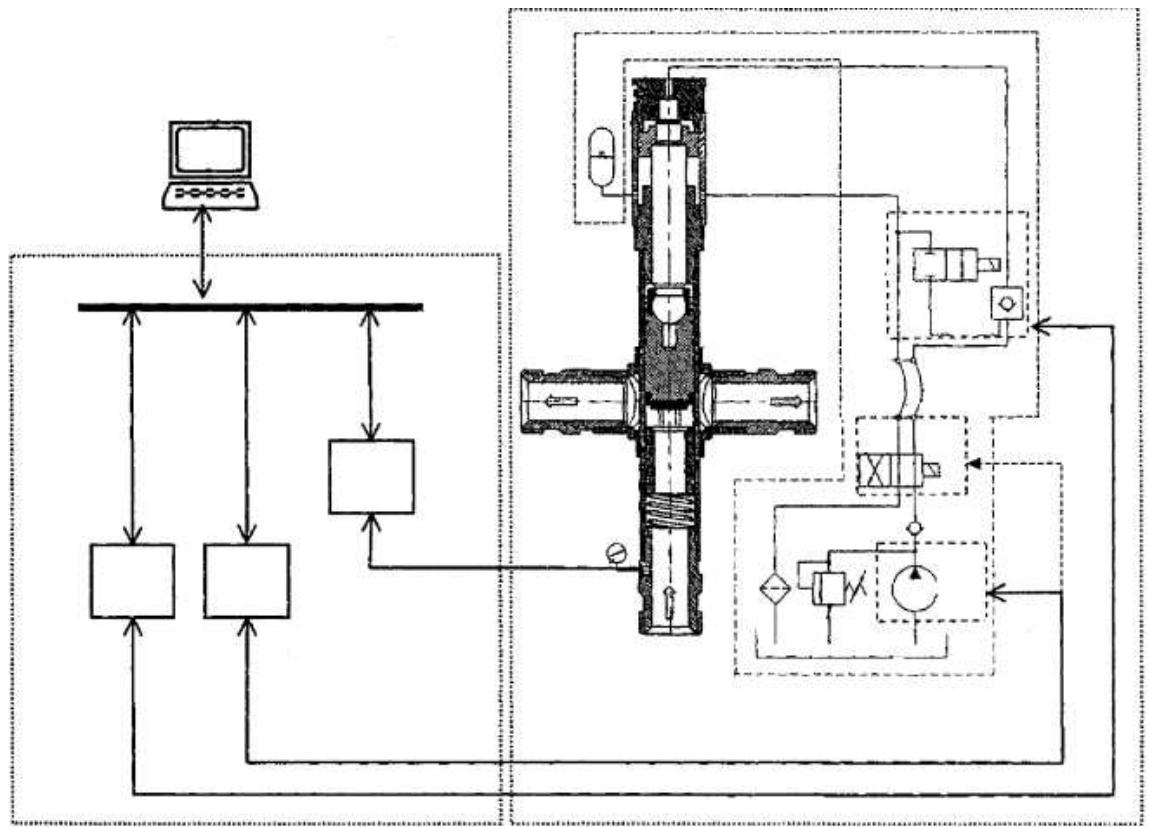


Рисунок 7 – Устройство импульсно – волнового воздействия на призабойную зону скважины

Принцип работы заключается в следующем. Система управления, включающая ЭВМ, преобразователи и исполнительные механизмы проводит анализ состояния пласта с помощью сейсмических волн и выбирает оптимальный режим воздействия на пласт. Далее с помощью насосно-эжекторной установки через пакер в рабочую камеру подается рабочая жидкость. Происходит смешивание жидкости и газовой смеси (углекислый газ, аммиак и хлористый водород). Смесь поступает в устьевой генератор импульса, который выполнен в виде трубки Вентури или сопла Лаваля. Формируется пульсирующая кавитационная скоростная струя. Из-за давления газожидкостной смеси открывается блок обратных клапанов и струя устремляется в пласт.

2.3.2 Завихрители

Действие завихрителей основано на закручивании потока жидкости. К ним относятся гидродинамические генераторы «свистки» и генераторы на основе вихревых и центробежных форсунок.

Генераторы типа «свисток» содержат три области. Поток жидкости попадает в камеру закручивания. После через узкую часть, называемую диффузором, в рабочую камеру. В приосевой зоне возникает область пониженного давления и происходит противоток жидкости из рабочей камеры в камеру закручивания. Взаимодействие противотока жидкости с периферийным вихрем приводит к существенному уменьшению его момента количества движения, в результате чего разряжение на оси уменьшается и противоток прекращается. Затем цикл повторяется. Взаимодействия разнонаправленных потоков жидкости создают колебания давления.

На рисунке 8 представлена конструкция гидродинамического генератора колебаний типа «свисток».

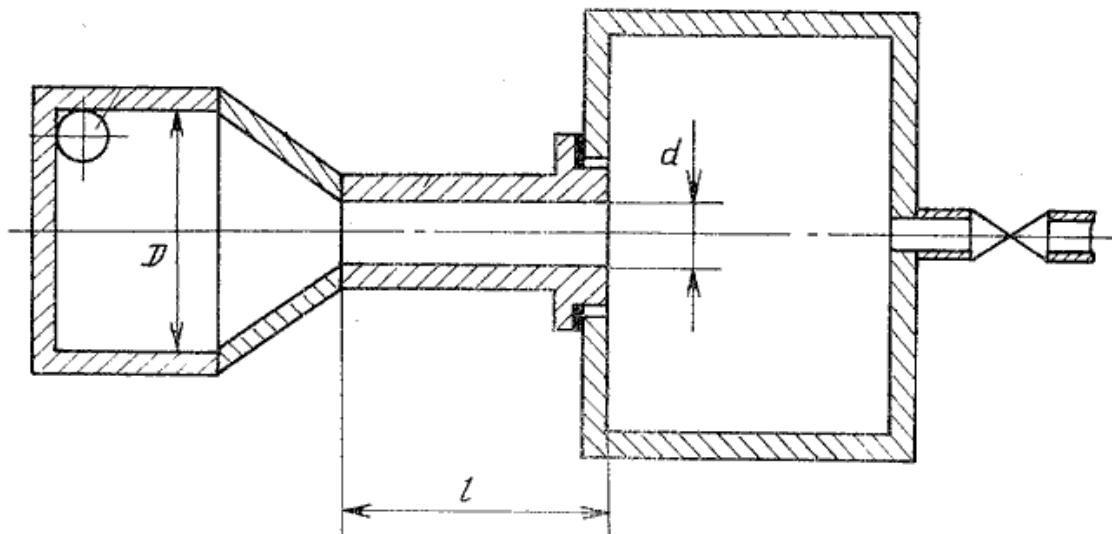


Рисунок 8 – Гидродинамический генератор типа «свисток»

С помощью генераторов данного типа можно получить высокочастотные колебания. Кроме этого такие генераторы не содержат большое количество подвижных узлов, что повышает устойчивость

работы. Недостатком является существенный кавитационный износ тангенциальных отверстий и поверхности вихревой камеры. Это ведет к изменению во времени параметров этих генераторов и срыву режима их устойчивой работы.

В гидродинамических генераторах колебаний на основе вихревых и центробежных форсунок через два канала в камеру закручивания поступает рабочая жидкость с разными напорами. В камере происходит смешивание двух потоков жидкости: высоконапорного и малорасходного циркулирующего потока с низконапорным потоком нулевой или противоположной циркуляции и с регулируемым большим расходом. Происходит образование вихря. В конструкции могут быть применены промежуточные сопла, в которых происходит разделение вихря.

К данному типу генераторов относятся конструкции ГД2В и ГЖ (рисунок 9).

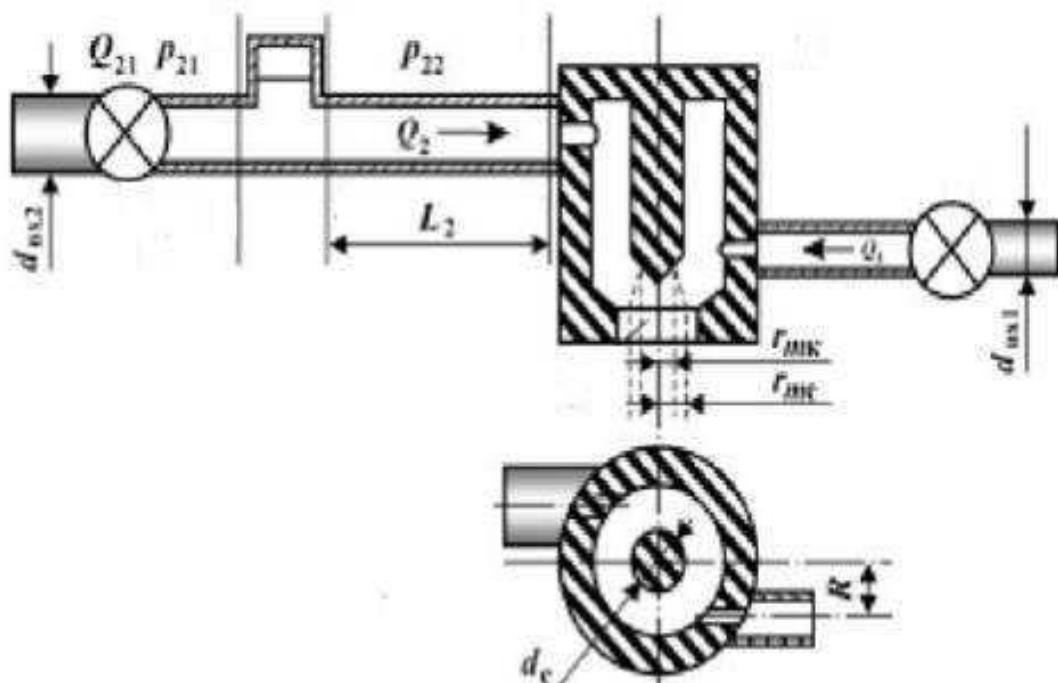


Рисунок 9 – Гидродинамический генератор на основе центробежной форсунки

Главное преимущество этого типа генераторов – использование вихря, так как по сравнению с другими струйными элементами он имеет максимальный коэффициент усиления мощности. Также внутри конструкции таких генераторов практически отсутствуют ударные нагрузки. Они не требуют привлечения большого количества насосных агрегатов. Генераторы данного типа подвержены кавитационному износу, экономически затратные при изготовлении

В патенте RU2144440 описана гидравлическая система, использующая завихрение жидкости для создания колебаний потока. Система изображена на рисунке 10.

