

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
Кафедра технологии машиностроения и промышленной робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Динамические процессы действующие на долото с алмазными поликристаллическими резцами

УДК 622.24.051:531.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Мельнов Кирилл Вячеславович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гаврилин Алексей Николаевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	К.Х.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Вильнин А.Д.			

Томск – 2017 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению 15.04.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль
подготовки «Конструирование технологического оборудования»
ИК ТПУ, кафедра ТМСПР, руководитель ООП Гаврилин А.Н.

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания <i>нового</i> технологического оборудования и его эксплуатации.	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК-2, 3). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных методов проектирования и технологий машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п.2.1, п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием технологических машин и их эксплуатацией, с использованием производственных испытаний, системного анализа, моделирования объектов и процессов машиностроения	Требования ФГОС ВО (ПК-5-9). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P4	<i>Разрабатывать и проектировать</i> новое оборудование и технологические машины и использовать <i>новое</i> оборудование, и инструменты для производства изделий, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-15-17). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> при создании современных высокоэффективных машин, технологий производства изделий, материалов, nano технологий.	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК-16.). Критерий 5 АИОР (п.1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила	Требования ФГОС ВО (ОК-2, ПК-9, ПК-11, 12,13,14). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

	охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ОПК -4, ПК-2, ПК-3, ПК-13, ПК-14, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОПК-3, ОПК-4, ПК-13, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания</i> социальных, этических и культурных аспектов, компетентность в вопросах устойчивого развития.	Требования ФГОС ВО (ОК-2). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P11	<i>Самостоятельно</i> учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики

Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Кафедра технологии машиностроения и промышленной робототехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись)

(Дата)

(ФИО)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ51	Мельнову Кириллу Вячеславовичу

Тема работы:

Динамические процессы действующие на долото с алмазными поликристаллическими резцами

Утверждена приказом директора (дата, номер)

21.04.2017 г № 2753/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

05.06.2017

<p align="center">ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ</p> <p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Провести исследования динамики работы долота с алмазными поликристаллическими резцами, выявить причины повышенного износа бурового инструмента. Исследования выполнить при условиях приближенных к реальным, действующих при бурении скважин.</p>
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Данная тема мало исследована в науке. Задача работы заключается в разработке математической модели, кинематическом и динамическом анализе. Выявление частотных характеристик динамической системы. Определение динамики работы долота. Исследование конструкторско-технологических методов, направленных на снижение динамических нагрузок воздействующих на буровое долото с резцами PDC</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицын В.В.
Социальная ответственность	Пустовойтова М.И.
Немецкий язык	Прохорец Е.К.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Обзор литературы

Дата выдачи задания на выполнение выпускной	09.09.2015
---	------------

квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гаврилин А.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Мельнов К.В.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 162 с., 70 рисунков, 23 таблицы, 64 источника, 1 прил.

Ключевые слова: долото PDC, динамические нагрузки, обратная прецессия, вибродиагностика, снижение вибрации.

Цель работы – установить динамические нагрузки, действующие на долото с алмазными поликристаллическими резцами, возникающие в процессе бурения и приводящие к снижению стойкости бурового инструмента.

Объектом исследования является буровой инструмент, применяемый при бурении нефтегазовых и геологоразведочных скважин.

Предметом исследования являются динамические нагрузки, возникающие в скважине при бурении воздействующие на долото.

В процессе исследования проведен анализ кинематики буровой колонны, динамических параметров действующих на долото.

В результате исследования предложены конструкторско-технологические методы снижения динамических нагрузок, описаны процессы, приводящие к интенсивному износу бурового инструмента.

Эффективность выполнения исследования, по установлению и снижению динамических нагрузок, обусловлена заинтересованностью компании British Petroleum, по гранту которой были проведены данные исследования.

В будущем планируется внедрение результатов исследования в процесс бурения скважин, для подтверждения эффективности проведенной работы.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Долото PDC (polycrystalline diamond cutters - поликристаллические алмазные резцы) – относятся к породоразрушающему инструменту, применяемому для бурения нефтяных и газовых скважин.

КНБК – компоновка низа бурильной колонны.

Механическая скорость бурения — показатель, характеризующий темп разрушения горной породы, выраженный в метрах проходки за 1 ч работы долота на забое. Интенсивность разрушения горных пород, характеризующаяся механической скоростью, используется для оценки эффективности внедрения новых долот, забойных двигателей, режимов бурения, промывочных жидкостей.

Момент бурения – усилие, затрачиваемое буровой колонной для бурения определенного участка скважины.

Прецессия – явление, при котором момент импульса тела меняет своё направление в пространстве.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	11
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	14
2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	29
2.1 Анализ колебаний буровой колонны	29
2.1.1 Осевая вибрация	31
2.1.2 Торсионная вибрация	32
2.1.3 Поперечная вибрация	34
2.2 Применение демпфирующих устройств	36
3. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	41
3.1 Проведение эксперимента	42
3.1.1 Технологические методы снижения вибрации	42
3.1.2 Результаты эксперимента	46
3.1.3 Конструкционные методы снижения вибрации	52
3.1.4 Результаты эксперимента	54
3.2 Построение математической модели	64
3.2.1 Расчетная схема	70
3.2.2 Расчет параметров	74
3.2.3 Результаты математического моделирования	78
3.2.4 Исследование математической модели	82
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	89
4.1 Общие сведения о научно-техническом исследовании	89
4.2 Предпроектный анализ	90
4.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования	90
4.2.2 Анализ конкурентных технических решений	92
4.3 Планирование научно-исследовательских работ	96
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	96
4.3.2 Продолжительность этапов работ	97
4.3.3 Бюджет научно-технического исследования	102

4.3.4	Расчет материальных затрат НТИ	102
4.3.5	Основная заработная плата исполнителей	104
4.3.6	Отчисления во внебюджетные фонды	107
4.3.7	Контрагентные расходы	108
4.3.8	Накладные расходы	111
4.3.9	Расчет общей себестоимости разработки	111
4.4	Заключение	112
5.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	113
5.1	Профессиональная социальная безопасность	113
5.1.1	Анализ вредных факторов	113
5.1.2	Анализ опасных факторов	116
5.2	Экологическая безопасность	119
5.2.1	Влияние объекта исследования на окружающую среду	119
5.2.2	Мероприятия по защите окружающей среды	121
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	123
5.3.1	Анализ вероятных ЧС	123
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	127
5.4.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	127
5.4.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	129
	Заключение	133
	Список используемых источников	134
	Список публикаций	140
	Приложение Б	144

ВВЕДЕНИЕ

Значительный объем добычи нефти и газа считается определяющим фактором в экономике Российской Федерации, следовательно, снижение стоимости строительства скважин, в частности их углубления, остается важной проблемой основными задачами которой является оптимизация проектирования режима бурения, и конструкции буровой колонны.

Процесс углубления скважин в горных породах связан с необходимостью применения эффективных породоразрушающих долот. Кроме того, все больше стали применять скважины сложных профилей, в том числе с проводкой наклонно-направленных и горизонтальных участков стволов, поэтому к эффективным конструкциям породоразрушающих элементов в настоящее время интерес существенно возрос.

При бурении в породах от средней прочности до очень крепких абразивных до 70 % отказов долот происходит из-за выхода из строя части породоразрушающих зубков и разрушения корпусов шарошек, в связи с этим проводится исследование именно долот с твердосплавными поликристаллическими резцами, набирающих все большую популярность в нефтегазовом секторе.

Сложившаяся ситуация во многом обусловлена малым объемом текущей информации о динамических процессах в скважине, действующих как на долото так и на буровую колонну в целом, оказывая разрушающее воздействие.

Процесс бурения всегда характеризуется интенсивными вибрациями глубинного оборудования из-за многочисленных факторов, в частности, неоднородности горных пород, случайных колебаний осевой нагрузки, пульсации давления промывочной жидкости. С одной стороны, вибрации и создаваемые ими динамические силы увеличивают интенсивность разрушения породы, с другой вызывают износ и отказ забойных двигателей, появление усталостных напряжений в муфтах, замках и опорах долот, приводит к

проскальзывания долота на забое, виброперемещению колонны бурильных труб. Все это ведет к снижению показателей надежности глубинного бурового оборудования.

Для защиты от нежелательных вибраций и повышения прочности и долговечности элементов глубинного оборудования наиболее эффективным способом является применение виброгасящих устройств – демпферов, устанавливаемых над буровым инструментом.

Актуальность

Актуальность данной работы обусловлена повышением эффективности процесса бурения за счет подбора режимов работы и применения, наиболее простых и надежных виброгасящих устройств. Для этого необходимо исследовать действие динамических нагрузок на буровой инструмент, а также применять своевременную диагностику технического состояния глубинного бурового оборудования, основанную на вероятностно-статистических методах исследования.

Цель работы

Исследовать динамические нагрузки, действующие на долото с алмазными поликристаллическими резцами, возникающие в процессе бурения и приводящие к снижению стойкости бурового инструмента.

Задачи

- Провести анализ работы бурового оборудования (подземной части буровой колонны) при воздействии динамических нагрузок.

- Осуществить выбор режимов работы бурения с учетом анализа случайных колебаний буровой колонны, методами имитационного моделирования.
- Построить и провести исследование математической модели нижней части буровой колонны в процессе бурения
- Предложить виброгасящее устройство, позволяющее снизить динамические нагрузки, действующие на долото, негативно сказывающиеся на его стойкости.
- Применить метод вибродиагностики для оценки эффективности состояния процесса бурения.

Научная новизна

Исследованы динамические нагрузки, действующие на буровое долото, с применением метода неразрушающего контроля – вибродиагностики. Проведено исследование математической модели буровой колонны, для определения нагрузок приводящих к снижению его стойкости. Предложены технологические и конструкционные методы снижения динамических нагрузок, действующих на долото PDC.

Практическая значимость работы

Практическая значимость научного исследования заключается в исследовании динамических нагрузок и методах их снижения, для бурения нефтегазовых и геологоразведочных скважин, по гранту компании British Petroleum, на финансирование которой будут проведены данные исследования.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Целью данного раздела является изучение станков для исследования динамических нагрузок и результатов полученных в ходе исследования буровых долот.

Исследований направленных на выявление динамических нагрузок возникающих в процессе бурения на буровое долото проведено большое количество. Стоит отметить что динамические нагрузки не всегда вносят отрицательный эффект при бурении скважин, зачастую разрушение породы происходит более интенсивно за счет возникновения вибрации, что влечет за собой увеличение производительности в единицу времени. Однако ресурс бурового инструмента снижается, причем степень износа напрямую связана с видом горной породы. Более твердые породы быстрее изнашивают инструмент, при мягких породах, износ инструмента происходит не так интенсивно. Также стоит отметить, что стоимость 1 метра проходки скважины связана с механической скоростью, преобладающее влияние на которую оказывает ресурс долота. В геологических разрезах нефтегазовых месторождений Западной Сибири применяются в основном шарошечные долота, характеризующиеся низкой механической скоростью и стойкостью. Возникает необходимость пересмотра подхода к выбору породоразрушающего инструмента. Наиболее значимые результаты были получены при бурении породоразрушающими инструментами истирающе-режущего действия и представлены в исследованиях [1-4]. К этому технологически новому поколению долот относятся долота типа PDC (PolycrystallineDiamondCompact), режущие лопасти которых усилены поликристаллическими алмазными вставками, разрушение горной породы происходит в результате вдавливания в нее породоразрушающих элементов долота под действием осевой нагрузки и приложении к долоту вращательного момента. Для увеличения технико-экономических показателей предлагается новая компоновка низа бурильной

колонны, состоящая из долота PDC, виброгасителя, винтового забойного двигателя.

Моделированием работы шарошечных долот и изучением основных закономерностей взаимодействия вооружения шарошечных долот с забоем для определения кинематических и силовых характеристик работы шарошечных долот в разные годы занималось большое число исследователей, так, например, Бирюков И.М., Блинков О.Г., Долгушин В.В., Егерев А.Ф., Комм Э.Л., Попов А.Н., Пяльченков В.А., Симонов В.В., Спивак А.И., Трушкин Б.Н., Эйгелес Р.М. и др. Такой интерес к данной тематике, объясняется ее большой практической значимостью. От эффективности работы бурового инструмента во многом зависят экономические показатели строительства скважин. Вместе с тем, результаты исследований зачастую носят противоречивый характер, что вполне объяснимо высокой сложностью процессов, происходящих при работе долота на забое. Проведенный анализ известных результатов по данному направлению может быть полезен при проведении дальнейших исследований. При составлении обзора наряду с оригинальными работами использовались материалы, приведенные в работах [5, 7].

В ранних исследованиях, например, [3, 6, 8] и других, предпринимаются попытки моделировать работу долота с целью определения основных кинематических закономерностей движения шарошек по забою. Установлено, что венцы шарошек перекатываются по забою с проскальзыванием. В связи с этим предлагаются аналитические зависимости для определения положения мгновенных осей вращения шарошки, траекторий движения точек шарошки, частот вращения шарошек. При этом шарошка рассматривается как гладкий одно или многоконусный каток, перекатывающийся по недеформируемому забою.

Стоит отметить что исследованием, а также моделированием, долот типа PDC посвящено недостаточное количество исследований, в сравнении с шарошечными долотами. Данный вид бурового инструмента все чаще используется для бурения горных пород в Западносибирском регионе.

Востребованность долот PDC обусловлена технико-экономическими показателями бурения. Стойкость данного долота в несколько раз выше, нежели шарошечных, вследствие чего экономится время на спускоподъемных операциях, с сохранением производительности.

Исследованиям по сравнению эффективности работы долот PDC и шарошечных долот посвящена статья Трушкина О.Б., согласно исследованиям, которого выяснено что при сравнении коэффициентов динамичности данного бурового инструмента. Энергоемкость разрушения горной породы $A_{уд}$ рассчитывалась из соотношения совершенной работы к объему разрушенной породы за один оборот долота. Коэффициент динамичности бурового инструмента рассчитывается как отношение максимальной нагрузки G_{max} на долото к ее средней величине G .

В качестве показателя эффективности работы долот была принята энергоемкость разрушения горной породы, а в качестве показателя, ограничивающего применимость долот коэффициент динамичности [9].

При бурении шарошечными долотами имели место скачкообразное разрушение породы, регистрируемое при помощи тензометрических датчиков осевой нагрузки на долото. Тензометрические датчики были установлены непосредственно над долотом. Сигналы поступали в цифровой преобразователь и регистрировались с частотой дискретизации 2700 Гц. При бурении же долотами PDC также наблюдался скачкообразный процесс разрушения пластично-хрупкой горной породы. При малой интенсивности разрушения горной породы скачки разрушения следуют один за другим. Также по мере увеличения величины проходки, выраженной в мм/об, площадь контакта резцов с горной породой растет и в конечном счете наблюдается стабилизация процесса разрушения горной породы. Но при разрушении горной породы еще острыми твердосплавными резцами наблюдается весьма сильная вибрация, влияние которой в данной статье не рассматривается.

Рассмотрим стенды применяемые, либо находящиеся в стадии патентной разработки, в научно-исследовательских лабораториях компаний, занимающихся производством бурового инструмента.

В настоящее время известен стенд для определения технического состояния долота, моделирования работы бурового оборудования, инструмента и исследования процессов бурения [10].

Изобретение относится к горнодобывающей промышленности и может быть использовано при шарошечном бурении скважин на горных и нефтегазовых предприятиях. Устройство для определения технического состояния шарошечного долота содержит раму, с закрепленным на ней подающим механизмом, вращательного органа с возможностью создания нагрузки на диагностируемую шарошку диском для вращения шарошки, электродвигатель и шкивы ступенчатого регулирования скорости, станину для установки на нее шарошечного долота с возможностью закрепления на его лапы вибродатчика. Устройство дополнительно снабжено съемным патроном, для установки шарошечного долота с возможностью поворота вокруг своей оси, закрепленного на подвижной площадке с возможностью перемещения в горизонтальной плоскости с помощью рукояти, установленной на валу подающего червячного механизма и подвижной раме, нагружаемой рукоятью, установленной на валу подающего механизма, частотным преобразователем плавного регулирования скорости электродвигателя и блоком обработки сигналов, расположенных на раме, взаимосвязанным с датчиком измерения скорости вращения шарошки и датчиком вибрации, дисковой площадкой с прорезью и оптическим датчиком измерения расстояния высокой точности. Дисковая площадка выполнена с возможностью установки на вращающем органе и зафиксирована с помощью подающего механизма в вертикальной плоскости, а оптический датчик установлен в прорези дисковой площадки с возможностью перемещения датчика. Технический результат заключается в

повышении точности определения технического состояния шарошечного долота.

