**Русских Григорий Серафимович. Динамика низкочастотных гидравлических генераторов упругих волн с регулированием частоты излучения : диссертация ... кандидата технических наук : 01.02.06 / Русских Григорий Серафимович; [Место защиты: Ом. гос. техн. ун-т].- Омск, 2010.- 143 с.: ил. РГБ ОД, 61 10-5/3252**

**ГОУ ВПО «ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



****

**Русских Григорий Серафимович**



****

**Динамика низкочастотных гидравлических генераторов упругих волн с регулированием частоты излучения**

Специальность 01.02.06 - Динамика, прочность машин, приборов и

аппаратуры

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель д.т.н., профессор Бурьян Ю.А.

Омск-2010

Введение 5

1. Область применения и конструкции гидрогенераторов упругих

волн 12

* 1. Существующие способы вибрационной обработки продуктивного

нефтеносного пласта 14

* 1. Классификация источников сейсмических волн 17
	2. Недостатки поверхностных сейсмоисточников 19
	3. Конструкции существующих скважинных источников 20
1. Классификация автоколебательных гидравлических вибраторов... 3 9
2. Постановка задачи 41
3. [Низкочастотный гидравлический излучатель упругих волн 43](#bookmark5)
	1. Низкочастотный гидравлический излучатель упругих волн с автоколебательным приводом 43
		1. Общее описание низкочастотного гидравлического излучателя

упругих волн с автоколебательным приводом 43

* + 1. Автоколебательный привод низкочастотного гидравлического

излучателя упругих волн с зазором в обратной связи 45

* + 1. Математическая модель автоколебательного привода низкочастотного гидравлического излучателя упругих волн с катарактой в обратной гидравлической связи и поршнем двустороннего

действия 49

* + 1. Математическая модель автоколебательного привода низкочастотного гидравлического излучателя упругих волн с катарактой в обратной гидравлической связи и поршнем одностороннего

действия 56

* 1. Система автоматического управления погружными гидравлическими скважинными излучателями 60

частотой излучения погружного вибратора 61

1. Исследование устойчивости САУ 68
	1. Основные результаты и выводы 74
2. Компьютерное моделирование динамики низкочастотного гидравлического излучателя упругих волн с автоколебательным

приводом 77

* 1. Аналитическое моделирование динамики низкочастотного

гидравлического излучателя упругих волн с автоколебательным приводом в программном пакете MATLAB\Simulink 79

* + 1. Структурная схема низкочастотного гидравлического

излучателя упругих волн с автоколебательным приводом 80

* + 1. Аналитическое моделирование низкочастотного

гидравлического излучателя упругих волн с автоколебательным приводом 82

* + 1. Определение конструктивных параметров низкочастотного гидравлического излучателя упругих волн с автоколебательным приводом 85
	1. Компьютерное имитационное моделирование процессов в

низкочастотном гидравлическом излучателе упругих волн с автоколебательным приводом в пакете Tesis FlowVision 87

* + 1. Описание расчетной модели 87
	1. Сравнение результатов моделирования в пакетах MATLAB\Simulink

и Tesis FlowVision 94

* 1. Результаты и выводы 96
1. Экспериментальное исследование погружного скважинного

излучателя упругих волн 97

* 1. Общее описание экспериментальной установки 97
		1. Устройство экспериментальной установки 97
		2. Настройка и принцип работы экспериментальной установки 102
	2. Определение характеристик лабораторного макета и датчиков 104

4.2.1 Определение характеристик лабораторного макета 105

1. Тарировка датчиков перемещения 108
	1. Расчёт основных параметров экспериментальной установки 111
	2. Порядок проведения и обработка данных эксперимента 114
	3. Конструктивные решения низкочастотных погружных

гидравлических генераторов с автоколебательным приводом 116

* 1. Практические рекомендации по построению низкочастотных погружных гидравлических генераторов с автоколебательным

приводом 118

* 1. Результаты и выводы 119

Основные результаты и общие выводы 120

Список использованной литературы 122

[Приложения 140](#bookmark32)

**ВВЕДЕНИЕ**

Гидравлические вибрационные устройства широко используются в различных отраслях техники, машиностроения и сельского хозяйства.