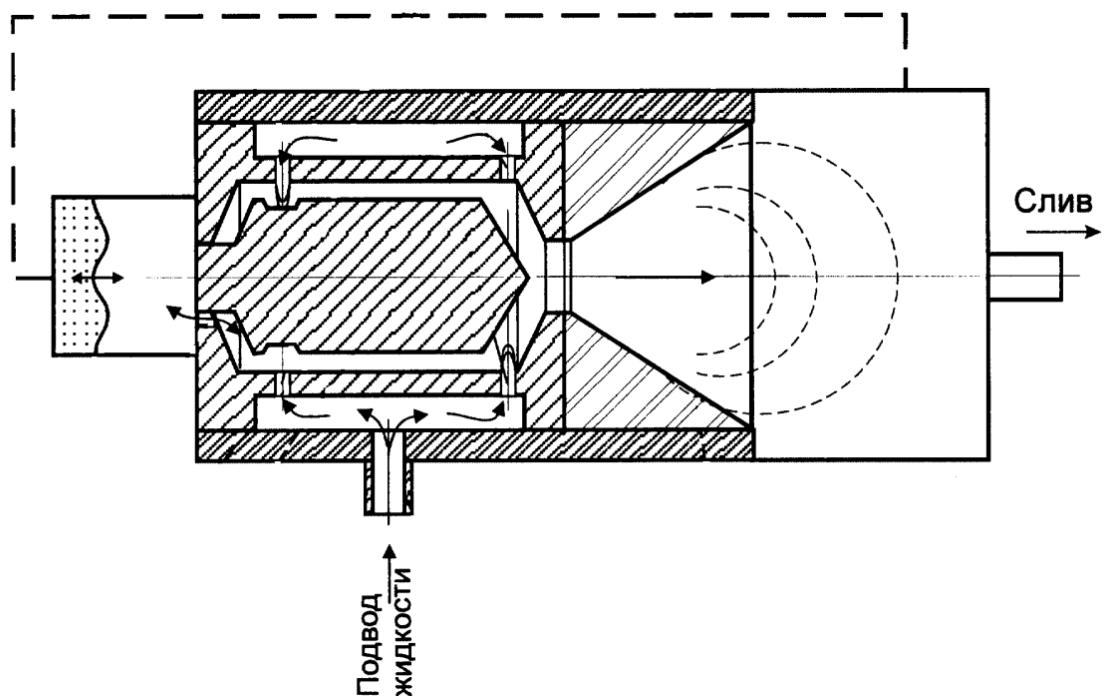


Рисунок 10 – Генератор на основе завихрения жидкости

Гидродинамический генератор содержит корпус, установленную в нем вихревую камеру с каналами закрутки и выходным соплом и напорную магистраль, сообщенную с каналами закрутки. В вихревой камере установлено центральное тело с зазором относительно ее боковой стенки. Генератор снабжен полостью с регулируемой упругостью, сообщенной через проходные отверстия с вихревой камерой. Для

расширения эксплуатационных возможностей и области применения полость может быть гидравлически связана соединительным каналом с обрабатываемой средой. Для оптимизации габаритных и гидравлических параметров вихревой камеры каналы закрутки со стороны выходного сопла выполнены в дополнительной камере, сообщенной с вихревой камерой через кольцевой канал. Изобретение основано на специфическом взаимодействии жидкостных вихрей и позволяет повысить эффективность генерирования колебаний за счет расширения диапазона частот и увеличения амплитуды колебаний давления и расхода, расширить диапазон эксплуатации, а также обеспечить надежность и стабильность работы оборудования при изменении режимов работы генератора.

Патент RU № 2296894 описывает схожую конструкцию, содержащую две рабочие камеры. Данное решение увеличивает диапазон амплитуды колебаний давления. Устройство состоит из вихревой камеры, каналов закрутки и, соединенной с ними напорной магистрали и выходного сопла. В вихревой камере с зазором относительно боковой стенки установлено центральное тело – полость с регулируемой упругостью. Устройство изображено на рисунке 11.

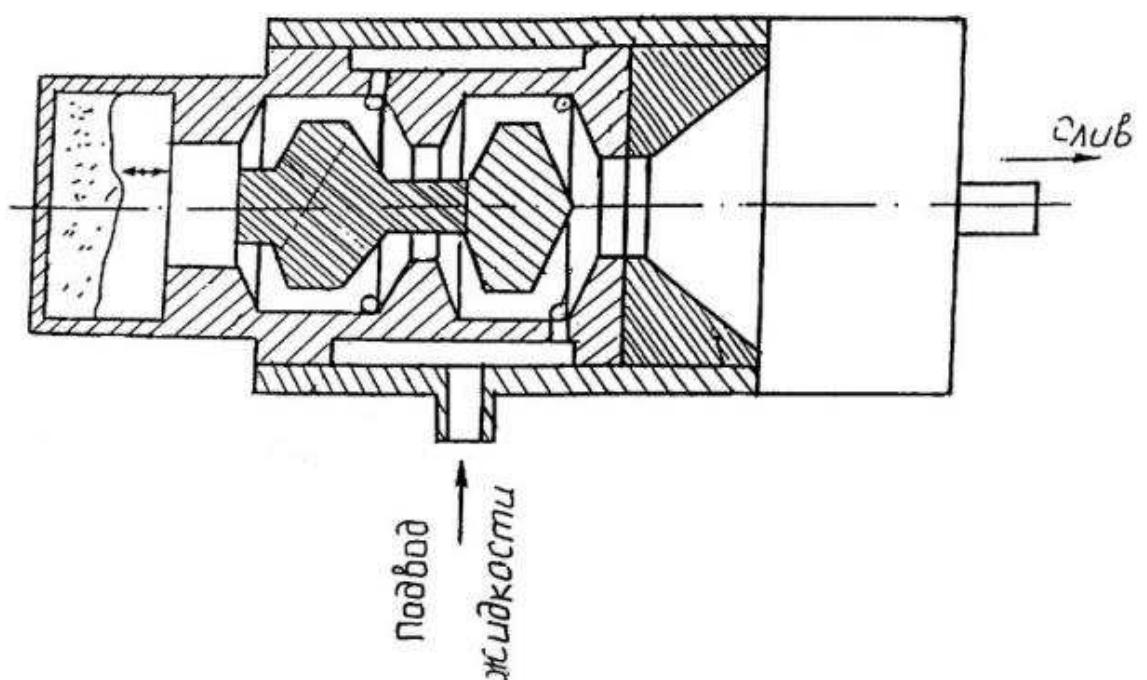


Рисунок 11 – Гидродинамический генератор колебаний

Устройство работает следующим образом. С помощью насоса два потока жидкости через каналы закрутки поступают в вихревую камеру и в камеру закручивания. Далее жидкость поступает в полость с регулируемой упругостью, происходит рост давления. При достижении определенного значения давления жидкость через промежуточное сопло центробежной форсунки поступает в вихревую камеру. Смешивается с потоком, идущим через каналы закрутки, увеличивается расход жидкости через выходное сопло. В области с регулируемой упругостью падает давление и происходит отток жидкости, расход жидкости через выходное сопло уменьшается. Давление в полости с регулируемой упругостью увеличивается. Цикл повторяется.

Устройство устойчиво работает в широком диапазоне расхода и давления. К недостаткам можно отнести то, что наличие полости с упругостью приводит к увеличению габаритов конструкции. При истечении в затопленное жидкостью пространство для поддержания устойчивого режима генерации необходимо увеличивать давление нагнетания, что в свою очередь приводит к нерегулируемому росту частоты колебаний и к необходимости компенсировать давление, создаваемое в упругой полости, при этом для расширения рабочего диапазона необходимо устанавливать за выходным соплом дополнительную упругую полость.

Известен немецкий патент WO/2012/041487. Устройство содержит, по меньшей мере, две линии подачи и сеть изогнутых каналов, в которых происходит завихрение потока. Потоки попадают в камеру взаимодействия, в которой сталкиваются, и создается перепад давления. Затем жидкость попеременно подается в каналы, это позволяет поддерживать пульсацию давления. Для лучшего завихрения в камере взаимодействия содержится шаровая область из эластичного материала, которая деформируется под давлением. Конструкция устройства представлена на рисунке 12.