Изобретение иллюстрируется на рисунке 5, где: 1 - патрон, 2 - подвижная рама с возможностью перемещения в горизонтальной плоскости, 3 - станина, 4 - рукоять, связанная с червячным подающим механизмом, 5 - шарошечное долото, 6 - диск для вращения шарошки, 7 - электродвигатель, 8 - вращающий орган, 9 - шкивы ступенчатого регулирования скорости, 10 - частотный преобразователь плавного регулирования скорости, 11 - подающий механизм, 12 - нагружаемая рукоять, 13 - вибродатчик, 14 - датчик измерения скорости вращения шарошки, 15 - блок обработки сигналов, дисковая площадка 16 с прорезью для установки оптического датчика 17 измерения расстояния [11].

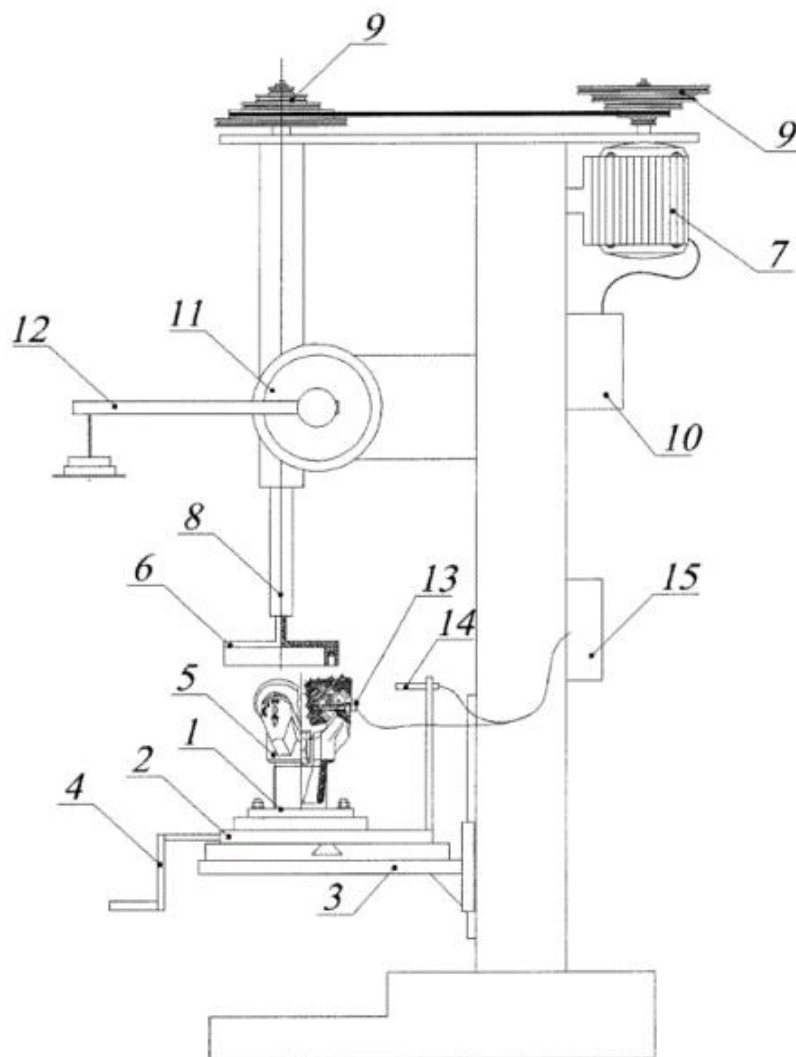


Рисунок 1.1 Стенд для исследования шарошечных долот

Устройство для определения технического состояния шарошечного долота, содержащее раму с закрепленным на ней подающим механизмом вращательного органа с возможностью создания нагрузки на диагностируемую шарошку диском для вращения шарошки, электродвигатель и шкивы ступенчатого регулирования скорости, станину для установки на нее шарошечного долота с возможностью закрепления на его лапы вибродатчика, отличающееся тем, что дополнительно снабжено съемным патроном для установки шарошечного долота с возможностью поворота вокруг своей оси [12], закрепленного на подвижной площадке с возможностью перемещения в горизонтальной плоскости с помощью рукояти, установленной на валу подающего червячного механизма и подвижной раме, нагружаемой рукоятью, установленной на валу подающего механизма, частотным преобразователем регулирования скорости электродвигателя и блоком обработки сигналов взаимосвязанным с датчиком измерения скорости вращения и датчиком вибрации, датчиком измерения расстояния высокой точности. Дисковая площадка выполнена с возможностью установки на вращающем органе и зафиксирована с помощью подающего механизма в вертикальной плоскости.

Перед эксплуатацией шарошечное долото устанавливают в патрон 1 и производят этап визуального осмотра, после чего производят подготовку для этапа диагностики. С помощью подвижной площадки 2, расположенной на станине 3, и рукояти 4, связанной с червячным механизмом подачи, шарошечное долото 5 выставляют таким образом, чтобы шарошка, подшипниковый узел которой диагностируется, находился под резиновым ободком диска для вращения шарошки 6. Вращение шарошки осуществляется путем передачи крутящего момента от вала электродвигателя 7 вращающемуся органу 8. Ступенчатое регулирование скорости осуществляется за счет разных диаметров шкивов 9, а плавное частотным преобразователем 10. С помощью подающего механизма 11

создают нагрузку на диагностируемую шарошку путем увеличения сменных грузов на конце рукояти 12. На лапу шарошечного долота устанавливается вибродатчик 13, а напротив диагностируемой шарошки на штативе устанавливают датчик измерения скорости вращения 14 шарошки, которые визуализируются с помощью блока обработки сигналов 15. С помощью патрона 1 с возможностью поворота вокруг своей оси шарошечное долото поворачивают и снимают показания с других лап шарошечного долота. Анализ полученных величин характеризует состояние подшипниковых узлов, что позволяет дать техническую оценку состояния шарошечного долота [12].

Если полученные показания в процессе вибродиагностики и определения разновысотности положения шарошек одинаковы или близки, то делается вывод, что шарошечное долото хорошо сбалансировано и оно может эксплуатироваться.

Результат проведения исследований на данном стенде заключается в возможности получения более точных данных о техническом состоянии шарошечного долота, что в свою очередь дает возможность судить о его стойкости, подбору оптимальных режимов бурения и горногеологических условий.

Стенд предназначен для повышения точности определения технического состояния шарошечного долота, после работы в стволе скважины. Целью является выявление нагрузок способствующих преждевременному выходу из строя бурового инструмента.

Недостатками данного устройства является отсутствие элементов, которые необходимы для точного определения причин выхода из строя шарошечного долота. Тем самым невозможно судить о стойкости долот и следовательно осуществить подбор оптимальных режимов бурения и горногеологических условий [13].

Данное устройство позволяет оценить техническое состояние бурового инструмента, при помощи испытаний примерно установить какой

ресурс пройдет долото. Преимуществом разрабатываемого стенда, для моделирования динамических нагрузок, является возможность создания как осевых, так и радиальных нагрузок, изгибающих моментов действующих на долото, различной мощности.

Следующим устройством, подходящим по виду исследования является стенд для моделирования работы бурового става в наклонной скважине, автор Мочуловский А.М [14].

Представленное в патенте устройство относится к буровому оборудованию и представляет собой стенд, представленный на рисунке 6, для моделирования работы бурового става в наклонной скважине, применяемый для испытания бесклиновых скользящих отклонителей. Сущность: стенд включает модель скважины в виде трубчатого элемента, модель бурового става, узлы создания крутящего момента и осевой нагрузки, модель забоя скважины в виде корпуса и содержащую шток с упорным подшипниковым элементом, контактный узел, датчики боковых усилий. Новым является то, что модель бурового става выполнена в виде вала отклонителя с узлом раскрепления, а модель скважины выполнена в виде корпуса отклонителя с окном под выдвижную плашку раскрепляющего узла и двух датчиков боковых усилий, зафиксированных один напротив окна корпуса, другой - напротив нижней секции вала отклонителя со стороны его поворота. Модель забоя выполнена со штоком, один конец которого на шлицах соединен переходником с нижней секцией вала, отклонителя, другой конец введен в полость корпуса и оснащен контактным узлом в виде прижатых к торцевой стенке корпуса шарикоподшипников в открытой обойме. При этом размеры элементов шлицевого соединения, штока, полости корпуса на штоке и обоймы выбраны с обеспечением качения шарикоподшипников по стенке корпуса в соответствии с поворотом нижней секции буровой колонны.

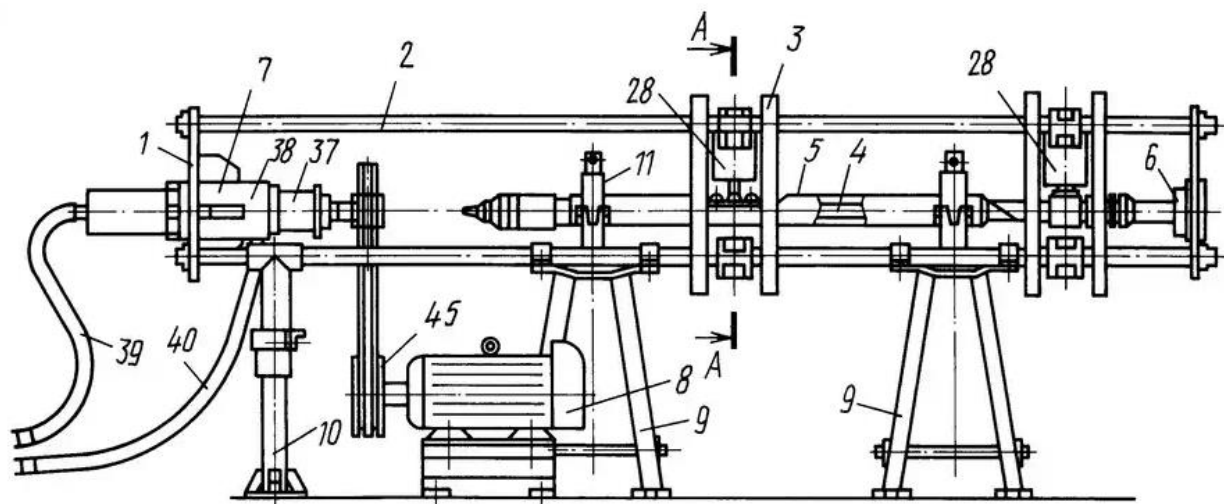


Рисунок 6. Стенд для моделирования бурения в наклонной скважине

Представленный в патенте стенд включает каркас, состоящий из левой и правой каркасных опорных "щек" 1, соединенных между собой каркасными штангами 2, на которых установлены с возможностью перемещения измерительные рамы 3; модель 5 скважины; модель 6 забоя; узел 7 создания осевой нагрузки; узел 8 создания крутящего момента. Оба датчика 28 боковых усилий зафиксированы в измерительных рамах 3, один - напротив плашки, другой - напротив нижней секции 19 вала, имитируют точки контакта выдвижной плашки и закрепленного в переходнике става породоразрушающего инструмента в скважине [15].

Работает стенд следующим образом, при включении гидросистемы стенда; подают питание датчикам 28 и 29 боковых усилий; переключением электромагнитов гидросистемы устанавливают для гидроцилиндра 38 режим "Вперед". Повышением давления в полости гидроцилиндров на отклонитель подают осевое усилие, рекомендуемое для проведения испытаний отклонителей; в сжатом состоянии выдвижная плашка 23 и смеситель 27 нижней секции вала упрутся в пальцы датчика 28 боковых усилий. При этом проводят замеры усилий; после этого электродвигатель 8 включают в сеть и приводят во вращение буровой снаряд. По ваттметру (не показано), включенному в схему электродвигателя 8 и размещенному на пульте

управления, определяют электрическую мощность, затрачиваемую на вращение вала отклонителя 1. Затем тахометром (не показано) определяют частоту "n" вращения вала снаряда; по формуле $M_{кр} = P/n$ определяют момент трения (где P - потребляемая мощность электродвигателя, возникающий в узлах отклонителя при вращении вала снаряда в рабочем состоянии. Выключают вращение, снимают осевое нагружение, извлекают датчик 28 из стакана в измерительной раме 3, расположенной над узлом отклонения для обеспечения вертикального перемещения нижней секции 19 вала отклонителя; в кронштейне 35 устанавливают датчик 36 угла перекоса; дают плавную нагрузку (осевым усилием) вала отклонителя посредством гидроцилиндра. Затем производят отсчет по датчику 36 длины противолежащего катета угла перекоса нижней секции вала отклонителя; производят расчет угла перекоса.

Стенд для моделирования бурового става не отвечает требованиям способствующим выявлению причин снижения стойкости бурового инструмента, в сравнении со стендом для моделирования динамических нагрузок на долото. В нем нет возможности исследования динамики работы самого бурового элемента в отдельности от буровой колонны, при исследовании которых позволит выявить причину преждевременного выхода из строя бурового инструмента. Также конструкция представленного стенда осложнена, так как включает и гидравлические и электрические силовые элементы [14].

Позднее было выявлено, что вооружение долота, также влияет на динамику работы долота со вставками из PDC резцов. Исследования, проведенные в университете Талса, расположенном в штате Оклахома [16]. Для проведения влияния углов наклона на эффективность бурения, выраженной в количестве энергии требуемой для разрушения единицы горной породы. Стенд представлен на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 Испытательный стенд высокого давления с единичным резцом

Испытательный комплекс высокого давления с единичным резцом предназначен для проведения экспериментов широкого спектра, на двух видах давления: атмосферном и повышенном и изучения влияния различных параметров на породоразрушающий инструмент. Камера давления способна вмещать образцы пород до 200 мм в диаметре и толщиной до 75 мм. Для проведения эксперимента были использованы образцы горных пород: мрамора, песчаника и сланцев. Свойства образцов этих горных пород схожи с типами пород встречающихся в нашем регионе. Испытываемый образец горной породы фиксируется в держателе и помещается внутри камеры. Испытательная камера, способна удерживать давление до 50 МПа. Давление на образцы нагнетается при помощи трех насосов. Оборудование может применяться отдельно на

имитацию давления скважины, и внутривертевого давления на образце породы. В данном исследовании авторы ограничились только давлением, которое действует внутри камеры, применяемом на горной породе.

После того, как образец горной породы помещается внутри камеры, вал в нижней части держателя образца соединен с роторной системой посредством механической коробки передач. Вращающаяся система состоит из двигателя переменного тока, с 10-ю лошадиными силами, и является основным источником для вращения образца горной породы внутри ячейки при желаемой скорости вращения. Другими словами, это образец горной породы, который вращается, в то время как фреза фиксируется, при испытании единичного резца. Все тесты проводились на скорости вращения 60 оборотов в минуту, которая эквивалентна скорости резания 0,9 фут / сек. Минеральное масло, использовали в качестве смазочно-охлаждающей жидкости на всех испытаниях под давлением.

Кромка единичного резца PDC зафиксирована в нижней части системы, в зацеплении резца с образцом, а второй конец соединен с пьезоэлементом. Острые и скошенные резцы диаметром 0,512 дюймов, или 13 мм, были использованы в экспериментах (рисунок 8). Имеется возможность регулирования глубины резания с помощью гайки смещения в системе зацепления резца. Точное значение глубины резания также измеряется штангенциркулем, после того как эксперимент проведен и образец горной породы извлекается из ячейки. После того, как глубина резания установлена, и ячейка находится под давлением, то образец горной породы вращается внутри ячейки, и в то же время резец PDC прижат к поверхности горной породы с помощью пневматического цилиндра двойного действия. Испытание заканчивается, как только достигается один круговой срез [16].