Одной из отраслей, широко использующей гидравлические вибрационные устройства, является нефте- и газодобыча.

При используемых в настоящее время технологиях разработки месторождений объем извлекаемой нефти оценивается в 30-50% [28,45,112,119]. Таким образом, 50-70% её объёма остается в пластах. Прирост добычи нефти в основном происходит за счет ввода в эксплуатацию новых месторождений (на больших глубинах и в новых малообжитых районах). Как показала практика, в том числе и в зарубежных странах, повышение нефтеотдачи уже обустроенных месторождений становится экономически все более выгодным, даже при существенных дополнительных затратах.

Одним из наиболее отработанных на практике и показавших свою эффективность методов является метод интенсификации добычи нефти путем сейсмоакустического (волнового) воздействия на продуктивные пласты с помощью мощных поверхностных сейсмоисточников, расположенных в зоне эксплуатируемого месторождения^,43,52]. Согласно одной из теорий низкочастотное вибросейсмическое воздействие порождает вторичное ультразвуковое излучение непосредственно в каждом

пространственном элементе пласта, обладающем блочной структурой. Это приводит к разрушению существующих пленок, препятствующих фильтрации нефти. Благодаря этому проницаемость каналов частично восстанавливается. Опытно-промышленными работами на месторождениях Сибири, Башкортостана и др. показана эффективность вибросейсмического метода интенсификации добычи нефти. На практике доказано [5,38,104-106], что при наведении в толще обводненного пласта волнового поля с амплитудой смещения не менее 3-5 нм на доминантных частотах (5-20 Гц) происходит увеличение дебета нефти до 120-180%. Причем данный положительный эффект сохраняется до 12 месяцев после прекращения вибровоздействия. Повторное вибровоздействие так же приносит схожий результат.

Сейсмические источники большой мощности стали появляться в СССР в конце 70-х - начале 80-х годов прошлого столетия. Их созданием занимались видные ученые: А.С. Алексеев, А.С. Алешин, Ю.А. Бурьян, Б.В. Войцеховский, П.Я. Крауинын, М.В. Курленя, А.В. Николаев, Н.П. Ряшенцев, Б.Ф. Симонов, В.Н. Сорокин, С.В. Сердюков, Е.Н. Чередников, И.С. Чичинин, А.С. Шагинян, В.И. Юшин и другие [11-20, 105, 106, 109, 120­128].

Одним из основных требований технологии ВСВ является точность поддержания частоты излучения. Проведенные исследования показывают, что при отклонении частоты излучения от доминантной частоты пласта более чем на 0,1 Гц происходит резкое снижение эффективности воздействия.

Широкое внедрение технологии вибросейсмического воздействия с помощью мощных наземных источников сдерживается по ряду причин. Одна из основных - это большие потери энергии (до 80%), обусловленные формированием поверхностных волн и поглощением энергии волн в зоне малых скоростей земной поверхности[[1]](#footnote-1). Поэтому актуальной является задача создания источника, который лишен данного недостатка, присущего существующим поверхностным сейсмоисточникам. Такого недостатка будет лишен источник, производящий воздействие непосредственно на глубине залегания пласта.

**Цель диссертационной работы:** разработка конструктивных решений и методов расчета погружных низкочастотных гидравлических генераторов упругих волн с регулированием частоты излучения.

**Задачи исследования:**

1. Разработать математическую модель динамических процессов в

погружном скважинном гидравлическом генераторе упругих волн с

автоколебательным приводом.

1. Исследовать динамические процессы в погружном скважинном гидравлическом генераторе упругих волн с автоколебательным приводом.
2. Разработать и исследовать систему автоматического управления для погружных гидрогенераторов без автоколебательного режима работы с целью стабилизации частоты излучения.
3. Провести экспериментальное исследование динамических процессов в

погружном скважинном гидравлическом генераторе упругих волн с'

автоколебательным приводом на базе лабораторного макета.