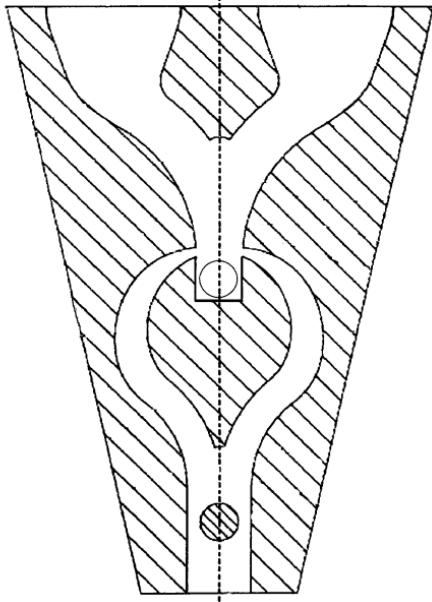


Рисунок 12 – Генератор колебаний давления [40]

Патент РФ № 2511888 содержит способ генерирования колебаний жидкостного потока и гидродинамический генератор колебаний для его осуществления. Гидродинамический генератор колебаний жидкостного потока содержит корпус, выполненный в нем проточную камеру с каналами закрутки и выходным соплом. Напорную магистраль, сообщенную с каналами закрутки. В проточной камере с зазором установлено центральное тело с осевым каналом, его входом и выходом, который снабжен упругой перегородкой. Корпус соединен с дополнительной магистралью, которая через, по крайней мере, один распределительный канал сообщена с напорной магистралью. В осевой канал, при необходимости устанавливают полость с упругостью, например, в виде заполненной сжимаемой средой емкости, вход которой закрыт эластичной оболочкой. Для настройки параметров колебаний в выходном сопле устанавливают дроссель. Устройство представлено на рисунке 13.

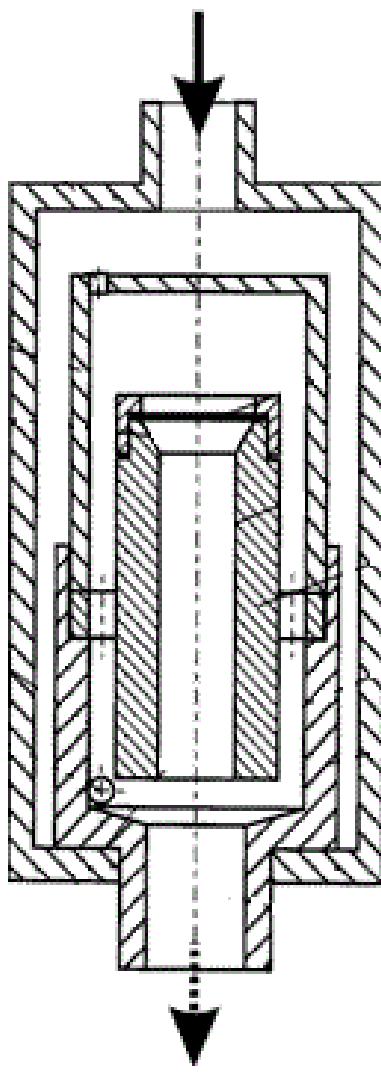


Рисунок 13 – Генератор колебаний жидкостного потока

Принцип работы генератора следующий. Для обеспечения рабочего амплитудно–частотного диапазона колебаний при заданном расходно–напорном режиме нагнетания рабочей жидкости предварительно рассчитывают проходные сечения составных частей гидродинамического генератора и устанавливают необходимый тип упругой перегородки. Часть жидкости из напорной магистрали через каналы закрутки поступает в проточную камеру и закручивается. Общий расход через выходное сопло уменьшается. Другая часть жидкости из напорной магистрали через распределительный канал поступает в дополнительную магистраль, образуя дополнительный поток. При этом периферия закрученного потока с помощью создаваемого им центробежного давления блокирует

стравливание дополнительного потока выходное сопло. Расчетные параметры проходных сечений проточной камеры, выходного сопла и дросселя обеспечивают регулируемое снижение давления в осевой части закрученного потока относительно его центробежного давления на периферии. Снижение давления через вход осевого канала в центральном теле и через закрытый упругой перегородкой выход воздействует на поток в дополнительной магистрали, направляя его в сторону осевого канала. Движение дополнительного потока продолжается до прекращения движения перегородки под действием сил упругости. В дальнейшем, поступающая жидкость из напорной магистрали в дополнительную магистраль создает в ней избыточное давление и позволяет дополнительному потоку преодолеть блокирующее влияние центробежного давления, а за счет присоединения своей массы к вращающейся массе закрученного потока уменьшить его интенсивность вращения и увеличить расход через выходное сопло. При этом возрастет давление в осевом канале и дополнительный поток получит импульс силы от возврата упругой перегородки в первоначальное положение. Суммарное действие избыточного давления и упругой силы на периферию основного закрученного потока резко уменьшает интенсивность его вращения и величину центробежного давления. В результате давление в дополнительной магистрали уменьшается за счет резкого сброса части дополнительного потока через выходное сопло, а затем вновь создаются условия для восстановления первоначальной интенсивности закрученного потока и уменьшения общего расхода через выходное сопло. В результате автоколебаний жидкости в осевом канале и в дополнительной магистрали возникают колебания расхода в пульсирующем режиме течения из выходного сопла. Для регулирования амплитуды и частоты колебаний потока в осевом канале устанавливается полость с упругостью, например, в виде заполненной сжимаемой средой емкости, вход которой закрыт эластичной оболочкой. При этом обеспечивается задержка по времени снижения давления в осевом канале,

в результате уменьшается частота колебаний расхода и увеличивается пульсирующая масса потока из выходного сопла.

Исследованием возможности использования завихрителей для генерации энергии занимался австрийский изобретатель Виктор Шаубергер в 1930-1940 годах. Во времена Второй Мировой Войны он находился в нацистском научно-исследовательском концлагере Маутхаузен. После освобождения в 1945 году у него было обнаружено много различных предметов и конструкций. Среди них – репульсин, или, как он сам его называл «торнадо-генератор». Однако, во время освобождения концлагеря и последующего хаоса данное изобретение было утеряно. На просьбы повторить или восстановить репульсин Шаубергер отвечал, что человечество еще «не дозрело» до подобных технологий.

Принцип работы репульсина до сих пор не совсем понятен. Существует много объяснений устройства данного изобретения. Далее приведено одно из них.

Лопатки отсасывающей турбины (расположенные по периферии устройства) выбрасывают воздух наружу, образуя пониженное давление в самом центре вращения. Воздух сверху, вращаясь, подобно воронке в ванной врывается в эту область (так называемая "глотка вихря"), попутно толкая лопатки малой внутренней турбины и раскручивая весь агрегат в целом. Внутрь через центральную полую ось также подаётся вода. Полученная водо-воздушная смесь охлаждается и разрежается при конденсации внутри пространства между пластин волновой турбины, организуя при этом дополнительный подсос. Происходит общее уменьшение объёма рабочего тела. Процесс очень похож на процесс конденсации и поглощения тепла, происходящий в природных торнадо. Кинетическая энергия (энергия вращения) при этом резко увеличивается. По сути образуется небольшая транзитная область с пониженным давлением (в идеале – это вакуум), проходя через которую смесь воды и воздуха охлаждаются, но при этом выделяется кинетическая энергия, которая

проявляется в самораскрутке (авторотации) всей конструкции. Репульсин вначале необходимо раскрутить до минимальной стартовой скорости (она в принципе небольшая, где-то 2-3 тыс. оборотов в минуту) и устройство начнёт интенсивно засасывать окружающий воздух и при этом будет постоянно "падать вверх" в созданную им же самим вихревую воронку.

В настоящее время сохранилось очень мало фотографий данного устройства и все они, к сожалению, в плохом состоянии (рисунок 14).

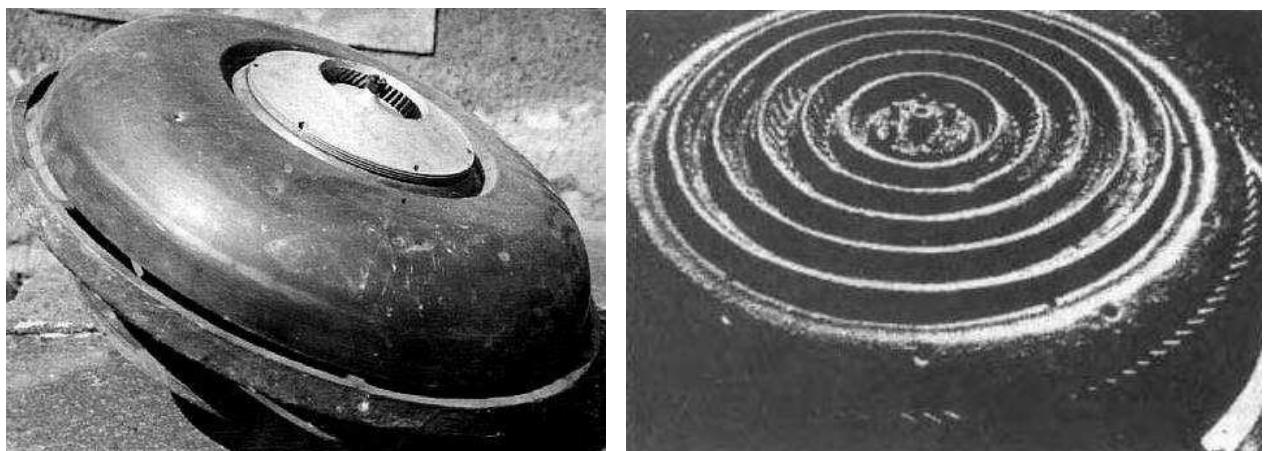


Рисунок 14 – Внешний вид и внутреннее устройство репульсина Шаубергера

Кроме репульсина Виктор Шаубергер занимался разработкой других устройств для генерации энергии жидкости. В его австрийском патенте №117749 описывается устройство струйной турбины. Иллюстрация к патенту представлена на рисунке 15.