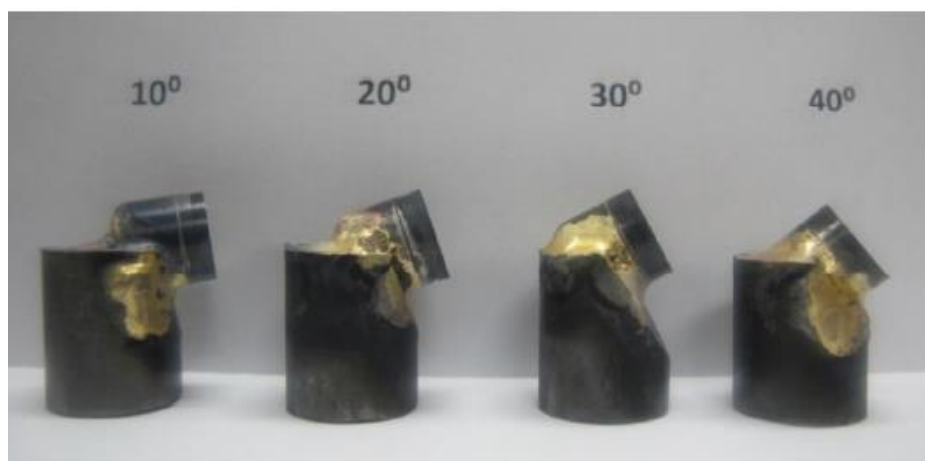


Рисунок 1.8 Единичные резцы PDC с различными углами наклона

Силы взаимодействия резца с горной породой измеряются и регистрируются системой сбора данных. Система сбора данных состоит из: а) установлен тензомер с трехмерным тензодатчиком на поперечных стенках и непосредственно на задней поверхности резца; б) преобразователь сигнала и усилитель; с) программное обеспечение для записи данных / компьютер. При взаимодействии резца с горной породой, силы, воздействующие на резец, измеряются в нормальных, касательных и радиальных направлениях тензорезисторов и отображаются в персональном компьютере.

Из результатов с эффектами влияния углов на удельную механическую энергию с мрамором и сланцевыми породами в условиях атмосферного и горного давлений можно сделать вывод. В этих испытаниях были использованы резцы PDC (рисунок 1.8). Удельная механическая энергия (УМЭ) резки мрамора при атмосферных условиях при переднем угле наклона 10 градусов составляет около 13,000 фунтов на квадратный дюйм, что соответствует 80 МПа [16]. Как видно УМЭ увеличивается по мере увеличения угла наклона режущей кромки, а при 40 градусов она составляет около 26,000 фунтов на квадратный дюйм, для системы СИ составляет 160 МПа, который в два раза больше, чем на 10 градусов с передним углом в тыльной плоскости.

Из результатов при горном давлении 250 фунтов на квадратный дюйм, при переводе, составляет 1,7 МПа, можно видеть, что УМЭ увеличивается от

40000 фунтов на квадратный дюйм до 80 000 фунтов на квадратный дюйм при одинаковом угле наклона, что равно 275 МПа и 550 МПа соответственно, снова двукратное увеличение. Аналогичное увеличение в два раза наблюдается также при горном давлении 500 фунтов на квадратный дюйм, соответствует 3,4 МПа. Отсюда видно, что при обоих условиях атмосферного и горного давления. УМЭ увеличивается в два раза с увеличением переднего угла от 10 градусов до 40 градусов. При переднем угле наклона 10 градусов требуется в два раза меньше энергии, чтобы разрезать тот же объем породы. Таким образом, угол равный 10 градусам в два раза более эффективен по сравнению с передним углом наклона в 40 градусов [17].

Также стоит в исследовании представлено влияние углов наклона на жесткость резцов. Область применения резцов PDC показывают, что передний угол существенно влияет на их жесткость. Жесткость здесь определяется как отношение крутящего момента к усилию действующего на инструмент. Сохранение других рабочих параметров постоянными при заданной нагрузке на инструмент, приводящей к более высокому реактивному крутящему моменту, считается более жесткой. Однако в литературе нет информации о том, как передний угол влияет на жесткость резцов PDC. Для этого были исследованы эффекты, как переднего, так и боковых углов наклона на общую жесткость резцов. Жесткость определяется здесь как отношение горизонтальной силы к нормальной силе, сохраняя при этом другие параметры, такие как глубина резания и постоянное давление [16].

По результатам проведенных экспериментов, в то время как горизонтальная сила удваивается, нормальная сила увеличивается в три раза, когда передний угол увеличивается с 10 до 40 градусов. В результате чего относительная жесткость резца уменьшается с увеличением переднего угла. Результаты испытаний с использованием в сланцах и мраморе, также демонстрируют снижение жесткости с увеличением переднего угла наклона. Это указывает на то, что если нормальное усилие поддерживается постоянным,

режущие элементы с низким передним углом приведут к увеличению горизонтальной силы и будут более жесткими.

По результатам данного исследования примем передний угол резца равным 10 градусов, так как это подтверждено исследования представленными ранее. Установив данное значение угла резания горной породы, мы избавимся от лишних динамических нагрузок, возникающих в процессе проведения эксперимента.

Многими исследователями проведен большой объем теоретических и экспериментальных работ в стендовых и промышленных условиях для изучения динамики работы долота при разрушении горных пород. Однако сложность процесса бурения скважин и взаимодействия долота с забоем и стенками ствола, различные условия проведения экспериментов привели к тому, что по вопросу характера изменения в зависимости от ряда факторов существуют различные, порой противоречивые мнения. Для того чтобы установить динамику работы долота, выявить причины снижения стойкости бурового инструмента, будут проведены испытания, на токарном станке с использованием единичного резца PDC, для определения рекомендуемых режимов работы. Следующим этапом планируется проведение испытаний на стенде, для моделирования динамических нагрузок, позволяющим выявить, как ведет себя долото на забое скважины, тем самым исследую его динамику. По результатам исследований необходимо предложить методы для снижения динамических нагрузок, посредством конструктивных и технологических параметров, которые в совокупности обеспечивают положительный эффект на время работы бурового инструмента.

2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Анализ колебаний буровой колонны

Все виды нагрузок, действующих на бурильную колонну, до сих пор рассматривались в статической постановке. В действительности же и процесс механического бурения, и все сопутствующие ему технологические процессы по своей природе являются динамическими. Это означает, что любая из нагрузок имеет, помимо статической, и динамическую составляющую. Несмотря на то, что их средние значения обычно составляют лишь небольшую часть от статической, в ряде случаев они могут играть решающую роль. Наиболее трудно поддающимися расчету нагрузками, значительно влияющими на прочность и долговечность всех элементов бурильной колонны, включая забойный двигатель (ЗД) и долото, являются осевые и моментные динамические нагрузки, порождаемые большим многообразием причин. Динамические нагрузки на нижнюю часть колонны обусловлены, главным образом, непосредственным динамическим взаимодействием долота с забоем. Удаленные участки ее испытывают динамические нагрузки, обусловленные колебательными процессами, возникающими и распространяющимися от долота, ЗД.

Большое многообразие причин порождает одновременно продольные, крутильные, поперечные колебания и в ряде случаев – автоколебания различных частот и амплитуд.

Низкочастотные продольные колебания большой амплитуды (до 5-10 мм) возникают из-за ухабистости забоя, колебаний давления жидкости, разновысокости резцов, а высокочастотные колебания малой амплитуды (0,1-2 мм) из-за хрупкого разрушения забоя, при перекачивании шарошек долота, работе ЗД. Возникшие продольные колебания вызывают изменение осевой нагрузки на долото и связанного с ней крутящего момента, что вызывает крутильные колебания. Последние возникают также из-за переменного

сопротивления вращению долота, заклинивания долота в скважине, подшипников опор, биения шарошек. Неравномерная нагруженность шарошек, их венцов и зубьев приводит к появлению поперечных сил. Возникает кривой удар, вызывающий поперечные колебания. Последние возникают также из-за динамической неуравновешенности вращающихся масс элементов колонны. Переменный момент сопротивления обуславливает неравномерное вращение колонны и вала ЗД. При нелинейном (зависящем от скорости движения, контактного давления) коэффициенте трения труб о стенки скважины возникают продольные автоколебания буровой колонны при СПО, те же факторы, имеющие место на забое, в опорах долота и ЗД, приводят к возникновению крутильных автоколебаний.

Сложные условия современного мирового углеводородного рынка требуют применения наиболее эффективных и экономически выгодных решений для добычи нефти и природного газа. Буровые компании и их подрядчики пытаются максимально сократить издержки, применяя новое высокопродуктивное и высококачественное оборудование. Однако до сих пор остается много вопросов, которые требуют скорейшего решения не позволяя сделать очередной качественный рывок вперед. Одной из таких проблем является негативное влияние на буровое оборудование вибрации, возникающей в процессе разрушения горной породы. Современные исследователи различают три основных вида колебаний буровой колонны: осевая, торсионная (скручивающая) и поперечная (рисунок 2.1). Ввиду различной природы происхождения каждый тип имеет собственный набор характерных признаков. Благодаря этому буровик может с устья своевременно определить характер процесса, происходящего на забое, и предпринять меры, чтобы избежать аварии, если только речь не идет о комплексном проявлении нескольких видов колебаний. В этом случае, очень сложно решить какие меры приведут к положительному результату.

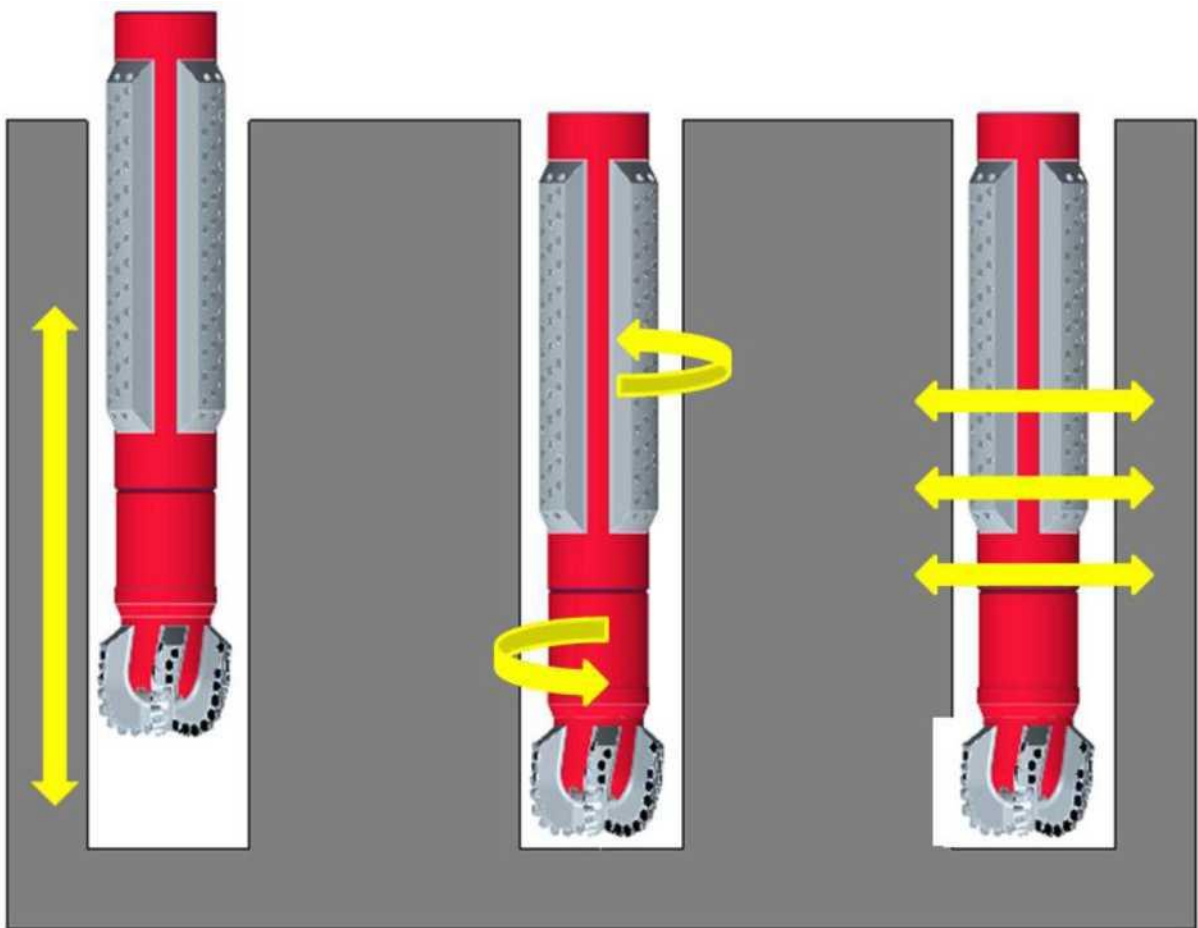


Рисунок 2.1. Виды колебаний бурильной колонны:

1 - осевые, 2 - торсионные, 3 – поперечные

2

2.1.1 Осевая вибрация

Процесс осевых колебаний бурильного инструмента изучался исследователями на протяжении многих лет. Наиболее часто данный тип колебаний возникает при смене разбуриваемых пластов, имеющих разные свойства, а также при прохождении твердых пропластков. На рисунке 1 видно, что направление колебательного движения совпадает с осью скважины. При увеличении амплитуды колебаний долото начинает подскакивать, теряя контакт с забоем. Зачастую это наблюдается при бурении шарошечными долотами. Вследствие этого возникает дополнительная энергия, способствующая разрушению горной породы, но, в то же время, негативно действующая на сам породоразрушающий инструмент. Это ведет к слому и

преждевременному износу вооружения долота, выходу из строя уплотнений, разгерметизации и повреждению опор и, как следствие, к снижению скорости бурения [17-19]. Поэтому очень важно вовремя оценить колебания, происходящие в скважине, и принять меры по их предупреждению. Как правило, для этого используют акселерометры, встроенные в забойную телесистему, и способные производить замеры сразу в нескольких направлениях. Данные передаются по каналу связи на устье и расшифровываются телеметрической службой, которая и сообщает буровой бригаде о необходимости корректирующих мер. Однако при бурении на небольших глубинах осевое колебательное движение может доходить до устья скважины, тем самым сигнализируя о нестабильности процесса бурения [18,20].

Осевые колебания имеют частоту 1-10 Гц и гасятся самой бурильной колонной. Поэтому скорость их затухания напрямую зависит от веса и жесткости компоновки [17]. Для этого в КНБК вводят дополнительные УБТ. Однако утяжеление колонны без изменения режимов бурения может привести к увеличению ударного импульса и повреждению забойного оборудования. Поэтому при появлении осевых колебаний большой амплитуды следует увеличить нагрузку и уменьшить скорость вращения долота. При этом предпочтительнее использовать долота, создающие невысокий реактивный момент. Также к наиболее эффективным методам борьбы с осевыми колебаниями можно отнести использование различных демпфирующих устройств, амортизаторов, виброгасителей, позволяющих увеличить ресурс бурового оборудования.

2.1.2 Торсионная вибрация

Торсионная или скручивающая вибрация представляет собой скачкообразное движение бурильной колонны, вызванное резкими ускорениями и замедлениями при ее вращении. При вращении долото приостанавливается (длительностью порядка десятых долей секунды) с равной

периодичностью, что вызывает рост крутящего момента и скручивание всей колонны. При превышении момента скручивания над моментами сопротивления резания породы и момента сил трения о стенки скважины происходит резкое ускорение долота - проскальзывание, когда его угловая скорость резко возрастает (в 2-3 раза). Длительность такого процесса может достигать нескольких минут, а максимальная интенсивность колебаний происходит в нижней части колонны. Наиболее часто торсионная вибрация проявляется при бурении РЭС долотами, причем в некоторых случаях, процесс сопровождается поперечными колебаниями забойного оборудования [17]. Данные колебания, также называемые в литературе –stick-slip, имеют частоту ниже 1 Гц и могут привести к куда более серьезным последствиям, чем осевые колебания. Основными повреждениями являются: слом вооружения долота, особенно в зоне, образующей диаметр стенок скважины; усталостный износ резьбовых соединений вследствие их перетяжки повышенным моментом и риск отворота и полета оборудования в скважину.