1. Разработать схемные и конструктивные решения генераторов упругих волн с автоколебательным приводом.
2. Выработать практические рекомендации по проектированию

погружных скважинных гидравлических генераторов упругих волн с

автоколебательным приводом.

**Научная новизна** заключается:

* в разработке математической модели динамических процессов в

автоколебательном гидравлическом приводе с катарактой в обратной связи и принципов его построения;

* в установлении закономерностей динамических процессов в погружном вибраторе на базе автоколебательного гидравлического привода с катарактой в обратной связи и в обосновании соответствия технических характеристик вибратора технологии ВСВ;

- в разработке системы автоматического управления частотой излучения погружных гидродинамических вибраторов золотникового, шаберного, роторного и пр. типов с устья скважины, определения условий устойчивости и точностных характеристик САУ.

**Практическая значимость** заключается в разработке конструктивных решений и практических рекомендаций для построения погружных гидравлических генераторов упругих волн с автоколебательным приводом и разработке САУ для стабилизации частоты излучения гидродинамических погружных вибраторов, позволяющей проводить воздействие по технологии ВСВ.

**Достоверность** полученных результатов обеспечивается корректным применением математического аппарата, основных положений гидродинамики, теоретической механики, теории колебаний, использованием общепризнанных допущений. Адекватность предложенной математической < модели погружного скважинного гидравлического генератора упругих волн с автоколебательным приводом экспериментальными исследованиями макета., автоколебательного гидравлического генератора, проведёнными в лабораторных условиях с применением серийно выпускаемых средств измерения и контроля.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Математическая модель погружного генератора упругих волн на базе автоколебательного гидравлического привода с катарактой в обратной связи.
2. Система автоматического управления для обеспечения заданной точности стабилизации частоты излучения погружными гидродинамическими вибраторами золотникового, шаберного и пр. типов.
3. Основные закономерности рабочих процессов в погружном генераторе упругих волн на базе автоколебательного гидравлического привода с катарактой в обратной связи, которые позволяют определить основные

параметры и характеристики генератора, отвечающие требованиям технологии ВСВ.

1. Схемные и конструктивные решения генераторов упругих волн с регулированием частоты излучения.
2. Практические рекомендации по проектированию погружных скважинных гидравлических генераторов упругих волн с автоколебательным приводом.
3. Результат экспериментального исследования модели погружного генератора упругих волн на базе автоколебательного гидравлического привода с катарактой в обратной связи.

**Апробация работы и публикации.** Основные положения и результаты работы докладывались и получили положительные отзывы на

1. Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Россия

молодая: передовые технологии - в промышленность» (Омск, 2008),,

1. Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Россия

молодая: передовые технологии - в промышленность» (Омск, 2009),,

VII Межвузовской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Молодежь, наука, творчество» (Омск, 2009), VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии и экономика в машиностроении» (Юрга, 2009), VI международном семинаре «Физико-математическое моделирование систем» (Воронеж, 2009), Международной научно-практической конференции «Инженерные системы-2010» (Москва, 2010), региональной молодежной научно-технической конференции «Омское время - взгляд в будущее» (Омск, 2010). По результатам работы опубликовано восемь печатных работ[ 12,15,94-99] (одна из них [12] в журнале, рекомендованном ВАК РФ).

Разработка отмечена дипломом конкурса работ молодых ученых по программе «У.М.Н.И.К.».

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 143 страницах текста, состоит из введения, 4 глав и одного приложения, содержит 55 рисунков, 7 таблиц. Список литературы включает 128 наименований.