Рисунок 15 – Струйная турбина Шаубергера

Входящий поток направляется внутрь стационарного устройства, в котором находится извлекаемый вал с винтовыми направляющими, происходит закручивание и разбрызгивание потока. Но данная турбина обладает недостаточной степенью закрутки, соответственно малой эффективностью.

Французский патент № 1057576 Виктор Шаубергер опубликовал вместе с сыном Вальтером. Конструкция представляет собой трубу яйцевидного сечения, у которой часть профиля сбоку вырезана. Вся эта конструкция сначала спирально закручена вокруг своей продольной оси, а затем также спирально закручена вокруг воображаемого конуса или цилиндра. Таким образом, труба имеет весьма сложную двойную спиральную конфигурацию. Кроме того, сечение трубы постепенно уменьшается по ходу движения потока при сохранении пропорций профиля. Иллюстрации данного патента представлены на рисунке 16.

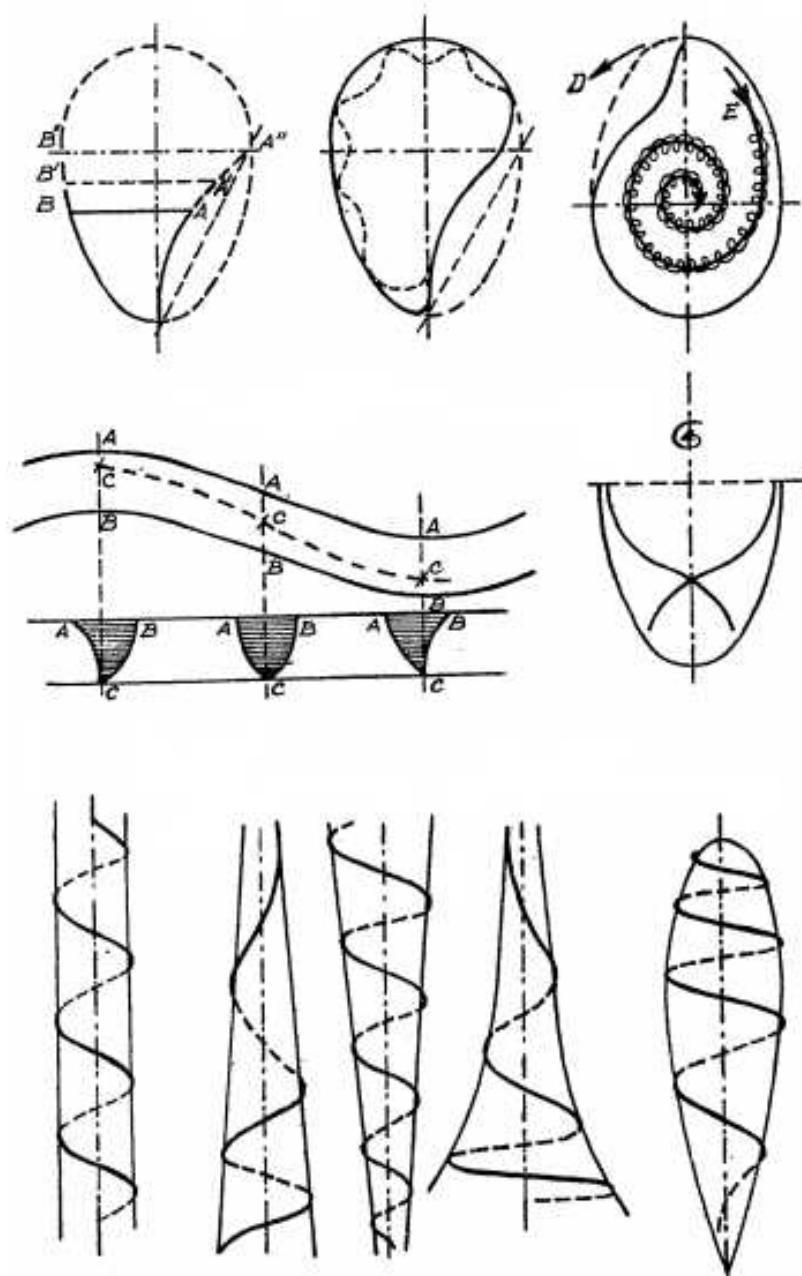


Рисунок 16 – Труба Шаубергера в виде двойной спирали

Использование завихрителей потока в качестве генераторов колебаний исследуется учеными разных стран мира.

Известные генераторы винтового типа используются для преобразования энергии воздушного потока, но могут быть применены и для генерации энергии потока жидкости. Ученые из Молдавии в своем патенте WO 2006/123924 A1 описывают способ и устройство вихревого

преобразования потока. Преобразователь является завихрителем шнекового типа, содержит ось и винтовые лопасти, связанные с осью ярусно расположенными держателями и стойками. В патенте рассмотрены преобразователи с разным количеством лопастей (рисунок 17).

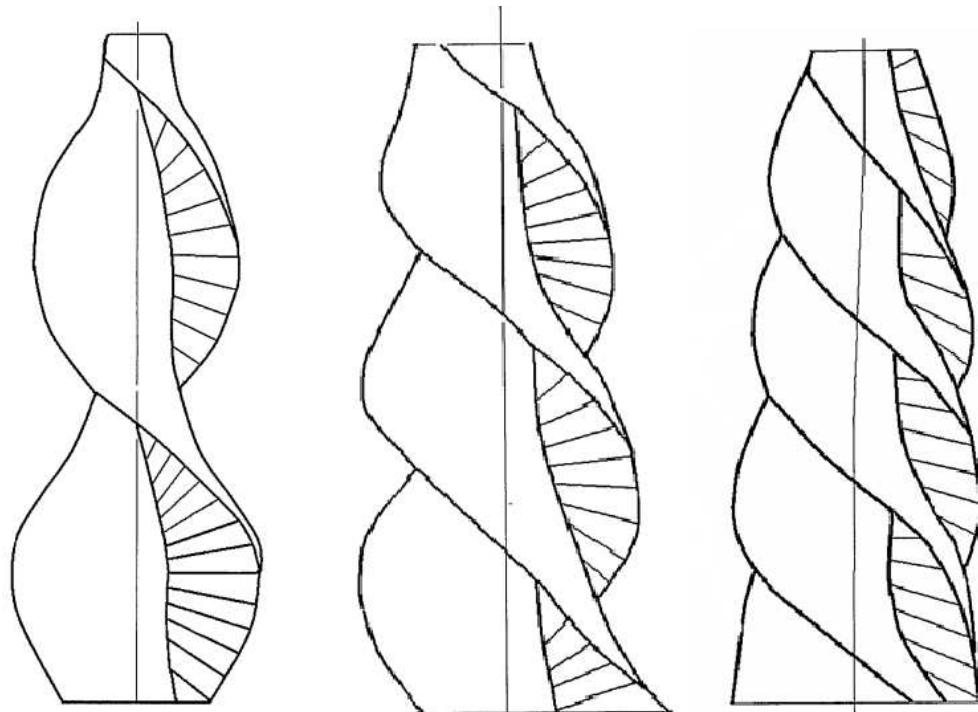


Рисунок 17 – 2-х,3-х и 4-х лопаточные преобразователи

Лопасти должны быть тонкими, профиль их поперечного сечения выполнен в виде кривой, близкой к форме эффективного аэродинамического профиля. При этом отношение длины горизонтальной проекции кривой к диаметру вписанной окружности определяется выражением $L/D=2,5$. Профиль лопасти заканчивается обтекателем – закрылком, его кривизна возрастает к оси вращения. Аэродинамический профиль лопасти представлен на рисунке 18.

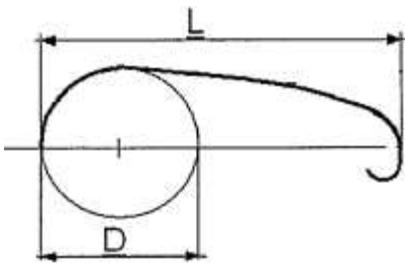


Рисунок 18 – Аэродинамический профиль лопасти вихревого преобразователя потока

На внутренней вогнутой поверхности лопастей расположены формирователи вихревых шнурков. Их поперечное сечение пилообразно с несимметричными сторонами, меньшая из которых дугообразно вогнута.

Поток жидкости попадает на винтовую лопасть, расположенную с просветом к оси вращения. Авторами экспериментально выявлено, что при движении потока возникает обратное течение, что доказывает образование сильно закрученного вихревого потока. Встречное осевое течение разрушает сильно закрученные струи, это позволяет снизить потери мощности на выходе из преобразователя.

Лопасти, держатели и стойки преобразователя выполнены предварительно напряженными, образуя интегрированную напряженную структуру. За счет этого повышается прочность устройства, следовательно, и его надежность.

Изобретение предназначено для преобразования энергии ветра в механическую и электрическую энергию. Также может быть использовано для разделения смесей, в конструкциях насосов, турбин, вихревых сепараторов. В авиации и судостроении в конструкциях движущихся винтов и турбин, в конструкциях вихревых карбюраторов и эжекторов.

Недостатком данного изобретения является то, что его невозможно использовать при относительно низких скоростях входного потока. Так как аэродинамический профиль лопасти не позволит потоку с малой скоростью попасть на преобразователь и пройти через него.