Стремление буровиков сократить время бурения интервала, выбирая долота с большой агрессивностью, зачастую приводит к тому, что нарушается баланс между жесткостью колонны и реактивным моментом от горной породы, что в свою очередь ведет к выходу из зоны стабильного бурения и возникновению торсионных колебаний [18]. То же самое происходит и при неверно подобранном режиме работы, когда при слишком большой нагрузке и малой скорости вращения вооружение долота сильно заглубляется в породу за один оборот. Также следует отметить, что вероятность появления торсионных колебаний увеличивается с ростом глубины и зенитного угла скважины, а также при прохождении твердых пропластков.

Наиболее характерными признаками на устье присутствия эффекта stick-slip является резкое понижение скорости бурения до 30-40 процентов и периодическое изменение скорости вращения и крутящего момента на 20-25 процентов [19].

Гашение скручивающих колебаний также производится колонной

инструмента, находящегося над долотом, и общим сопротивлением трения о стенки скважины [19]. Однако, в отличие от осевого направления, жесткость колонны в тангенциальном направлении недостаточна для полного гашения колебаний, несмотря на введение в ее нижнюю часть множества УБТ, калибраторов и центраторов [18]. Поэтому также как и в случае с осевой вибрацией основным способом для устранения торсионных колебаний является изменение режима бурения. Для этого ограничивают осевую нагрузку и увеличивают скорость вращения. Возможно также включение в КНБК забойных двигателей с большой частотой вращения и демпфирующих устройств, работающих в тангенциальном направлении. Так как подобные демпферы создают дополнительную эластичность колонны, целью их применения становится - снижение тангенциальной ударной нагрузки на вооружение долота. Зачастую это оправдано при бурении на больших глубинах, когда ресурс породоразрушающего инструмента важнее скорости проходки. Также большое значение уделяется своевременной очистке забоя и уменьшению силы трения о стенки скважины. Для этого увеличивается расход промывочной жидкости и вводятся различные смазывающие добавки.

2.1.3 Поперечная вибрация

Данный тип вибрации представляет собой маятниковое движение в поперечном направлении. Около 75 процентов отказов и аварий происходит по причине этих колебаний. В результате поперечного движения бурильной колонны и долота возникает изгиб и завихрение. Под завихрением понимают самоподдерживающееся эксцентричное вращение инструмента вокруг точки, не являющейся ее геометрическим центром. При этом происходит спиралеобразное увеличение диаметра ствола скважины. Различают завихрение долота и завихрение КНБК, имеющие частоту колебаний 5-100 Гц и 5-20 Гц соответственно [20]. Завихрение одного элемента часто переходит в завихрение другого, при этом может сопровождаться скручивающей вибрацией с высокой

частотой. Завихрения КНБК бывают в прямом, обратном и хаотичном направлении, когда происходит постоянное изменение направления вращения [20].



Рисунок 2.2 Многоугольное сечение скважины, образованное завихрением долота

Завихрения долота могут возникнуть при прохождении мягких, рыхлых и трещиноватых пластов или при расширении ранее пробуренной скважины. Также причиной их появления может стать использование забойного двигателя с углом перекоса или долота с высокой боковой резной способностью. При данном типе вибраций резцы долот PDC подвергаются многократным ударным нагрузкам ввиду того, что лопасти, поочередно касаясь стенок скважины, становятся мгновенным центром вращения долота и формируют многоугольное сечение скважины (рисунок 2.2). Сечение имеет число вершин на единицу большее количества лопастей долота.

Решить эту проблему можно снижением оборотов вращения и увеличением осевой нагрузки, причем эти корректировки обязательно следует проводить после полной остановки колонны. Однако для получения максимальной стабильности бурения важно изначально правильно подбирать породоразрушающий инструмент. Здесь предпочтение отдается

сбалансированным долотам, у которых результирующая боковых сил резания сведена в сторону лопасти с развитой гладкой поверхностью, по форме повторяющей забой скважины. Как правило, на этой поверхности отсутствуют активные режущие элементы. При вращении такое долото постоянно взаимодействует со стенками скважины своей «неагрессивной» лопастью, тем самым, исключая вероятность возникновения завихрений. Также для ограничения эксцентрического вращения устанавливаются наддолотные калибраторы, к тому же повышающие жесткость компоновки.

Трение о стенки скважины, плохая смазывающая способность бурового раствора, недостаточная жесткость компоновки - все это может стать причиной возникновения эксцентричного вращения КНБК [21]. Их длительное влияние может привести к поломке гидравлических двигателей и другого забойного оборудования [22]. При этом тип и порядок корректирующих действий зависит от направления завихрения. На рисунке 3 представлена схема поддержания режима бурения в зоне стабильности. Следует отметить, что для перехода из вибрационного режима в зону стабильного бурения необходимо производить полную остановку вращения и оторвать инструмент от забоя. Иначе может произойти быстрый и неконтролируемый переход в другую область или появиться комплексное колебательное движение.

2.2 Применение демпфирующих устройств

Применение только лишь демпфирующих устройств, при завихрениях и поперечных колебаниях малоэффективно. Для ограничения их разрушительного действия используют комбинацию с механическими ограничителями поперечного действия, таких как - не вращающийся центратор или шарошечный расширитель. В таблице 2.1 представлены основные характеристики колебаний бурильной колонны и рекомендуемые меры их устранения.



Рисунок 2.3 Схема поддержания режима бурения в зоне стабильности

Таблица 2.1. Классификация колебаний бурильной колонны

Тип колебаний	Осевая	Торсионная	Поперечная
Признак	Подскок долота	Скручивание	Изгиб и завихрение
Направление движения	Вдоль оси вращения	Тангенциально оси вращения	Поперечно оси вращения
Причина возникновения	Твердость горных пород / недостаточная нагрузка на долото	Высокая агрессивность долота / трение колонна-скважина / большой зенитный угол наклонных	Высокая боковая резная способность долота / мягкие, рыхлые, трещиноватые горные породы /
Частотный диапазон, Гц	1-10	<1	Завихрение долота: 5100 /

Признаки на устье	Колебания нагрузки/ уменьшение скорости бурения / вибрация стола ротора или верхнего привода	Колебания момента и скорости вращения / уменьшение скорости бурения / остановка верхнего привода	Увеличение крутящего момента/ уменьшение скорости бурения
Повреждения и отказы	Выход из строя подшипниковых узлов/ слом вооружения долот / поломка элементов КНБК	Повреждение вооружения долот / перетяжка резьбовых соединений / поломка элементов КНБК	Повреждение вооружения долот и калибраторов / Поломка элементов КНБК / промывы труб / потеря диаметра и односторонний износ инструмента
Уменьшение уровня вибрации во время бурения	Увеличение осевой нагрузки и уменьшение частоты вращения	Увеличение частоты вращения и уменьшение осевой нагрузки	Увеличение осевой нагрузки и уменьшение частоты вращения
Применение демпфера	Рекомендуется	Рекомендуется	В комбинации с центраторами

Как видно из таблицы 2.1 применение демпфирующих устройств эффективно при всех типах колебаний КНБК. Однако сделать правильный выбор среди множества конструкций, предложенных на рынке, очень сложно. В большинстве случаев подбор подходящего устройства происходит методом

проб. Но даже оптимально отработавшая на одном месторождении конструкция не гарантирует успеха при бурении соседнего участка скважин. Поэтому каждый раз перед началом работ приходится проводить тщательный анализ конструкции будущей скважины [22].

Авторами работ [17-19] установлено, что для проектирования и подбора бурового демпфера требуется знание свойств горных пород и условия его использования, так как успешность применения всей виброзащитной системы зависит от точности расчета необходимой жесткости и массы демпфирующих устройств. Также очень важно обеспечить свободный пропуск демпфером низкочастотных осевых колебаний, необходимых для разрушения породы, и эффективное гашение высокочастотных, созданных системой «забойный двигатель - долото». При этом динамические импульсы не должны влиять на эффективность его работы.

По конструкционным особенностям можно выделить демпфирующие устройства с упругими элементами, имеющие в основе материалы с высокими амортизирующими характеристиками типа пружин (винтовые, тарельчатые, конические пружины и др.), различных резиновых, полиуретановых смесей и отражатели упругих волн, в основе которых лежит комбинация элементов с разными скоростями распространения в них упругих волн. Полости такого демпфера заполняются сжатым воздухом, маслом или другими вязкими жидкостями.

По области применения и характеру работы различают устройства для вращательного, ударно-вращательного и ударного бурения. В зависимости от этого выбирается один из основных параметров - тип гасимых колебаний (осевые, торсионные, поперечные).

В таблице 2.2 предложена классификация демпфирующих устройств в зависимости от типа колебаний и вида буровых работ параметров демпфирующих устройств [23].

Таблица 2.2 Классификация демпфирующих устройств

Тип колебаний	Осевое	Торсионное	Поперечное
Параметр			
Вид бурения	Вращательное, ударновращательное, ударное	Вращательное	Вращательное, ударно-вращательное
Демпфирующие устройства	С резиновыми и металлическими упругими элементами /с тарельчатыми пружинами / гидравлические	С резиновыми и резино-металлическими упругими элементами / с винтовыми пружинами / гидравлические	
	Гидромеханические / комбинированные демпферы центраторы		
	Отражатели упругих волн		
Прочее виброзащитное оборудование	Утяжеленные бурильные трубы	Наддолотные инерционные маховики	Невращающиеся центраторы/ шарошечные расширители
	Калибраторы / центраторы		

Данная классификация показывает, что при проектировании и подборе виброзащитного оборудования необходимо ориентироваться на параметры, направленные на соответствующий вид динамического воздействия. А с расширением области применения данных устройств, растет и количество выполняемых ими функций. Помимо основного назначения, связанного с уменьшением амплитуды осевых, торсионных и поперечных колебаний, и повышением ресурса системы «долото-забойный двигатель», добавляются такие функции как: поддержание процесса бурения в оптимальном режиме; уменьшение потери мощности, подводимой к забойному двигателю; снижение потерь мощности на трение между бурильной колонной и стенками скважины; выполнение роли защитного предохранительного устройства в аварийных ситуациях.

3 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

В настоящее время повышение стойкости бурового инструмента является актуальной задачей, особенно для западно-сибирского региона Российской Федерации. В связи с этим были проведены исследования направленные на установление динамических нагрузок, возникающих в процессе бурения и действующих на буровое долото. Из всего многообразия буровых долот были выбраны долота с алмазными поликристаллическими режущими кромками. Данный вид долот набирает все большую популярность в западно-сибирском регионе. Исследование динамики работы долота позволит выявить причины снижения времени стойкости бурового инструмента, а также предложить способ снижения нагрузок установленных в процессе проведения экспериментов.

Измерения вибрационных процессов возникающих в процессе разрушения горной породы и действующих на инструмент позволят изучить динамические явления, возникающие в сложной динамической системе с целью последующего применения как технологических так и конструкторских методов снижения вибрации. Вибродиагностика позволит контролировать развитие дефектов в буровом инструменте, буровом оборудовании, выявлять неэффективные режимы с точки зрения общей производительности. Также при помощи вибродиагностики возможно получить динамику работы долота в процессе бурения, и тем самым установить причины преждевременного выхода из строя бурового инструмента. Решение этих задач может быть реализовано с помощью методов вибрационного мониторинга и виброанализа результатов полученных с помощью эксперимента.

3.1 Проведение эксперимента

Эксплуатации бурового оборудования под постоянной нагрузкой является важной задачей. Оценка прочности любого механизма заключается в сравнении фактических нагрузок действующих на его детали с теми, которые могут вызвать разрушение.

Основными причинами разрушения, как правило, выступают динамические нагрузки (особенно ударные).

Согласно исследованиям, проводимым на металлообрабатывающем оборудовании, существуют общие методы по снижению вибрации которые можно условно разделить: на технологические и конструктивные.

К технологическим относятся мероприятия по оптимизации режимов резания и геометрии инструмента. Конструктивные заключаются в применении виброгасителей служащих для повышения жесткости узлов станка. Первая группа мероприятий проще для осуществления, но связана со снижением производительности, ухудшением качества поверхности детали или оказывается недостаточно эффективной. Вторая группа более трудоемка, но даёт более хорошие и устойчивые результаты [24].

3.1.1 Технологические методы

В процессе бурения возникают режимы резания, в результате действия которых происходит интенсивный износ инструмента. При проведении эксперимента, необходимо установить режимы резания, при которых величина вибрации буровой колонны будет минимальной.

А) подготовка и описание эксперимента

Одним из способов поддержания надежного функционирования элементов бурового инструмента может, является вибрационная диагностика, которая, в отличие от других методов неразрушающего контроля, позволяет контролировать изменения в состоянии бурового оборудования в процессе

эксплуатации.

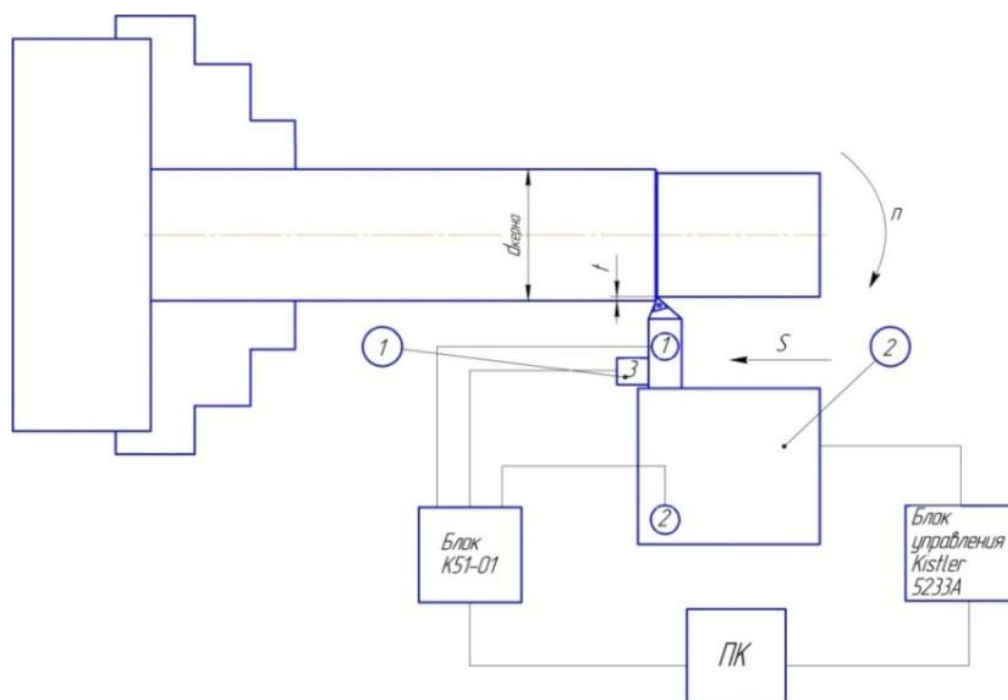


Рисунок 3.1 Схема проведения эксперимента

Исследования по возникновению и распределению сил резания были проведены на строгальном станке, с использованием прибора для регистрации динамических нагрузок, возникающих в процессе резания породы, и представлены в статье [25]. Однако, при реализации строгания, результаты могут оказаться не всегда адекватными. Это связано с тем, что при строгании возникают существенные динамические нагрузки в момент входа и выхода режущего инструмента. Поэтому была реализована схема резания при токарной обработке, что устраняет динамические нагрузки указанные выше.

В соответствие с целями гранта от компании ВР «Устройство для снижения динамических нагрузок на твердосплавные резцы типа PDC долота были проведены эксперименты для выявления динамики процессов резания при помощи мобильного комплекса для проведения вибродиагностики. Он состоит:

- Датчиков-акселерометров;
- Измерительного модуля K51-01;
- ПК с установленным программным обеспечением «Виброрегистратор-Ф».

Для определения сил, действующих на резец, подключен прибор Kistler состоящий:

- Динамометра модели 5233А;
- Блока управления Kistler 5233А;
- Для сбора и анализа данных использовалось ПО DynoWare фирмы Kistler (Швейцария).