В первой главе выполнен обзор конструкций и область применения гидравлических генераторов упругих волн, в том числе и с автоколебательными приводами. Отмечена тенденция по использованию нестандартных систем гидроприводов для повышения нефтеотдачи действующих и, в особенности, застойных участков залежи нефти. Показана перспективность метода ВСВ, позволяющего существенно повысить нефтеотдачу и имеющего продолжительный положительный эффект после прекращения воздействия (до 12-ти месяцев). Рассмотрены основные недостатки современных наземных и подземных источников для виброобработки нефтяного пласта. Указаны преимущества подземных источников перед наземными. Приведена классификация подземных источников сейсмических волн. Отдельно рассмотрены гидравлические приводы и источники упругих волн с автоколебательным приводом и приведена их классификация.

В результате проведенного анализа сформулированы основные технические требования, цель и задачи исследования погружных низкочастотных гидравлических генераторов упругих волн с регулированием частоты излучения.

Вторая глава посвящена анализу конструкции низкочастотных гидравлических генераторов упругих волн с регулированием частоты излучения.

В качестве вариантов принципиальных схем погружных гидрогенераторов рассмотрены:

1. Низкочастотный погружной гидравлический генератор упругих волн с автоколебательным приводом:

а. с зазором в обратной связи;

1. с катарактой в обратной связи и поршнем двухстороннего действия;
2. с катарактой в обратной связи и поршнем одностороннего действия.

2. Погружные гидрогенераторы золотникового, шаберного, роторного и пр. типов с системой автоматического управления частотой изучения с устья скважины.

Проведенные предварительные расчеты позволяют определить оптимальный вариант конструкции погружного скважинного излучателя упругих волн.

**Третья глава** посвящена уточнению динамики автоколебательного привода с катарактой в обратной связи и цилиндром двухстороннего действия погружного скважинного генератора упругих волн методами численного моделирования.

В данной главе рассмотрены 2 варианта моделирования:

* в пакете MATLAB\Simulink;
* методом конечных элементов, проведенное в среде Tesis FlowVision.

**В четвертой главе** предлагаются конструктивные решения погружного генератора упругих волн с автоколебательным приводом и описывается экспериментальное исследование динамических процессов, протекающих в автоколебательном приводе с катарактой в обратной связи и цилиндром двухстороннего действия погружного скважинного генератора упругих волн.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель генератора упругих волн на базе автоколебательного гидравлического привода с катарактой в обратной связи. Для данной модели получено аналитическое решение и проведено моделирование в среде MATLAB\Simulink. Разность между полученными результатами лежит в пределах 2% по амплитуде и 1% по частоте автоколебаний.
2. Разработана и исследована система автоматического управления для погружных гидрогенераторов без автоколебательного режима работы с целью стабилизации частоты излучения. Показана принципиальная возможность создания устойчивой САУ и её использования для проведения ВСВ с помощью - гидравлических виброгенераторов золотникового, шаберного, роторного и пр. типов.
3. Определены основные закономерности рабочих процессов в погружном генераторе упругих волн на базе автоколебательного гидравлического привода с катарактой в обратной связи, позволяющие определить основные параметры и характеристики генератора, отвечающие требованиям технологии ВСВ.
4. Предложена конструкция генератора упругих волн на базе автоколебательного гидравлического привода с катарактой в обратной связи. Конструкция отличается компактностью, что позволяет использовать погружной гидравлический генератор упругих волн с автоколебательным приводом в обсадных трубах с диаметрами, применяемыми в нефтедобыче.
5. Создан лабораторный макет гидравлического генератора с автоколебательным приводом, проведено экспериментальное исследование динамических процессов в погружном скважинном гидравлическом генераторе упругих волн с автоколебательным приводом и их анализ. Полученные результаты показали удовлетворительное совпадение теоретических и опытных данных. Максимальная погрешность по амплитуде составила 8%, а по частоте - *4 %.*
6. Опираясь на полученные результаты и предложенную конструкцию, выработаны практические рекомендации по проектированию погружных скважинных гидравлических генераторов упругих волн с автоколебательным приводом.
1. Зона малых скоростей - верхний рыхлый слой, характеризующийся небольшими значениями сейсмических скоростей от 80-100 до 1200-2000 м/с. Глубина варьируется в широких пределах от 1-2 до 100-200 м. [↑](#footnote-ref-1)