2.4 Недостатки существующих конструкций, требования, предъявляемые для их эффективной работы

Самый популярный метод виброволнового воздействия на месторождениях – свабирование. Но сваб малонадежен и неэффективен ввиду содержания большое количество быстроизнашиваемых деталей в виде пружин и элементов клапанной системы. Выявлено, что приток нефти после извлечения сваба из скважины быстро понижается.

Среди недостатков других устройств были отмечены:

- наличие большого количества подвижных узлов, как наиболее подверженных износу.
- сложность и непроработанность конструкций, в частности способов крепления.
- невозможность автономной работы без участия других скважинных устройств.

При использовании всех существующих конструкций требуется подвод энергии от внешних источников, что в скважинных условиях значительно уменьшает надежность устройства ввиду необходимости дополнительного оборудования для подвода электроэнергии от внешних источников и вспомогательного оборудования для обеспечения работы этой системы: муфт, кабелей и пр.

Поэтому необходима разработка автономного скважинного гидродинамического генератора колебаний, состоявшего из малого количества деталей. При работе внутри самого устройства должны свестись к минимуму ударные нагрузки, чтобы исключить быстрый кавитационный износ генератора. В конструкции должно быть мало подвижных механических узлов. Так как они наиболее подвержены износу.

Генерация колебаний давления осуществляется в условиях сильно загрязненной среды с использование агрессивных рабочих жидкостей.

Значит, конструкционные материалы должны быть подобраны с учетом этого факта, быть коррозионностойкими.

При этом генератор должен обеспечивать определенные характеристики воздействия. Необходимо возбуждать на забое заполненной жидкостью скважины достаточно высокоамплитудные колебания давления в диапазоне частот 20-300 Гц с возможностью регуляции частоты и настройки на избирательные частоты объекта. Частоты и амплитудный режим генерации должны быть стабильными и мало зависеть от внешних условий и степени износа узлов генератора. Глубина воздействия колебаний должна достигать от 2 до 20 метров. При этом очень важна возможность настройки амплитудно-частотных характеристик устройства в зависимости от строения скважины и характеристик нефти.

3 Винтовая шнековая турбина для виброволнового воздействия на призабойную зону пласта

3.1 Способ виброволнового воздействия на призабойную зону пласта с помощью гидродинамики закрученного потока

Виброволновое воздействие на продуктивную зону пласта можно осуществлять с помощью завихрителя потока, установленного в конце насосно-компрессорных труб. Метод характеризуется тем, что через устройство пускается поток, при этом течение переходит из ламинарного в турбулентное, происходит перераспределение скоростей потока. Закручивание потока, воздействуя на все поле течения рабочей среды, приводит к созданию пульсирующих колебаний давления. При этом закрутка потока в каналах, создаваемая с помощью закручающих устройств, относится к пассивным методам интенсификации, т. е. не требует дополнительного подвода энергии извне, значит, устройство будет автономным. Кроме того на устройстве можно предусмотреть создание элементов, препятствующих движению потока, за счет действия потока на

которые будет обеспечено дополнительное усилие, увеличивающее крутящий момент турбины.

В качестве рабочей жидкости может выступать вода, в том числе пластовая, водонефтяная эмульсия, мицелярные растворы, водные растворы поверхностно-активных веществ, а также растворы других химических реагентов. При этом, движущиеся среды по своим характеристикам значительно отличаются от неподвижных, а скорость коррозии металла в статических условиях намного меньше, чем в динамических.

В связи с развивающимися высокими скоростями рабочей среды гидродинамический генератор может быть подвержен кавитационному износу. Явление кавитации обусловлено падением давления до давления насыщенных паров при сужении потока жидкости с высокой скоростью и наличия препятствий на его пути. Происходит разрыв (нарушение сплошности) потока жидкости, зависящей от сопротивления жидкости растягивающим усилиям. Образовавшаяся пустота заполняется паром и газами, выделившимися из жидкости; при этом воздух, вовлекаемый в поток жидкости, облегчает возникновение кавитации. Образовавшиеся парогазовые пузырьки, перемещаясь вместе с потоком жидкости, попадают в зоны высоких давлений. В зонах высоких давлений пар конденсируется, газы растворяются и в образовавшиеся пустоты с большим ускорением устремляются частицы жидкости; в результате этого происходит сопровождаемое ударом восстановление сплошности потока жидкости. Кавитация приводит к выкрашиванию материала, образованию трещин. Агрессивные среды, способствуют увеличению интенсивности кавитационного изнашивания. Однако решающая роль принадлежит механическим разрушениям. Скорость кавитационного изнашивания может быть в сотни раз и больше скорости коррозионного разрушения поверхностного слоя.

Интенсивность кавитационного изнашивания зависит от температуры, свойств жидкости и материала завихрителя. Влияние вязкости рабочей жидкости на кавитационное изнашивание незначительно. С увеличением поверхностного натяжения изнашивание происходит более интенсивно. Введение в воду веществ, образующих (масла) и способствующих (эмulsionаторы) образованию эмульсий, понижает поверхностное натяжение жидкости и снижает кавитационное изнашивание. Наибольшая интенсивность изнашивания наблюдается в воде при температуре 50°C.

После появления микроразрушений поверхности металла возможно появление эрозионного изнашивания. Так как жидкость при ударе в микротрещины расклеивает их стенки. Эрозионное воздействие высокоскоростного потока жидкости слагается из трения сплошного потока и его ударов о поверхность. Может привести к созданию больших трещин, растрескиванию и выщелачиванию металла.

Гидродинамический генератор подвержен также усталостному изнашиванию. Циклически изменяющиеся контактные напряжения вызывают поверхностное разрушение в виде трещин, выкрашивания и отслаивания. Незначительные трещины зарождаются в области максимальных касательных напряжений на некоторой глубине под поверхностью и распространяются к поверхности. Трещины могут зарождаться также на поверхности и распространяться в глубь материала. Незначительное увеличение контактного напряжения ведет к заметному снижению усталостной долговечности. Наличие поверхностных и подповерхностных концентраторов напряжений ускоряет образование микротрещин, а, следовательно, способствует увеличению интенсивности усталостного изнашивания. К поверхностным концентраторам напряжений относятся дефекты в виде царапин и вмятин

Рабочие среды обладают разной коррозионной активностью. Но все в большей или меньшей степени вызывают коррозию металлов. При

использовании рабочих сред не являющихся проводниками электрического тока генератор подвержен химической коррозии. Причем интенсивность коррозии возрастает с повышением температуры — в результате на поверхности металлов образуется оксидная пленка. Совокупность воздействия механических напряжений и внешней среды многократно ускоряет коррозию— снижается термоустойчивость металла, повреждаются поверхностные оксидные пленки, а в тех местах, где появляются неоднородности и трещины, активируется электрохимическая коррозия.

Электрохимическая коррозия металла определяется в основном водной фазой. При соприкосновении с водными электролитами поверхность металла приобретает определенную гетерогенность. Причиной ее может быть присутствие окислов и загрязнений на поверхности металла, неравномерное напряженное состояние металла в микрообъемах металла, анизотропность кристаллической решетки металла и другие факторы. В результате ряд участков металла становится анодами, другие - катодами. Электрически замыкаясь друг с другом через металл, они образуют множество короткозамкнутых микро- и макрогальванических элементов. Электрохимическое «растворение» металла - это результат одновременного функционирования большого числа микрогальванических элементов. Электрохимический процесс коррозии металла состоит из трех независимо протекающих физико-химических реакций. На анодах поверхностный атом металла кристаллической решетки гидратируется водой и переходит с поверхности металла в объем электролита в виде положительно заряженных ионов Me^{n+} . При этом на анодных участках, откуда уходят атомы металла, накапливается избыток электронов, что создает разность потенциалов. На аноде $Me \rightarrow Me^{n+} + ne$ избыток электронов под действием разности потенциалов перетекает по металлу к катодным участкам, где происходит другой процесс - присоединение этих свободных электронов какими-либо ионами или молекулами, поступающими к катодным участкам из объема среды.

Скорость и характер процесса электрохимической коррозии определяются внутренними, внешними, механическими и конструктивными факторами. Внутренние факторы электрохимической коррозии связаны с природой металла, его структурой, составом, состоянием поверхности, напряжениями в металле и др. Внешние факторы коррозии зависят от рабочей жидкости, ее кислотности, температуры, скорости движения, наличия ингибиторов и стимуляторов. Механические факторы – это влияние других видов износа, коррозионное растрескивание, коррозионная усталость, коррозионная кавитация.