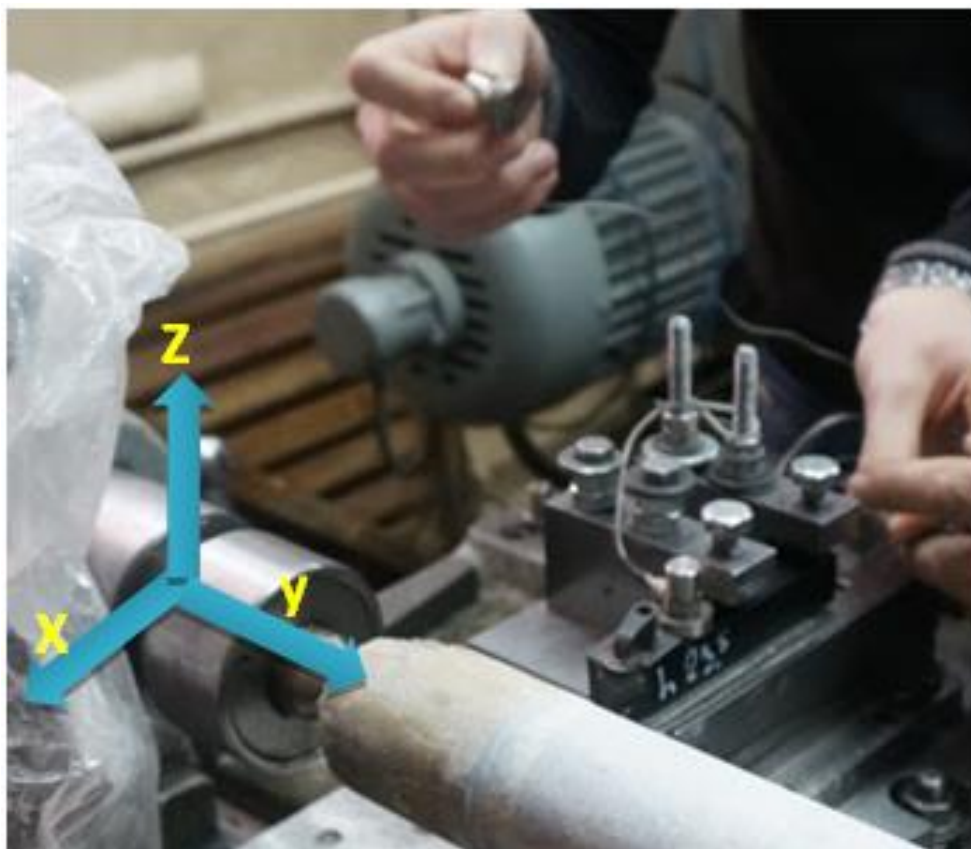


Рисунок 3.2 Схема расположения датчиков вибрации

б) план эксперимента

На токарном станке производились измерения показателя вибрации на примере резания, образца горной породы, добытой при помощи геологоразведочных работ, и полностью соответствующего условиям эксперимента. В качестве режущего инструмента выступал резец типа PDC, также применяемый в долотах при бурении скважин. Анализируя взаимодействие резца с горной породой, путём детального рассмотрения объёмов, вырезаемых каждым из резцов при вращении керна, авторы приходят

к определению вертикального усилия, действующего на долото, что позволяет анализировать устойчивость движения всей буровой установки.

Схема установки датчиков приведена на рисунке 2. Три датчика были установлены так, чтобы показания интенсивности вибрации, возможно, зарегистрировать по трем координатным осям.

Подбор режимов работы оборудования при проведении исследований, подобран из результатов работы [26]. Автор представляет зависимость механической скорости бурения, выраженной в м/ч от частоты вращения бурового долота. Таким образом, было подобрано три режима работы: минимальный, средний и максимальный, приведенные в таблице 3.1

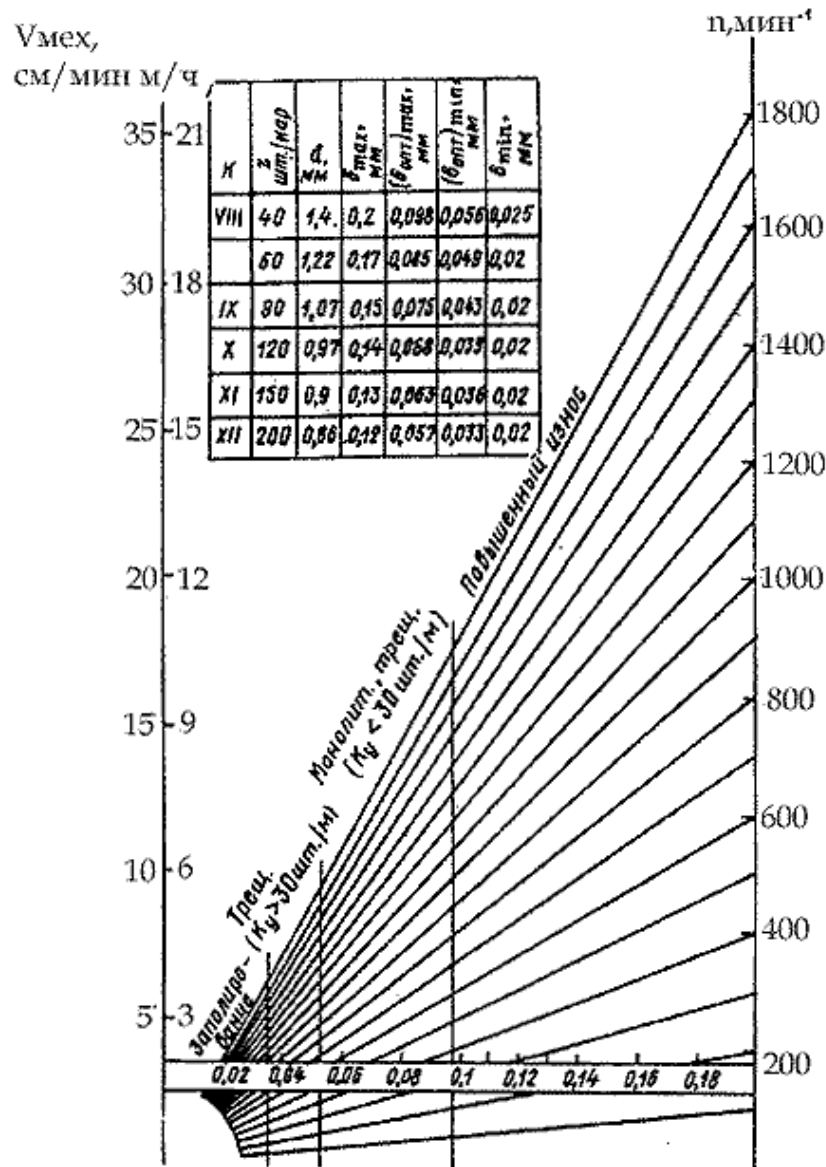


Рисунок 3. 3 Оперативный определитель скорости бурения

3.1.2 Результаты эксперимента

Показания датчиков, при скорости резания 10,5 м/с, отображены в диаграмме на рисунке 3, величина вибрации высчитывалась по среднеквадратичному значению амплитуды сигнала, полученной при исследовании.

Таблица 3.1 Реализация полнофакторного эксперимента

Частота вращения, об/мин	Скорость резания, м/с	Подача, мм/об	Глубина, мм
160	2,11	0,07	0,5
500	6,6	0,11	1
800	10,55	0,15	1,5

Анализируя диаграмму, представленную на рисунке 3б, можно сказать, что максимальные значения вибрации наблюдаются на глубину резания 1,5 мм и подачи равной 0,11 и 0,15 мм/об. Но также высокие значения вибрации присутствуют при глубине резания 1 мм, и подачи 0,15 мм/об, возможно, это связано с возникновением резонансных областей, которые могут привести к разрушению единичного PDC резца. На диаграмме, представленной, на рисунке 3б, можно проследить зависимость увеличения величины вибрации с увеличением регулируемых параметров, значимым параметром является подача.

Таблица 3.2 Результаты эксперимента

Подача S, мм	Пик показаний 1-го датчика вибрации при 800 об/мин			СКЗ показаний 1-го датчика вибрации при 800 об/мин		
	Глубина внедрения, мм			Глубина внедрения, мм		
	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5
0,07	358,63	491,63	491,63	54,09	92,89	128,68
0,11	466,15	452,51	491,63	55,83	43,91	170,01
0,15	485,37	491,63	491,63	88,92	169,73	162,32

Результаты эксперимента в виде диаграмм приведены на рисунках 3.4–

3.5.

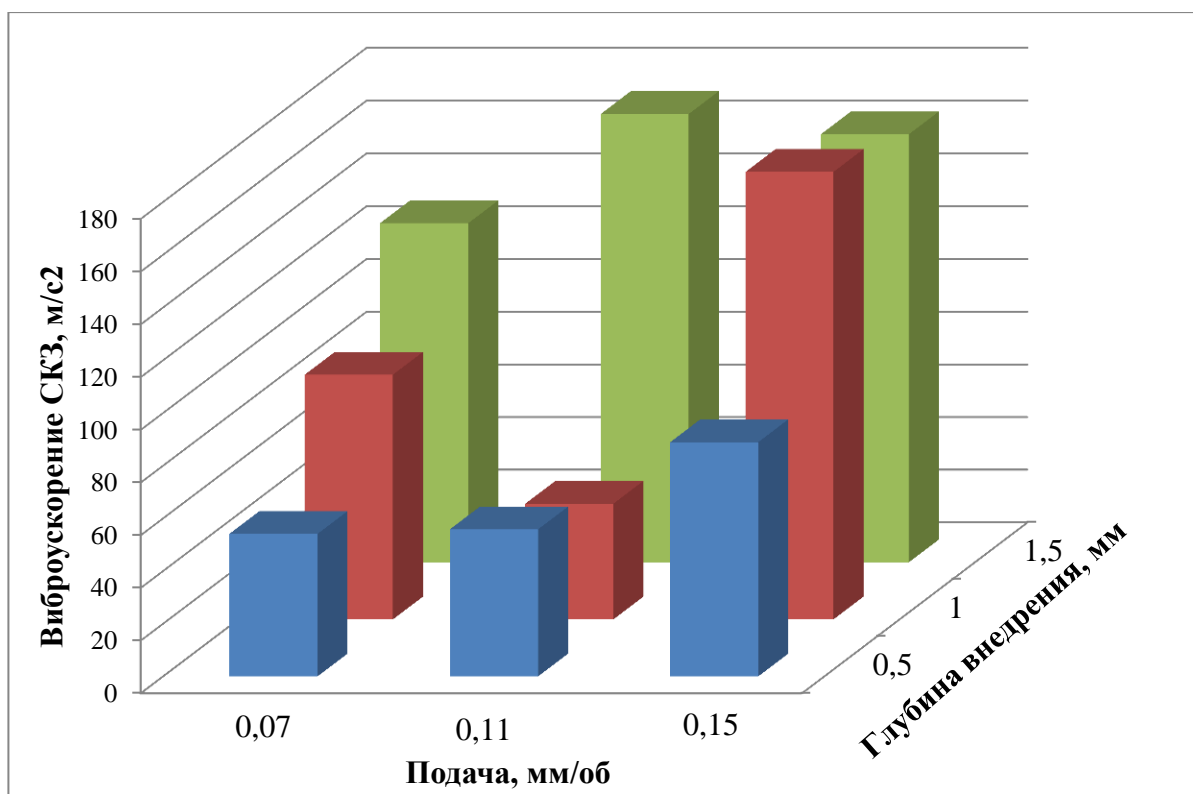


Рисунок 3.4 Показания датчиков СКЗ при скорости резания 10,5 м/с

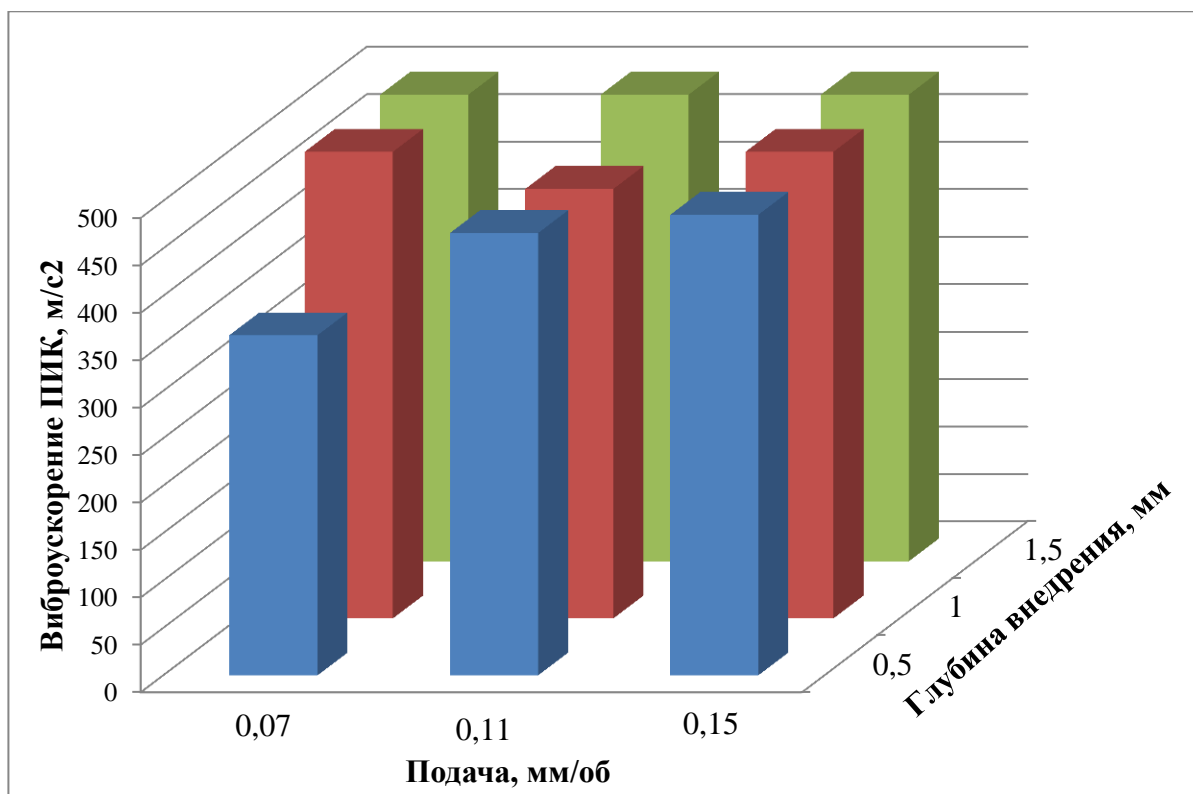


Рисунок 3.5 Показания датчиков ПИК при скорости резания 10,5 м/с

Аналогичные результаты получаем для следующих исследований. Пиковые значения также превышают допустимую чувствительность датчиков, в связи с этим можно сделать вывод, что присутствует ударное воздействие на единичный резец PDC, но визуальных нарушений на кромках режущей части не было обнаружено.

Таблица 3.3 Результаты эксперимента

Подача S, мм	СКЗ показаний датчика вибрации при 160 об/мин			СКЗ показаний датчика вибрации при 160 об/мин		
	Глубина внедрения, мм			Глубина внедрения, мм		
	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5
0,07	159,9	185	195,93	20,46	30,1	32,7
0,11	163,8	268,2	295,16	23,7	30,5	39,91
0,15	152,18	374,75	338,26	20,63	40,3	40,44

Результаты эксперимента в виде диаграмм приведены на рисунках 3.8-3.9.

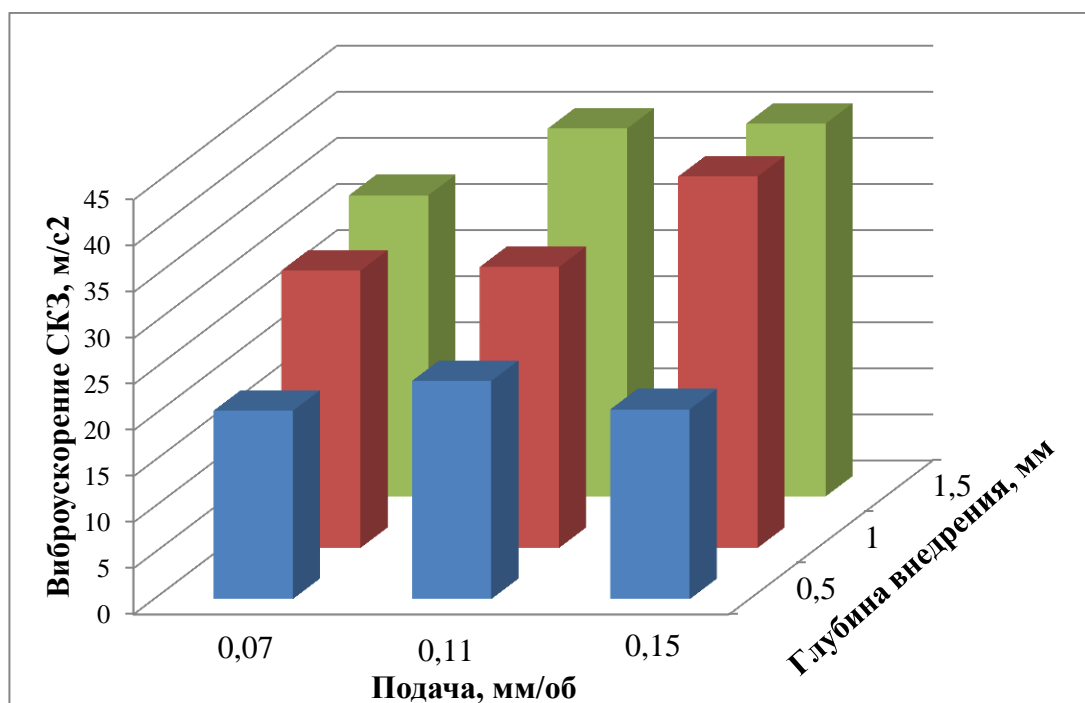


Рисунок 3.6 Показания датчиков СКЗ при скорости резания 2,11 м/с

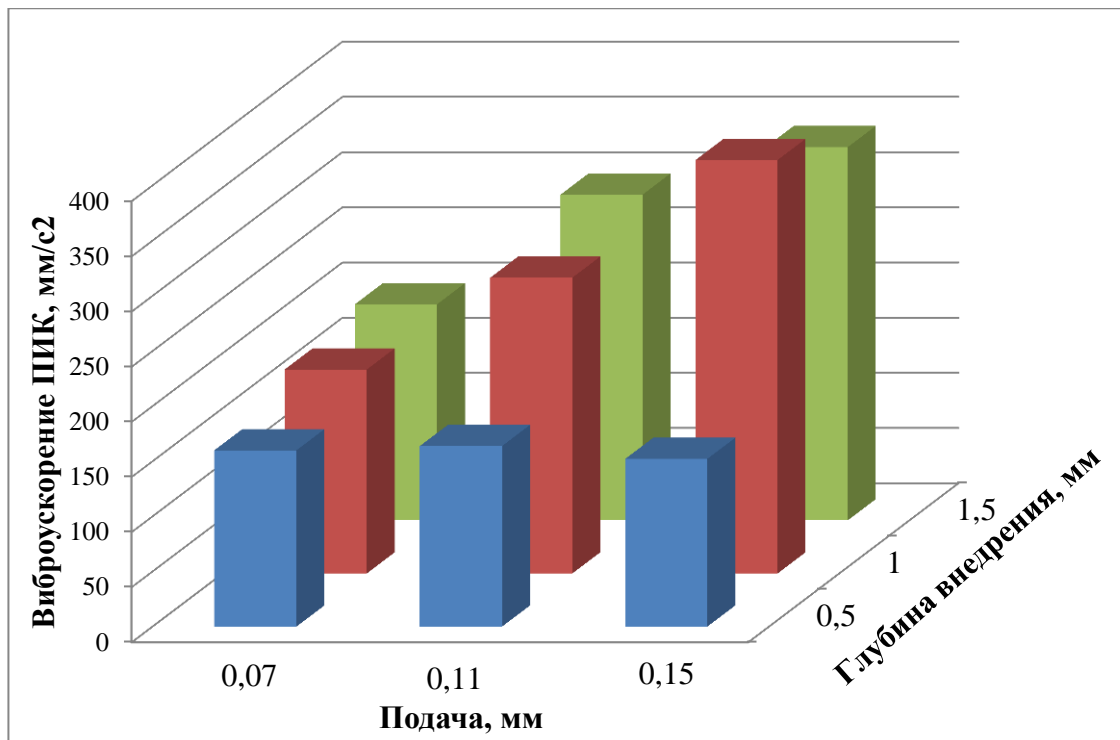


Рисунок 3.7 Показания датчиков ПИК при скорости резания 2,11 м/с

Таблица 3.4 Результаты эксперимента

Подача S, мм	ПИК показаний датчика вибрации при 500 об/мин			СКЗ показаний датчика вибрации при 500 об/мин		
	Глубина внедрения, мм			Глубина внедрения, мм		
	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5
0,07	330,44	457	479,09	48,52	71,23	77,69
0,11	333,24	481,16	491,63	51,66	86,9	108,62
0,15	491,63	491,63	491,63	79,1	93,7	122,34

Результаты эксперимента в виде диаграмм приведены на рисунках 3.8-3.9.

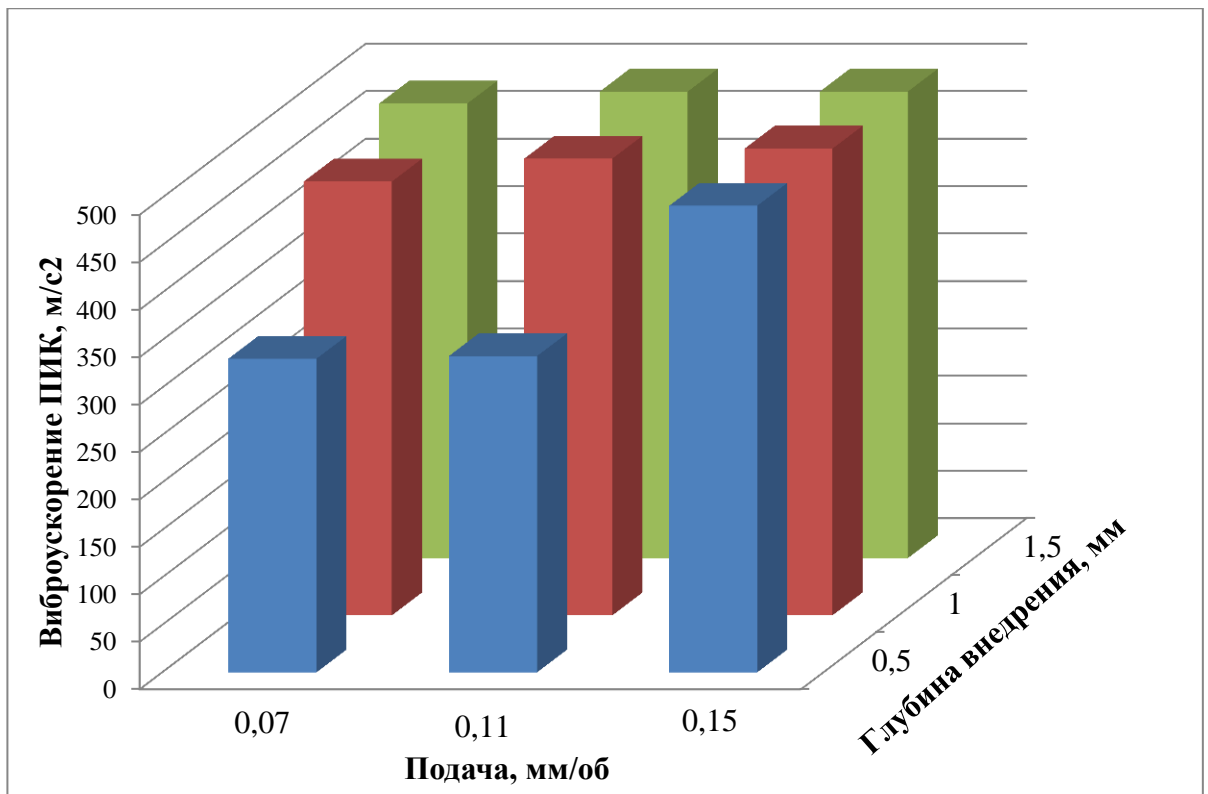


Рисунок 3.8 Показания датчиков ПИК при скорости резания 6,6 м/с

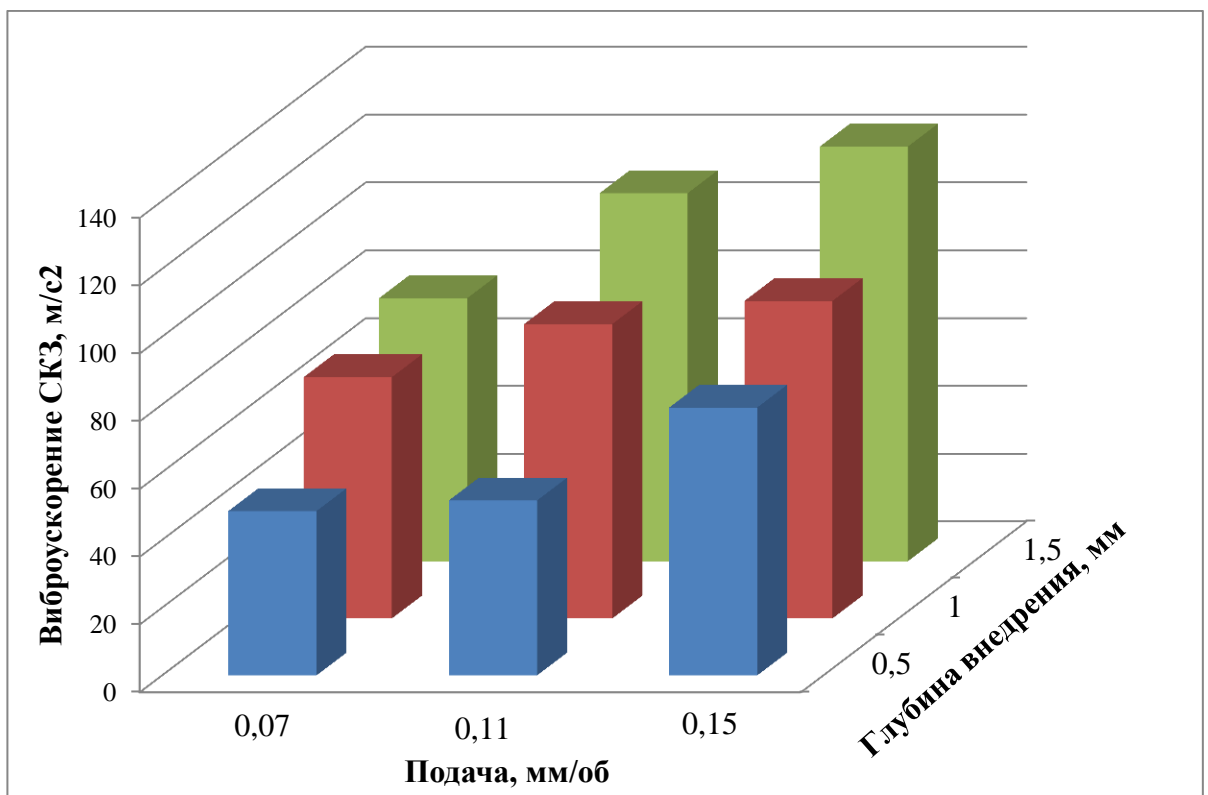


Рисунок 3.9 Показания датчиков СКЗ при скорости резания 6,6 м/с

Данные графики составлены с показаний датчика вибрации, установленного вблизи кромки резца, тем самым он воспринимает основную нагрузку при резании горной породы.

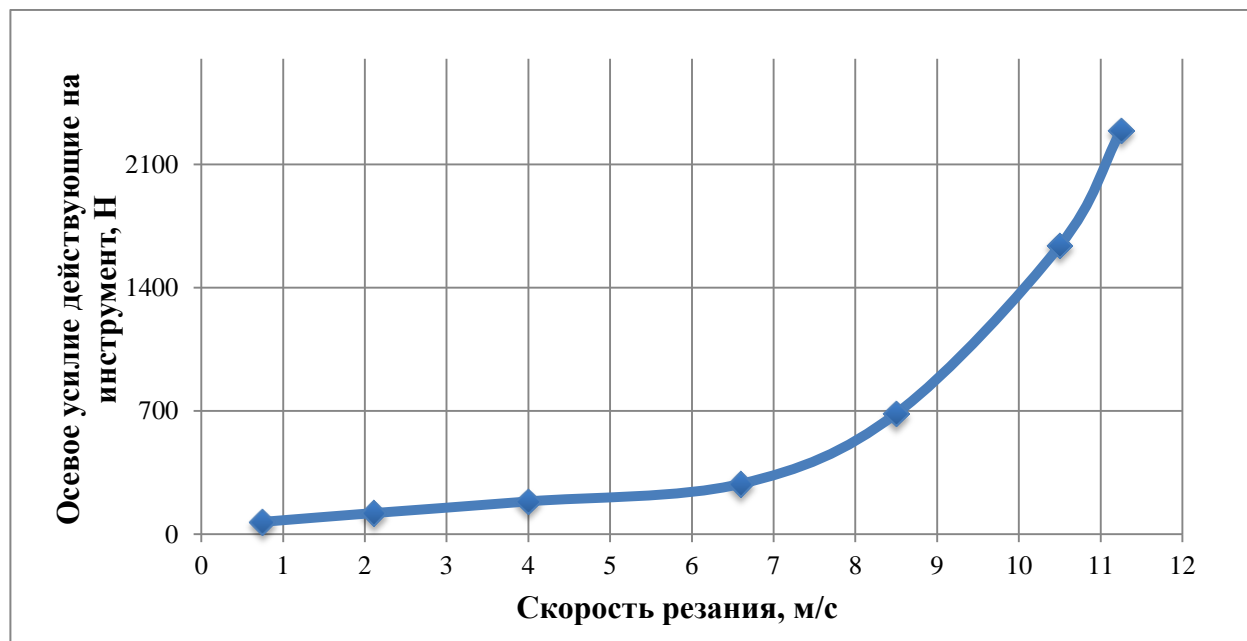


Рисунок 3.10 Показания динамометра, зависимость усилия подаваемого на инструмент от скорости резания, при постоянной подаче

По результатам эксперимента было выявлено, что при перегрузке равной около $50g$ ($\geq 500 \text{ м/с}^2$) данные представлены на графиках 3.4, 3.5 и 3.7, единственный PDC резец остался целый, на кромках не было визуальных нарушений. Таким образом, ударные процессы не являются основным фактором, приводящим к снижению стойкости бурового инструмента. Из вышеприведенных экспериментальных данных можно предположить, что причиной разрушения являются иные физические процессы, а именно динамика работы долота. Это также подтверждается в работах [25-27]. Исследования посвящены установлению и доказательству возникновения динамических нагрузок, приводящих к снижению стойкости бурового инструмента. Было установлено, что причиной разрушения режущего инструмента является возникновение обратной прецессии, упомянутой [28] как явление «обратной ротации». Из рассмотренных работ можно предположить,

что снижение динамических нагрузок путем несущественных изменений в конструкции долота, возможно реализовать в конструктивных методах.

3.1.3 Конструкционные методы

Для исследования возможности применения конструктивных методов разработан стенд для моделирования динамических нагрузок в процессе бурения [29].