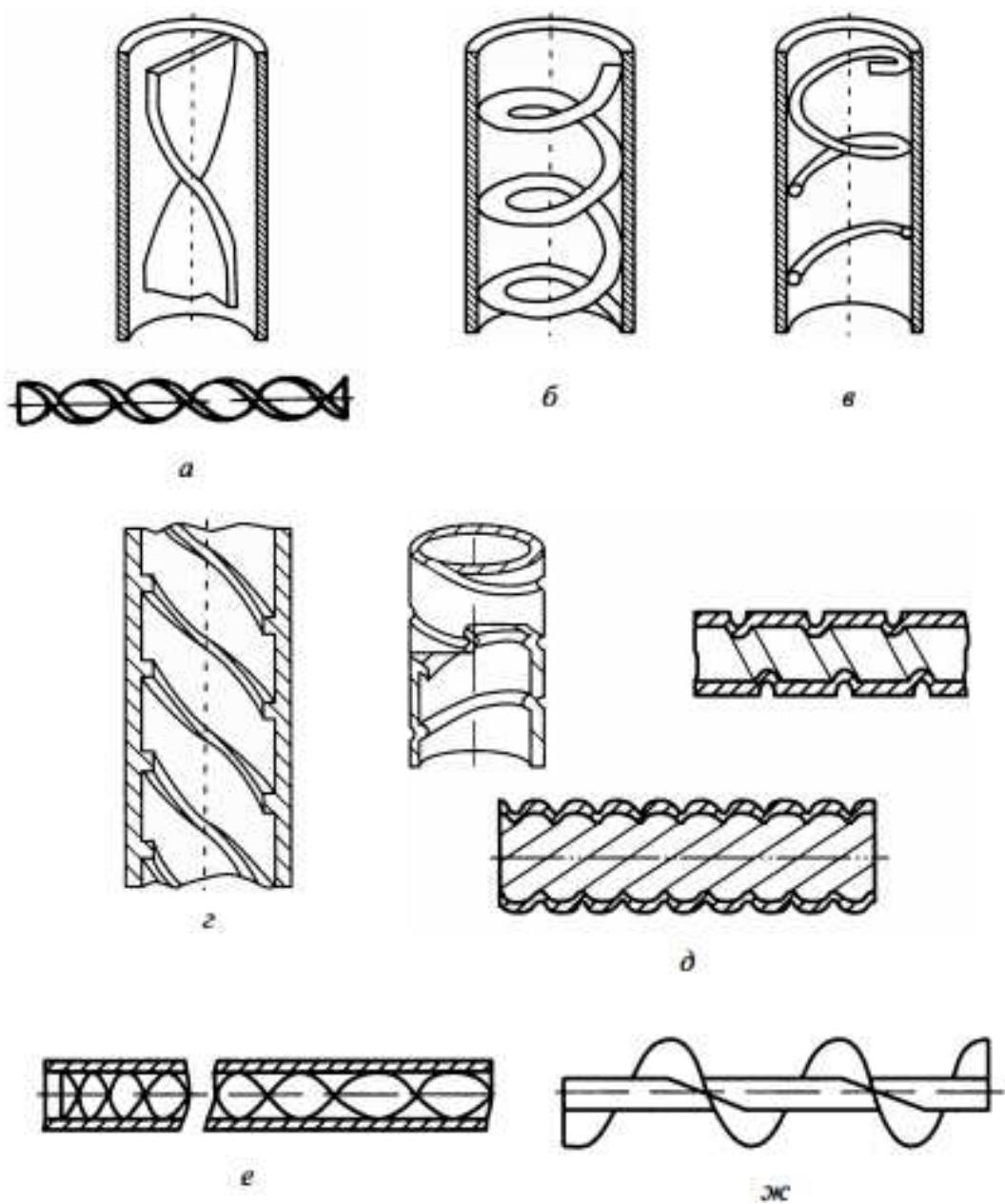
Гидродинамические генераторы колебаний должны обладать повышенной износостойкостью, это достигается главным образом правильно подобранным материалом для их изготовления. Ввиду определенных характеристик работы, особенностей рабочих сред и свойственных видов износа для создания гидродинамических генераторов колебаний подойдут конструкционные стали с высоким содержанием углерода, так как такие стали обладают большей твердостью.

Для повышения коррозионной стойкости используют конструкционные хромистые стали. Основой создания коррозионной стойкости является в основном образование на поверхности пассивной защитной пленки. Как правило, чем выше содержание в стали хрома, тем выше стойкость к коррозии, которая также зависит от фазовой гомогенности. Титан в стали вводят для измельчения и ограничения роста зерна при нагреве в процессе сварки и термической обработки, для снятия наклела и гомогенизации, а также для предотвращения склонности к межкристаллической коррозии. Наличие молибдена повышает стойкость к точечной коррозии. Высокое содержание никеля обеспечивает дополнительное повышение коррозионной стойкости. Наличие большого количества одновременно хрома и никеля, растворенных в аустените, сильно увеличивает его устойчивость, расширяет границы существования твердого раствора, понижает температуру начала мартенситного

превращения и делает сталь при нормальных и даже более низких температурах полностью аустенитной

3.2 Типы завихрителей и факторы, влияющие на их работу

В настоящее время существует множество конструкций закручивающих устройств: скрученные ленты, шнеки, устройства с тангенциальным подводом потока, аксиально-лопаточные завихрители и др. Также известны завихрители частично перекрывающие проходное сечение: локальные, периодические или непрерывно расположенные завихрители. К ним относятся, в частности, завихрители с винтовым оребрением, проволочной навивкой, а также со спиральной накаткой, называемые также прямоточными. Некоторые виды завихрителей представлены на рисунке 19.



a – скрученная лента с постоянным шагом закрутки;

б – пластиначатая спиральная вставка;

в – проволочная навивка;

г – винтовое ореберение;

д – трубы с однозаходной и многозаходной спиральной накаткой;

е – винтовая вставка из скрученной ленты с переменным шагом;

жс – шнек.

Рисунок 19 – Различные типы завихрителей

Экспериментальные исследования, описанные Митрофановой показали, что при обтекании шнековых завихрителей или завихрителей типа скрученных лент, которые полностью перекрывают проходное

сечение канала структура потока имеет характерную особенность. Она связана с возникновением вторичных течений в виде системы парных вихрей на фоне винтового течения, соответствующего квазиверному вращению в ядре потока, наложенному на практически равномерное осевое течение. Эти вторичные течения или отрывные вихри периодическим возникновением создают пульсации давления.

Механизм возникновения вторичных вихревых течений связан с неоднородностью распределения центробежных сил, обусловленной неравномерным распределением скорости в поперечном сечении канала. Для центробежной силы существует внутренний постоянно действующий закручающий момент, это приводит к возникновению циркуляционного течения в форме парных вихрей.

Завихрители действуют на все поле течения потока посредством создания закручающего момента. Обеспечивается определенный уровень интенсивности закрутки и соответствующие ему распределения скорости и давления течения. К основным факторам, влияющим на вихревую структуру потока, относятся:

- а) форма завихрителей;
- б) загромождение канала;
- в) степень турбулентности потока;
- г) шаг расположения закручающих элементов, определяемый углом навивки спиральных завихрителей и их заходностью;
- д) угол скоса потока при обтекании закручающих элементов;
- е) кривизна поверхностей, ограничивающих область закрученного течения.

Для непрерывных по длине завихрителей, приводящих к полному загромождению канала (шнеки, скрученные ленты) вопрос влияния формы завихрителей на вихревую структуру потока сводится, в основном, к рассмотрению влияния относительного шага закрутки завихрителей на условия формирования вторичных течений.

Для закрученных течений существуют общие закономерности, связанные с влиянием интенсивности завихрения потока на формирование полей скоростей и давления в трубе.

Экспериментально установлено, что при использовании любых типов завихрителей только на коротком участке ($z^* = (0,5...5)d$) непосредственно после завихрителя распределение составляющих скорости, статического и полного давления определяется способом завихрения и геометрическими параметрами завихрителя. Тогда как на основном участке трубы эти параметры не зависят от способа начальной завихрения, а определяются только ее интенсивностью, характеризуемой интегральным параметром закрутки Y (параметр Хигера – Бэра). Интегральный параметр завихрения Y определяет относительную величину потоков импульса, переносимых в угловом и продольном направлениях.

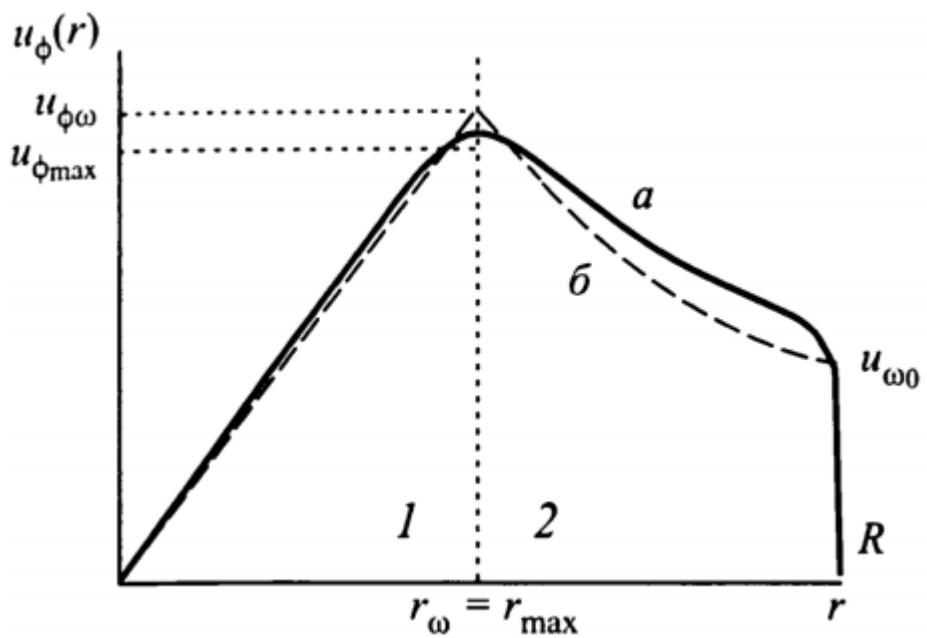
(3.1)

где, M – осевая составляющая потока момента импульса;

K – осевая составляющая потока импульса;

R – радиус канала.