Разработанное устройство представлено на рисунке 5 и состоит: из вала - 1, приводимого в движение некоторым приводом, регулируемым по частоте вращения. Двух оснований: нижнего 3 и верхнего 13, в которые закреплены направляющие 5, по направляющим перемещаются платформы 7 и 8. При их передвижении, имеется возможность регулирования жесткости конструкции, за счет увеличения (уменьшения) расстояния от верхнего основания, для снижения величины вибрации. На платформе 8 закреплены устройства для создания динамической нагрузки 10, находящиеся во фторопластовой оболочке 9, имитирующие радиальную осевую нагрузку R_x с возможностью регулирования, которые изменяются по гармоническому закону. Устройства, закрепленные в основании 8, подают идеальную динамическую нагрузку, на имитатор бурового долота 11, представляющий собой многозаходный кулачек, профиль которого выполнен по определённому закону. Элемент 12 является виброгасителем, и предназначен для снижения величины вибрации путем балансировки.

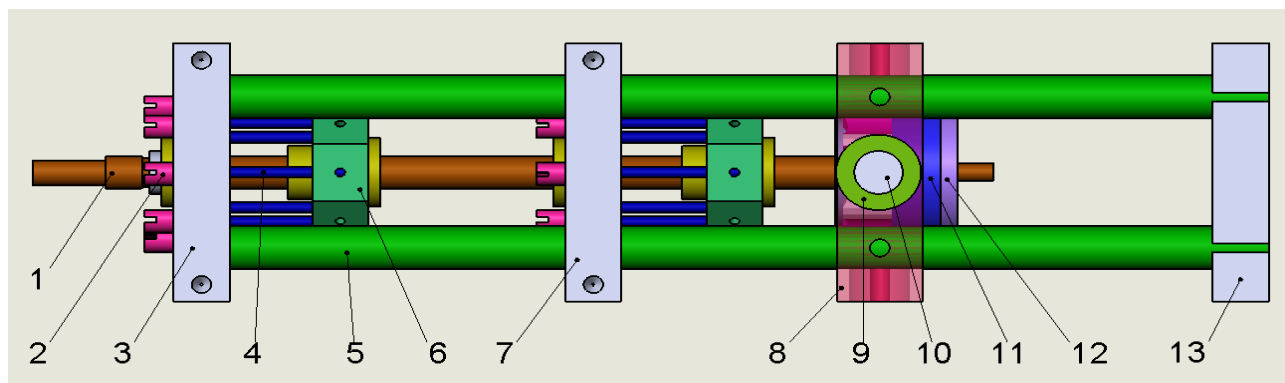


Рисунок 3.11 Модель стенда для моделирования динамических нагрузок

На основании представленной модели станда, была оформлена конструкторская документация, для изготовления и сборки станда. В процессе изготовления станда претерпел незначительные изменения, связанные с расположением оснований. Финансирование производилось из средств гранта от компании ВР, вследствие чего был изготовлен станок, представленный на рисунке 3.11



Рисунок 3.12 Стенд для моделирования динамических нагрузок на долото

Данный стенд позволяет исследовать динамику работы бурового долота не только типа PDC, но и других типов долот. Также позволяет исследовать поведение бурового долота не только вертикально-направленных скважинах но и горизонтально-наклонных скважинах. Регулируемая нагрузка позволяет имитировать горную породу различной твердости и структуры, изменяя положение и мощность магнитов.

Основным критерием для оценки колебаний низа буровой колонны является ее жесткость. Жесткость в бурении создается при помощи центраторов установленных на буровых трубах с определённым расстоянием. Жесткость долота обусловлена установкой калибраторов, повышающих не только жесткость, но также улучшающее качество ствола скважины [30].

3.1.4 Результаты эксперимента

Для исследования влияния жесткости на величину вибрации, проведем серию экспериментов. Для этого составим план эксперимента:

- а) Установить датчики на опорах (центраторах) для получения данных вибрации;
- б) Расположить датчики по осям OX и OY для фиксации, радиальной и осевой вибрации;
- в) Установить элемент нагружения, в данном случае магниты постоянного действия, в двух направлениях, по ос OX и OY;

Во вращения система будет приводиться электрическим двигателем, оснащенным частотных преобразователем, с помощью него будет регулироваться частота вращения от 5 до 50 Гц, с шагом 5 Гц.

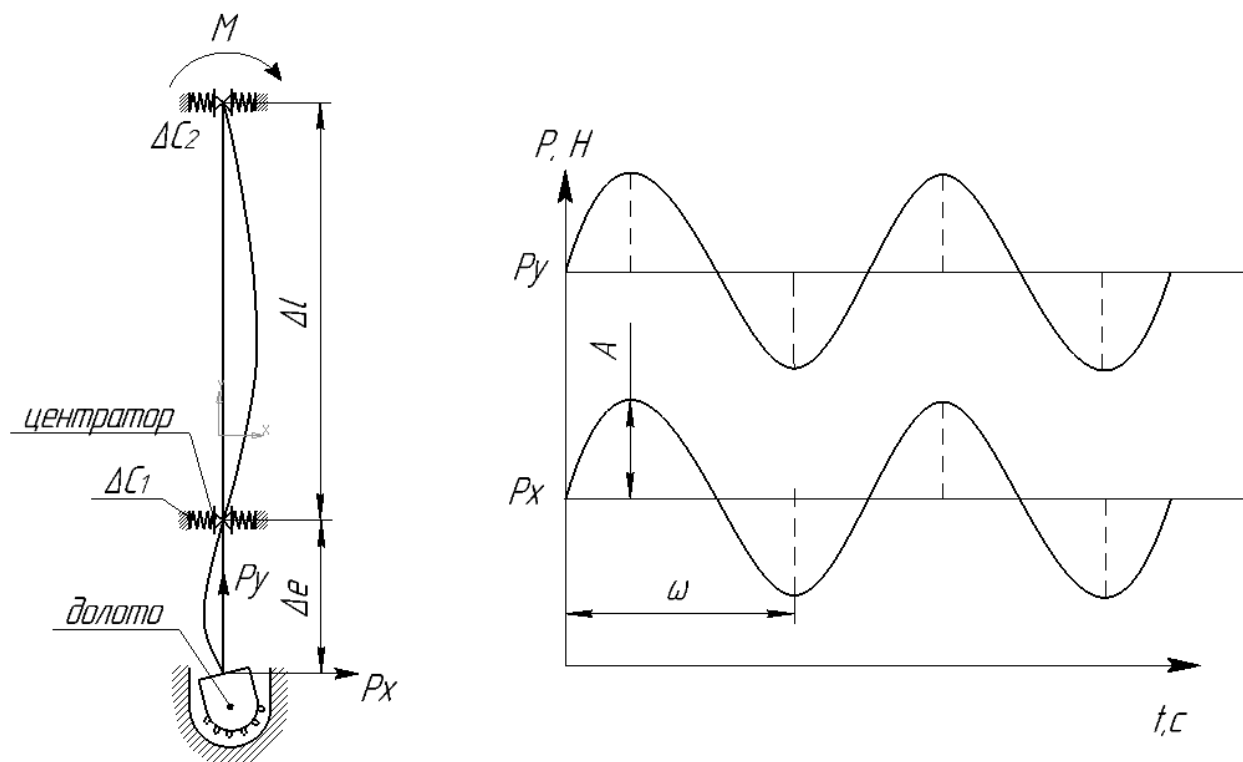


Рисунок 3.13 Схема проведения эксперимента

Проведем исследования по влиянию коэффициента жесткости, путем изменения частоты вращения, и по отклику системы в виде вибрации.

По результатам экспериментальных данных построим графические зависимости. Жесткости, согласно рисунку жёсткости C_1, C_2 имеют одинаковую жёсткость по оси X, на порядок большую чем жесткость по оси Y, согласно рисунку 3.13. Нагрузка при проведении данного исследования не действует. Данные полученные в ходе эксперимента представлены в виде графической зависимости, на рисунке 3.14. Статическая жесткость нижнего основания составляет: $C_x = 3500 \text{ Н/м}$, $C_y = 1700 \text{ Н/м}$.

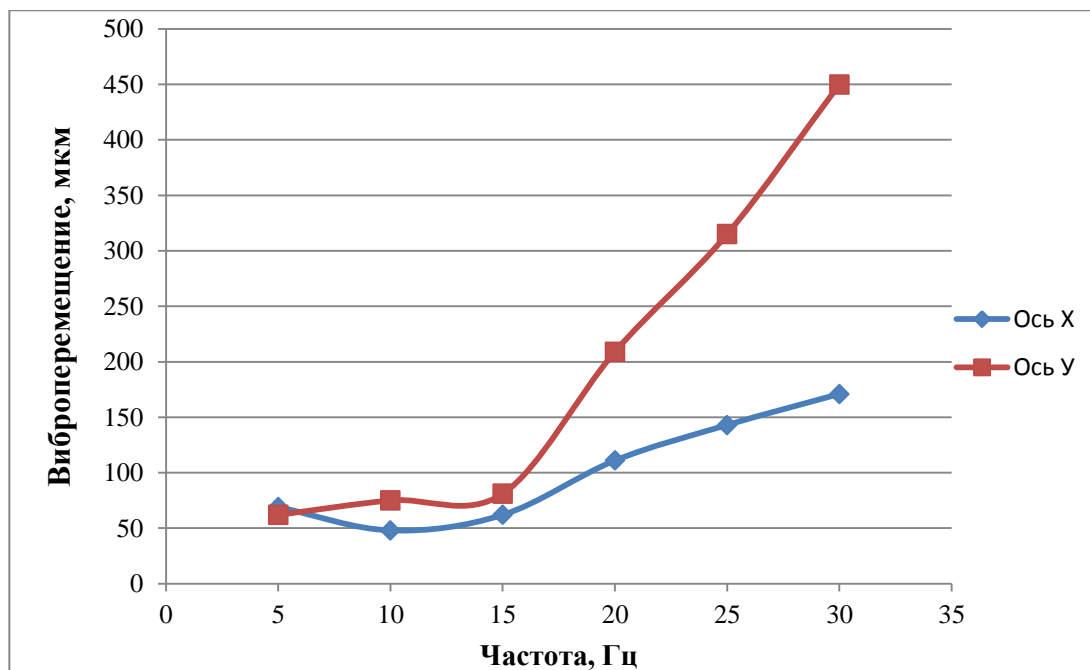


Рисунок 3.14 График виброперемещения долота, при минимальной жесткости по ОХ, и максимальной по ОУ

При минимальной жесткости верхнего основания, проведение эксперимента, на частоте свыше 30 Гц не представляется возможным, в целях техники безопасности, из-за большой амплитуды вибрации. Но даже по полученным данным можно сказать, что при увеличении частоты вращения, величина вибрации носит экспоненциальный характер. Статическая жесткость нижнего основания составляет: $C_x = 2500 \text{ Н/м}$, $C_y = 2500 \text{ Н/м}$.

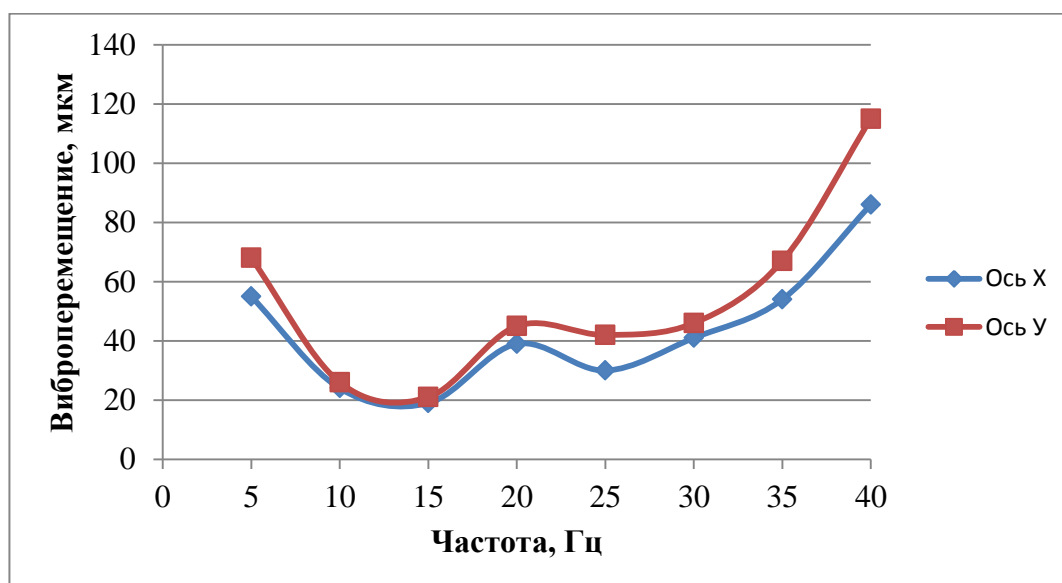


Рисунок 3.15 График виброперемещения долота, при среднем значении жесткости в обоих направлениях

На рисунке 3.15 приведена графическая зависимость, полученная при проведении эксперимента, с одинаковой, минимальной жесткостью по осям X и Y. Под минимальной, понимается жесткость, обеспечивающая возможность работы системы на частоте вращения более 30 Гц. Статическая жесткость нижнего основания составляет: $C_x = 3500 \text{ Н/м}$, $C_y = 3500 \text{ Н/м}$.

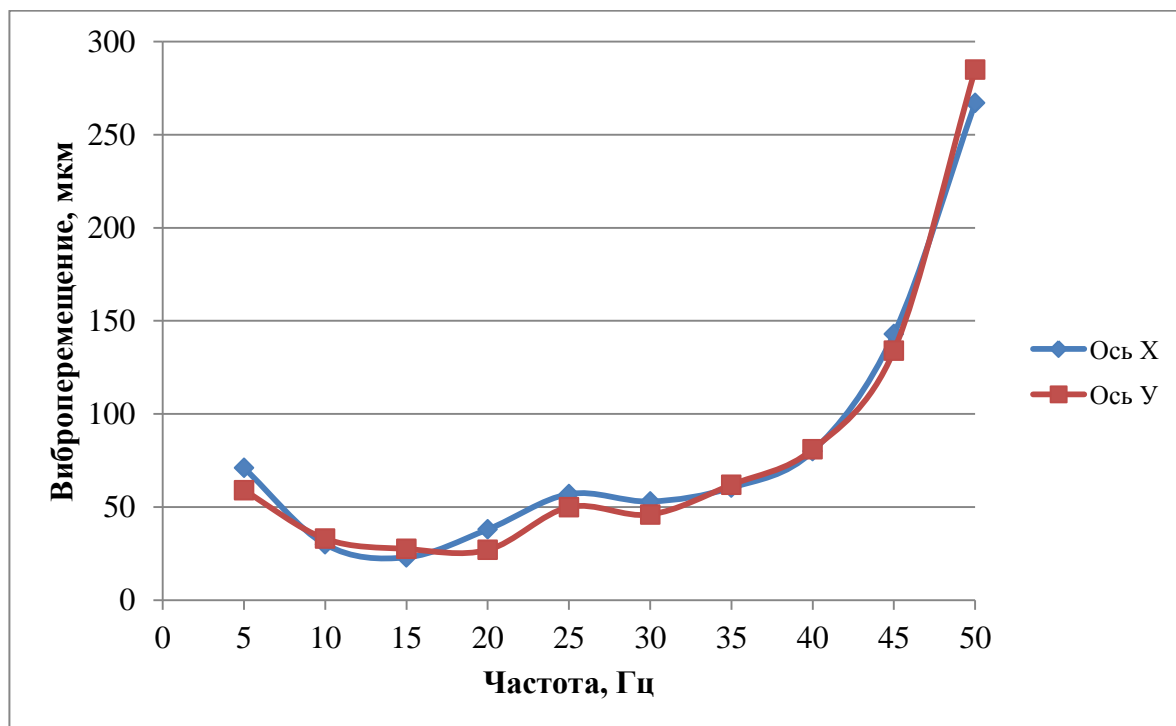


Рисунок 3.16 График виброперемещения долота без нагрузки с максимальной жесткостью

Следующим экспериментом являлось выявление величины вибрации, при максимальной жесткости опор буровой колонны. Без воздействия внешних нагрузок. Полученные данные представлены по величине виброперемещения, и имеет одинаковую нелинейную зависимость, резко возрастающие при увеличении частоты вращения более 40 Гц. Статическая жесткость нижнего основания составляет: $C_x = 3500 \text{ Н/м}$, $C_y = 3500 \text{ Н/м}$. График представлен на рисунке 3.16.