Таким образом, завихрение можно разделить на две зоны: зону «вынужденного вихря» и зону «свободного вихря», имеющего постоянную циркуляцию. Распределение окружной скорости показано на рисунке 20.



а – реальное распределение; б – идеальное распределение
1 – зона «вынужденного» вихря; 2 – зона «свободного» вихря

Рисунок 20 – Распределение окружной скорости потока

Распределение окружной скорости определяется по формуле:

$$u_\phi = \begin{cases} \omega R & \text{при } 0 < r < r_\omega \\ \frac{u_{\phi\omega} r_\omega}{r} & \text{при } r_\omega \leq r \leq R \end{cases} \quad (3.2)$$

где – угловая скорость в зоне «вынужденного» вихря;

– радиус максимальной угловой скорости и определяющий границу между двумя областями.

Внешняя турбулентность обуславливает проникновение пульсаций внешнего течения в пограничный слой обтекаемых тел и взаимодействие вихревых структур основного потока и зон отрывного течения.

Степень турбулентности потока Ti в большинстве случаев принято оценивать как отношение средней квадратической пульсационной составляющей скорости в направлении потока к средней скорости потока:

$$Tu = \frac{\sqrt{u^2}}{u} \quad (3.3)$$

[изъято 47 страниц]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время обучения в магистратуре были изучены различные методы повышения дебита скважин. Выявлено, что одним из самых перспективным является метод виброволнового воздействия на пласт, изучена история его возникновения. Изложены физические основы данного метода, его достоинства и недостатки. Рассмотрены различные типы устройств, с помощью которых осуществляется виброволновое воздействие. Выявлено, что наиболее оптимальными являются гидродинамические генераторы колебаний. Приведена их классификация.

Проведен патентно – информационный обзор гидродинамических генераторов колебаний. Выделены достоинства и недостатки существующих конструкций.

Проведен анализ информации об области применения закручивающих устройств, их классификации. Изложены основные физические законы турбулентных закрученных потоков в трубах с завихрителями и выделены основные факторы, влияющие на вихревую структуру потока и интенсивность его закрутки.

Предложена конструкция гидродинамического вихрегенератора на основе завихрителя шнекового типа.

Проведен анализ рабочих сред, выявлены их характеристики. Изложены свойственные виды износа. Предложены конструкционные материалы, способы изготовления и обработки, варианты ремонта. Подобраны допуски и посадки. Проведена оценка надежности устройства с помощью программного обеспечения Statgraphics, сравнение структурных схем устройства и существующих конструкций.

Произведено гидродинамическое моделирование закрученных потоков в среде SolidWorks Flow Simulation. Произведено сравнение характеристики потока в трубах с завихрителями с различным количеством оборотов. Выбрана оптимальная конструкция и получены количественные

характеристики завихренности и турбулизации потока. Проведена оценка амплитурно-частотных характеристик турбины, расчет врачающего момента и доказана возможность автономности вихрегенератора. Представленные результаты моделирования доказали возможность использования автономного устройства для повышения производительности скважин и подтвердили эффективность завихрителя с 50 оборотами.

Предложены варианты совершенствования конструкции скважинного гидродинамического вихрегенератора. Рассмотрена возможность применения турбины в других устройства и отраслях промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ильина, Г. Ф. Методы и технологии повышения нефтеотдачи для коллекторов Западной Сибири [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Л. К. Алтунина, Г. Ф. Ильина .— 2-е изд. — Томск : Изд-во ТПУ, 2012 .— 165 с. — Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/278174>
- 2 Крысиин, Н.И. Повышение скоростей бурения и дебита нефтегазовых скважин / Н.И. Крысин, Т.Н. Крапивина. — Москва : Инфа – Инженерия, 2018. — 340 с.
- 3 Амиян, В. А. Физико-химические методы повышения производительности скважин / В. А. Амиян, В. С. Уголев. — Москва : Недра, 1970. — 280 с.
- 4 Логинов, Б.Г.. Руководство по кислотным обработкам скважин / Б. Г. Логинов, Л. Г. Малышев, Ш. С. Гарифуллин. — Москва : Недра, 1966. — 396 с.
- 5 Тухтеев, Р. М. Эффективность гипано-кислотных обработок скважин / Р. М. Тухтеев // Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений : Сб. науч. трудов ; Уфа – 1999. – С.150–156.
- 6 Бабалян, Г. А. К вопросу теории действия поверхностно-активных веществ (ПАВ) на процесс освоения скважин / Г. А. Бабалян // Вопросы технологии добычи нефти и бурения нефтяных скважин : Сб. науч. трудов ; Уфа – 1996. – №. 6. – С.15–17.
- 7 Дергач, С.Р. Использование ПАВ для интенсификации нефтедобычи при первичном и вторичном вскрытии пластов / С. Р. Деркач, Г. И. Берестова, Т.А. Мотылева // Вестник Мурманского государственного университета. – 2010. – Т.6, № 4–1. С. 784–792.
- 8 Лушпееев, В. А. Основы разработки нефтяных и газовых месторождений / В. А. Лупшееев, В. М. Мешков, Г. К. Ешимов. – Тюмень, 2011. – 245 с.

9 Сургучёв, М.Л. Применение мицеллярных растворов для увеличения нефтеотдачи пластов / М. Л. Сургучев, В. А. Шевцов, В. В. Сурина. – Москва : Недра, 1977. – 175 с.

10 Chang, Hong Gao. Microbes enhance oil recovery through various mechanisms / C. Hong, A. Zekri, K. El-Tarably // Oil and Gas Journal. – 2009. – № 17. – Р. 39–43.

11 Сабахова, Г. И. Применение микробиологического воздействия для увеличения нефтеизвлечения / Г. И. Сабахова, К. Р. Рафикова, М. Р. Хисаметдинов // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 4. – С. 24–30.

12 Бурже, Ж. Термические методы повышения нефтеотдачи пластов / Ж. Бурже, П. Сурио, М. Комбарну. – Москва : Недра, 1989. – 422 с.

13 Усачев, П. М. Гидравлический разрыв пласта / П.М. Усачев. – Москва : Недра, 1986. – 165 с.

14 Васильев, В. А. Гидроразрыв пласта в горизонтальных скважинах / В. А. Васильев, А. Е. Верисокин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология, нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 6. – С. 101–110.

15 Гильмиев, Д. Р. Эффективность гидроразрыва пласта при рядной системе расстановки скважин / Д. Р. Гильмиев, А. Б. Шабаров // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. – 2013. – № 7. – С. 54–63.

16 Кудинов, А. И. Основы нефтепромыслового дела / А. И. Кудинов. – Ижевск : Удмуртский госуниверситет, 2008г. – 729 с.

17 Ловля, С. А. Торпедирование и перфорация скважин / С. А. Ловля, Л. А. Горбенко, Б. Л. Каплан. – Москва : Гостоптехиздат, 1959. – 248 с.

18 Дыбленко, В. П. Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия / В.П. Дыбленко, Р.Н. Камалов, Р.Я. Шариффулин, И.А. Туфанов. – Москва: Недра, 2000. – 381 с.

19 Ахметшин, Э. А. Опыт применения вибровоздействия на призабойную зону скважин / Э. А. Ахметшин, Р. М. Нургалеев, М. Р.

Фазлутдинов // НТС. Текущая информ. Сер. Нефтепромысловое дело. – 1970. – № 8. – С. 43–48.

20 Кузнецов, О. Л. Применение ультразвука в нефтяной промышленности / О. Л. Кузнецов, С. А. Ефимова. – Москва : Недра, 1983. – 192 с.

21 Попов, А. А. Ударное воздействие на призабойную зону скважин / А. А. Попов. – Москва : Недра, 1990. – 157 с.

22 Садовский, М. А. Перспективы вибрационного воздействия на нефтяную залежь с целью повышения нефтеотдачи / М. А. Садовский, М. Т. Абасов, А. В. Николаев // Вестник АН ССР. – 1986.– №9. – С. 95–99.

23 Марфин, Е.А. Скважинная шумометрия и виброакустическое воздействие на флюидонасыщенные пластины : учебно–методическое пособие / Е. А. Марфин. – Казань: Изд-во Казанский университет, 2012. – 44 с.

24 Яковлев, А. Л. Технические средства для обработок скважин с использованием виброволнового воздействия. Скважинные генераторы колебаний / А. Л. Яковлев, Ю. А. Шамара, Е. Н. Даценко // Наука. Техника. Технологии. – 2016. – № 1. – С. 139–148.

25 Дыбленко, В. П. Волновые методы воздействия на нефтяные пласты с трудноизвлекаемыми запасами. Обзор и классификация / В. П. Дыбленко. – Москва : ОАО «ВНИИОЭНГ», 2008. – 80 с.

26 Крутин, В. Н. Механизм акустической интенсификации притоков нефти из продуктивных пластов / В. Н. Крутин // Каротажник. – 1998. – № 42. – С. 46–53.

27 Ганиев, Р. Ф. Нелинейная волновая механика и технологии. Волновые и колебательные явления в основе высоких технологий / Р. Ф. Соколов, Л. Е. Украинский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Институт компьютерных исследований; Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. – 780 с.

28 Куликов, В. В. Моделирование импульсных воздействий на прискважинную зону нефтяного пласта / В.В. Кузьмин // Инженер–нефтяник. – 2008. – № 4. – С. 30–32.

29 Муслимов, Р. Х. Анализ эффективности термоволнового воздействия на Мордово–Кармальском месторождении / Р. Х. Муслимов, Ю. В. Волков // Бурение и нефть. – 2003. – № 1. – С. 18–22.

30 Мордвинов, А. А. Освоение эксплуатационных скважин : учебное пособие для вузов – Изд. 2-е, перераб. и доп. / А. А. Мордвинов. – Ухта: УГТУ, 2008. – 139 с.

31 Гадиев, С. М. Влияние вибрации на реологические свойства жидкостей / С. М. Гадиев, Е. З Рабинович, В. М. Карапашева // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1981. – №1. – С. 43–46.

32 Дыбленко, В. П. Фильтрационные явления и процессы в насыщенных пористых средах при виброволновом воздействии / В. П. Дыбленко, И. А. Туфанов, Г. А. Сулейманов, А. П. Лысенков // Тр. Ин-та БашНИПИнефть.– 1989. – №80. – С.45–51.

33 Легаев, П. В. Разработка лабораторного стенда для моделирования и исследования параметров работы клапана гидродинамического скважинного генератора / П. В. Легаев, П. М. Кондрашов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2014. – №6. – С. 58–80.

34 Пат. 2522195 Российская Федерация, МПК E 21 B 28/00, E 21 B 43/25. Устройство для гидроимпульсного воздействия на призабойную зону пласта / И. Н. Файзуллин, Р. Ф. Набиуллин, А. Р. Гусманов, Р. С. Губаев, Р. И. Садыков ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Татнефть" имени В.Д. Шашина. – № 2013111557/03 ; заявл. 03.14.2013 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19. – 9 с.

35 Пат. 2263207 Российская Федерация, МПК E 21 B 43/25, F 04 B 47/00. Установка гидроимпульсная для освоения скважин / М. И. Галай, В. М. Никитин, А. Н. Герасимов, А. Г. Газаров ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Когалымский научно

исследовательский и проектный институт нефти (ООО "КогалымНИПИнефть"). – № 2004104593/06 ; заявл. 16.02.2004 ; опубл. 27.10.2005, Бюл. № 30. – 5 с.

36 Pat. 0060115010 A United States, Int/Cl E 21 B 43/25. Dual tubing pump for stimulation of oil-bearing formations / S. A. Kostrov ; assigne Applied Seismic Research Corporation/ – № 6015010 ; 18.01.2001. – 7 p.

37 Пат. UA74708 Украина, МПК E 21 B 43/25, E 21 B 37/06. Способ импульсно – волнового воздействия на призабойную зону скважины / Г. П Здольник, Ю. В. Верба. – № 2016203476/04 ; заявл. 26.04.2016 ; опубл 16.01.2016, Бюл № 42. – 8 с.

38 Пат. 2144440 Российская Федерация, МПК E 21 B 43/25, F 04 B 47/00. Способ возбуждения колебаний потока жидкости и гидродинамический генератор колебаний / В. П. Дыбленко, Е. Ю. Марчуков, В. И. Жданов, Р. Н. Камалов, И. А. Туфанов ; заявитель и патентообладатель Дыбленко Валерий Петрович. – № 98116022/28; заявл. 24.08.1998 ; опубл. 20.01.2000, Бюл. № 2. – 12 с.

39 Пат. 2144440 Российская Федерация, МПК F 15 B 21/12, B 06 B 1/18. Способ генерирования колебаний жидкостного потока и гидродинамический генератор таких колебаний / Р. Н Камалов. – № 2005104558/06 ; заявл. 21.02.2005 ; опубл. 10.04.2007, Бюл. № 10. – 8 с.

40 Pat. 3768520 United States, Int/Cl F 15 C 1/16. Fluidic high pressure hydraulic pulsator / R. Fabio ; assigne Westinghouse Electric Corporation. – № 241617 ; 06.04.1972. – 6 р.

41 Пат. 2511888 Российская Федерация, МПК F 15 B 21/12, B 06 B 1/18. Способ генерирования колебаний жидкостного потока и гидродинамический генератор колебаний для его осуществления / Р. Н Камалов, В. И. Жданов, А. П. Лысенков, В. Г. Базаров, М. Ф. Архипова, Г. А. Сулейманов, О. С. Белобокова ; заявитель и патентообладатель Камалов Рустэм Наифович , Жданов Владимир Игоревич, Лысенков Александр

Петрович. – № 20131406589/06 ; заявл. 01.09.2013 ; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 13. – 10 с.

42 Репульсин [Электронный ресурс] : научный блог про энергию вихря. – Москва, 2017. – Режим доступа : <http://evgars.com/vr.htm>

43 Пат.WO 2006/123924, МПК F 03 D 5/00. Способ и устройство вихревого преобразования потока / М. Поляков, Н. Полякова. – № 2006/0000003 ; заявл. 19.05.2005 ; опубл. 18.05.2006.– 24 с.

44 Пат. 2148185 Российская Федерация, МПК F 03 D 5/00. Ветроротор / Ю. М. Антонов; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства. – № 98122297/06 ; заявл. 10.12.1998 ; опубл. 27.04.2000. – 5 с.

45 Pat. WO 2004/067957, Int/Cl F 03 D 3/06. A screw turbine device / J. Eielsen ;– № 2004/000026 ; 28.01.2004. – 15 p.

46 Пат. 2487262 Российская Федерация, МПК F 03 B 17/06. Турбинная установка / Й. И. Эйелсен ; заявитель и патентообладатель Флумилл АС, Норвегия. – № 20101133623/06 ; заявл. 19.01.2009 ; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 6. – 9 с.

47 Pat. WO 2006/059094, Int/Cl F 03 B 17/06, F 03 D 3/00. Apparatus for the generation of power from a flowing fluid / M. Bowie ;– № 2005/004586 ; 30.11.2005. – 37 p.

48 Халатов, А. А. Теория и практика закрученных потоков / А. А. Халатов. – Киев : Наук. думка, 1989. – 190 с.

49 Ахметов, Ю. М. Особенности моделирования закрученного течения потока жидкости в замкнутом контуре вихревых устройств / Ю. М. Ахметов, Р. Р. Калимуллин, Р. Ф. Хакимов // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2016. – №4. – С. 36–45.

50 Митрофанова, О. В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок : [монография] / О. В. Митрофанова. – Москва : Физматлит, 2010. – 287 с

51 Щукин, В. К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил / В. К. Щукин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1980. – 331 с.

52 Manglik, R. M. Visualization of Swirl Flows Generated / R. M. Manglik, C. A. Ranganathan // World Conf. on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics. – 1997. – № 3. – P. 1631–1636.

53 G. Nagel, Archimedean Screw Pump Handbook, Prepared for Ritz-Altro Pumpwerksbau GMBH Roding, Nürnberg, Germany, 1968.

54 Lee, C. An experimental investigation of the effects of turbulence generators attached to an axial swirler nozzle on mixing and combustion / C. Lee, C. Moon // Aerospace Science and Technology. – 2002. – № 6 (7). – P. 517–520.

55 Yehia, E. CFD insight of the flow dynamics in a novel swirler for gas turbine combustors / E. Yehia, K. Saqr, H. Aly, M. Jaafar // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2009. – № 36(9). – P. 936–941.

56 Webb, R .Principles of Enhanced Heat Transfer / R. Webb //New York: John Wiley & Sons. – 1994. – 556 p.

57 Bergles, F. The Encouragement and Accommodation of High Heat Fluxes / F. Bergles // Proc. 2nd European Thermal-Sciences and 14th UIT National Heat Transfer Conf. Rome, Italy. – 1996.

58 Karuppusamy, P. Design, Analysis of flow Characteristics of Catalytic Converter and effects of Backpressure on Engine Performance / P. Karuppusamy, Dr. Senthil // International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology. – 2013. – № 1(6). P. 13-24.

59 Vanadzina, E. Electricity production as an effective solution for associated petroleum gas utilization in the reformed Russian electricity market / E. Vanadzina, O. Gore, S. Viljainen // Lab. Electricity Market and Power Systems Lappeenranta University of Technology Lappeenranta, Finland. –2015.

60 Bidmus, H.O. Heat-transfer analogy for wax deposition from paraffinic mixtures / H.O. Bidmus, A.K. Mehrotra, // Industrial & Engineering Chemistry Research. –2004. – № 43(3). – P. 791-803.

61 Edmonds, B. Simulating wax deposition in pipelines for oil assurance / B. Edmonds, T. Moorwood, R. Szczechanski, X. Zhang // Energy Fuels. – 2008. – № 22. – P. 729–741.

62 Дунюшкин, И. И. Расчеты физико-химических свойств пластовой и промысловой нефти и воды : учеб. пособие для вузов / И. И. Дунюшкин, И. Т. Мищенко, Е. И. Елисеева 2004. - 446 с.

Приложение А
Скважинный гидродинамический вихрегенератор
Сборочный чертеж

Приложение Б
Патентный обзор

Приложение В
Достижения

Приложение Г
Результат проверки на антиплагиат

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа
Кафедра «Технологические машины и оборудование нефтегазового
комплекса»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Э.А. Петровский
подпись инициалы, фамилия

«21 » 06 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Скважинный гидродинамический вихревентор
тема

15.04.02 Технологические машины и оборудование
код и наименование направления

15.04.02.02 Надежность технологических машин
и оборудования нефтегазового комплекса
код и наименование магистерской программы

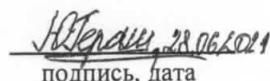
Руководитель


подпись, дата

д.т.н., профессор
должность, ученая степень

Э.А. Петровский
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

Ю.А. Геращенко
инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата

д.т.н., профессор
должность, ученая степень

Р.Т. Емельянов
инициалы, фамилия

Красноярск 2021