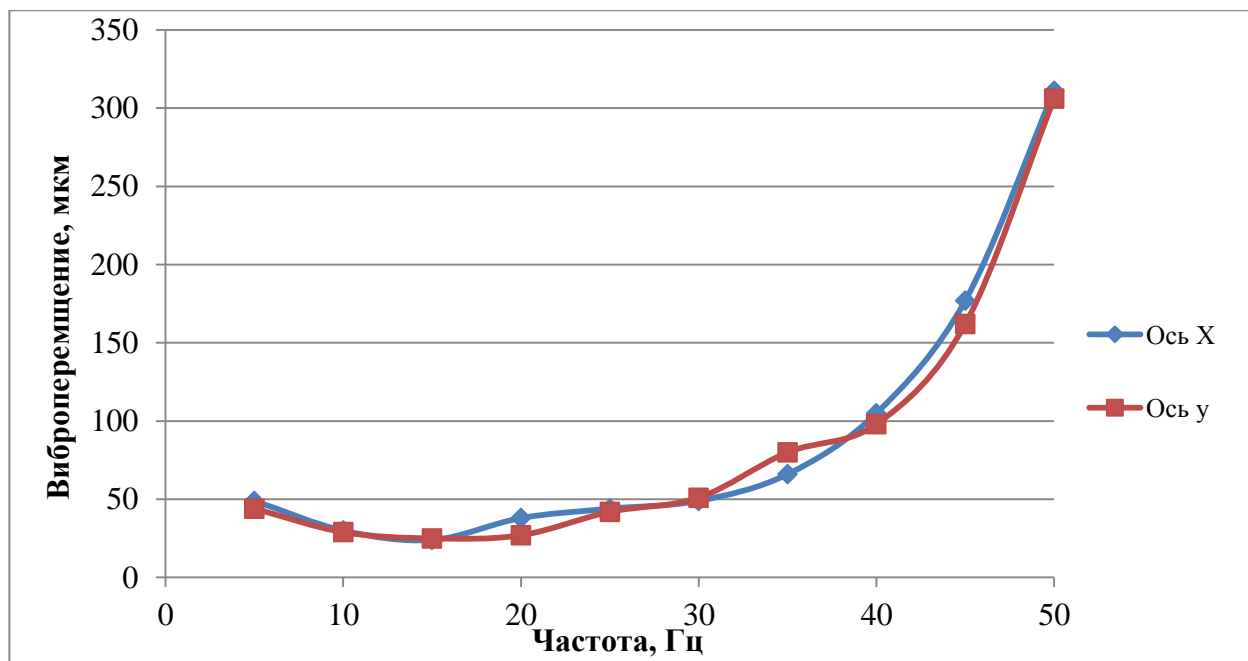


Рисунок 3.17 График перемещения долота с нагрузкой по двум осям с максимальной жесткостью

При проведении следующего эксперимента были установлены устройства, имитирующие осевую и радиальную нагрузку, схема нагружения приведена на рисунке 3.13. В данном эксперименте их роль выполняли магниты постоянного действия. Жесткость системы осталась такой же, как при проведении предыдущего эксперимента. При частоте вращения в диапазоне от 5 до 30 Гц, величина виброперемещения снизилась, так как внешние нагрузки не дают дополнительно «раскачиваться» системе [31].

Рассмотрим одну из спектрограмм из множества полученных при проведении эксперимента. Анализируя спектрограмму, представленную на рисунке 3.18 можно сделать вывод, что при работе буровой колонны присутствуют две резонансные области, обусловленные наличием двух жесткостных опор [32].

Для этого рассчитаем собственные частоты бурового долота с буровой колонной по формулам (3.1-3.2):

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot C}{M}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4091}{1.1}} = 86 \text{ Гц} \quad (3.1)$$

где C – жёсткость буровой трубы, Н/м

m – масса вала, кг

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{L^2 \cdot C}{2 \cdot \theta}} = \sqrt{\frac{0.02^2 \cdot 3253,31}{2 \cdot 6,737 \cdot 10^{-4}}} = \sqrt{\frac{494,82}{13,474 \cdot 10^{-4}}} = 31 \text{ Гц} \quad (3.2)$$

где L – длина цилиндра, м

C – изгибная жесткость, Н/м

θ – массовый момент инерции, м⁴

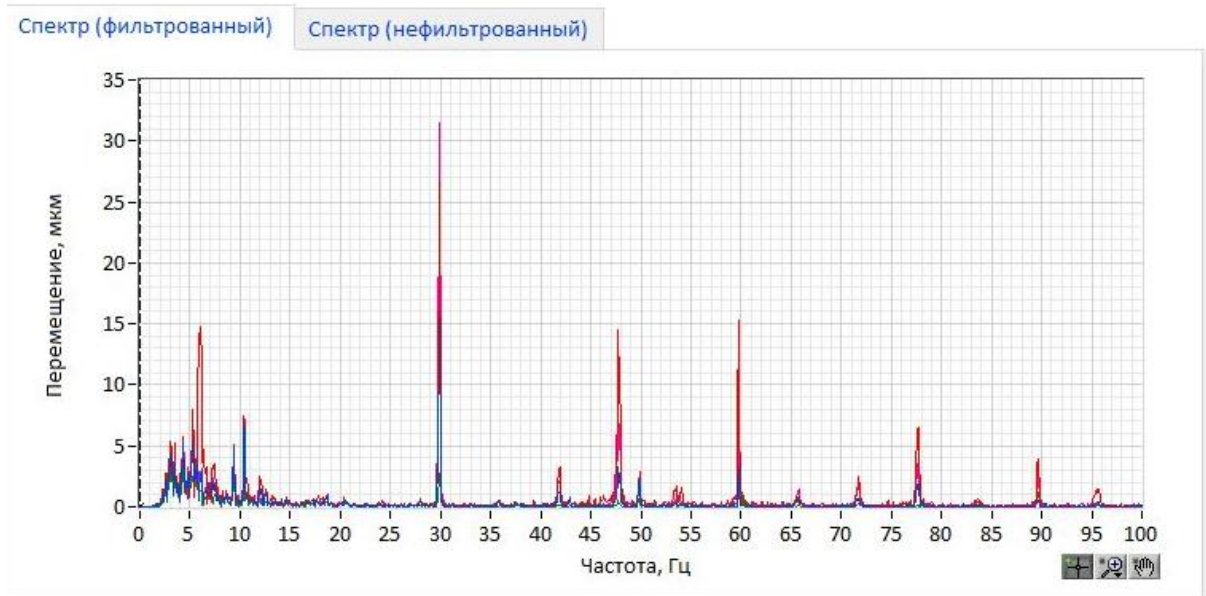


Рисунок 3.18 Спектрограмма работы долота

Рассмотрим форму сигнала воздействующего на имитатор бурового долота, путем установки двух датчиков вибрации на двух основаниях в одном направлении. Развитие процесса приведено на рисунке 3.19, форма колебаний представлена в виде синусоиды, фазы колебаний совпадают. Буровая колонна колеблется в одном направлении.

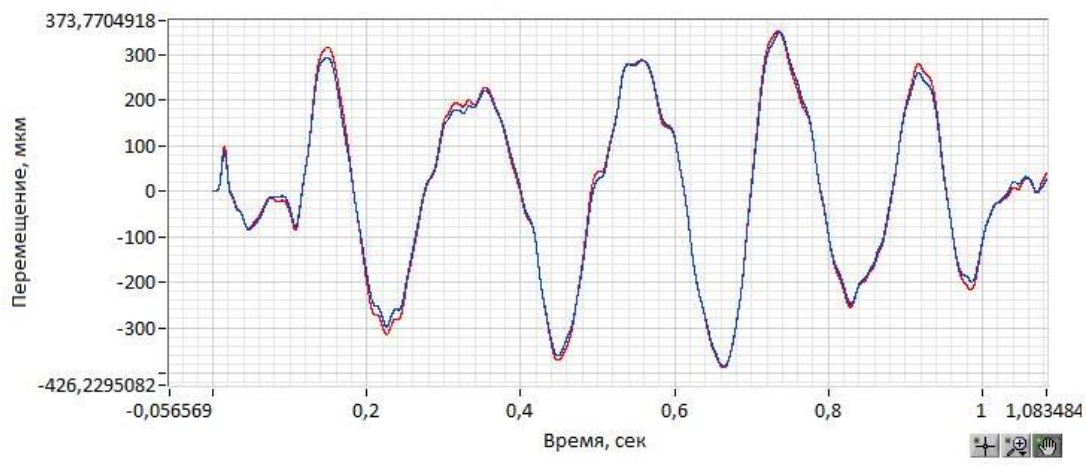


Рисунок 3.19 Развитие процесса

После чего постепенно увеличиваем частоту вращения буровой колонны, переходим в установившийся режим работы, колебания идут в противофазе, колонна начинает вибрировать. Вызванные динамические нагрузки приводят к изгибу нижней части, где находится буровое долото, тем самым ударяя его о стенки забоя. Рассмотрен вопрос о возможности обратного вращения долота (изменении знака угловой скорости в результате динамического процесса), которое на практике приводит к быстрой поломке долота вследствие того, что его конструкция не предназначена для такого движения.

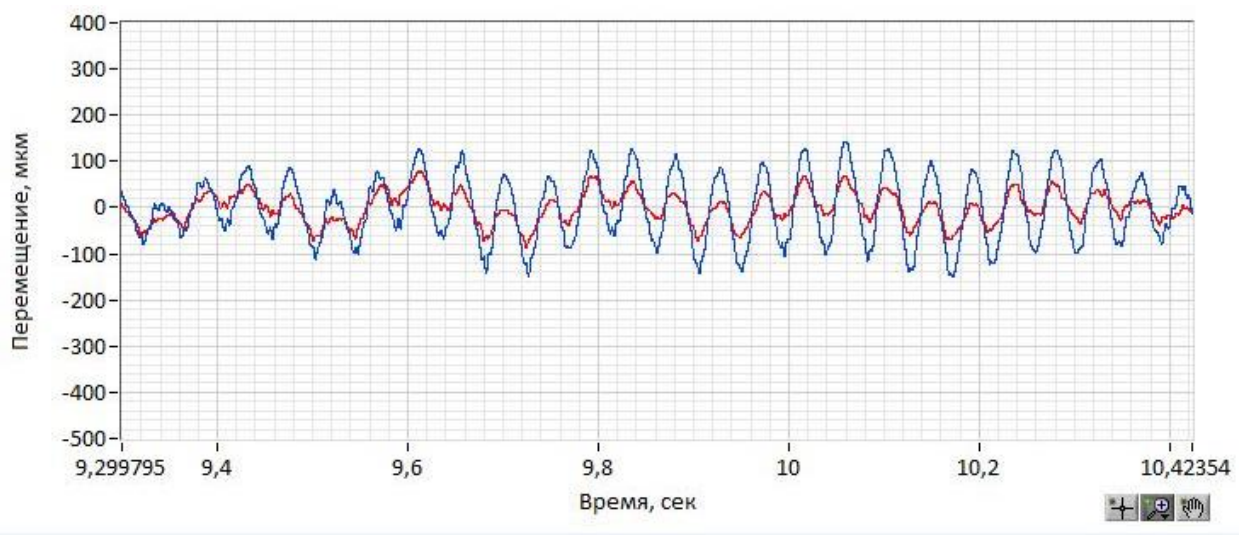


Рисунок 3.20 Переходный процесс

После небольшого временного промежутка, изменяя частоту вращения долота, сигнал, полученный с двух датчиков, установленных на одной оси,

начинается расходиться, увеличивается амплитуда виброперемещения, но изгибные колебания не действуют на буровую колонну, так как резонансная частота еще не пройдена.

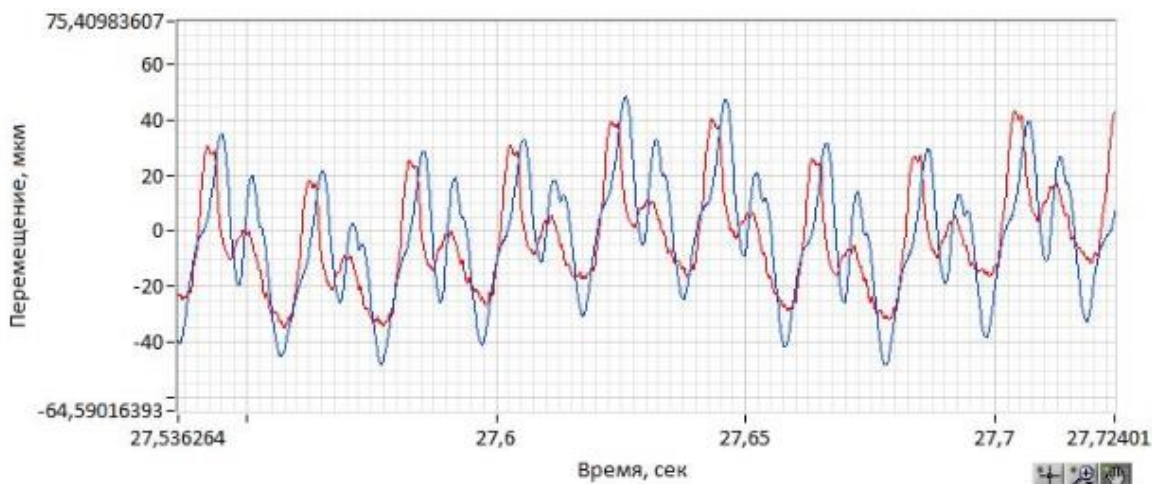


Рисунок 3.21 Установившийся режим работы

Анализируя временную характеристику виброперемещения платформ, датчики были установлены на верхнем и нижнем основании, направленные по оси y . Буровая колонна совершала изгибные колебания, так как сигналы, полученные с датчиков идут в противофазе. Такие же колебания наблюдались и на других частотах.

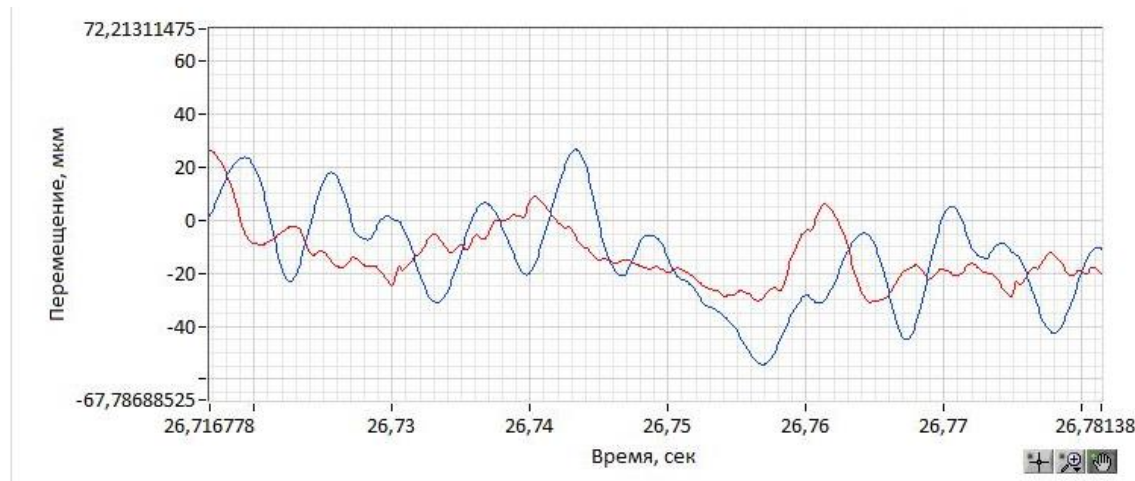


Рисунок 3.22 Установившийся режим работы после прохождения резонансной частоты

После прохождения резонансной частоты сигнал нижнего основания начинает опережать нижнее основание. Присутствуют две моды колебаний буровой колонны, на рисунке 3.23 представлено поведение при прохождении

первой резонансной частоты, буровое долото смещено относительно центра в одном направлении. При прохождении второй наблюдается искривление буровой колонны, что свидетельствует о наличии вибрации, возникающей в зоне бурения, тем самым увеличивается износ, буровых труб и бурового долота.

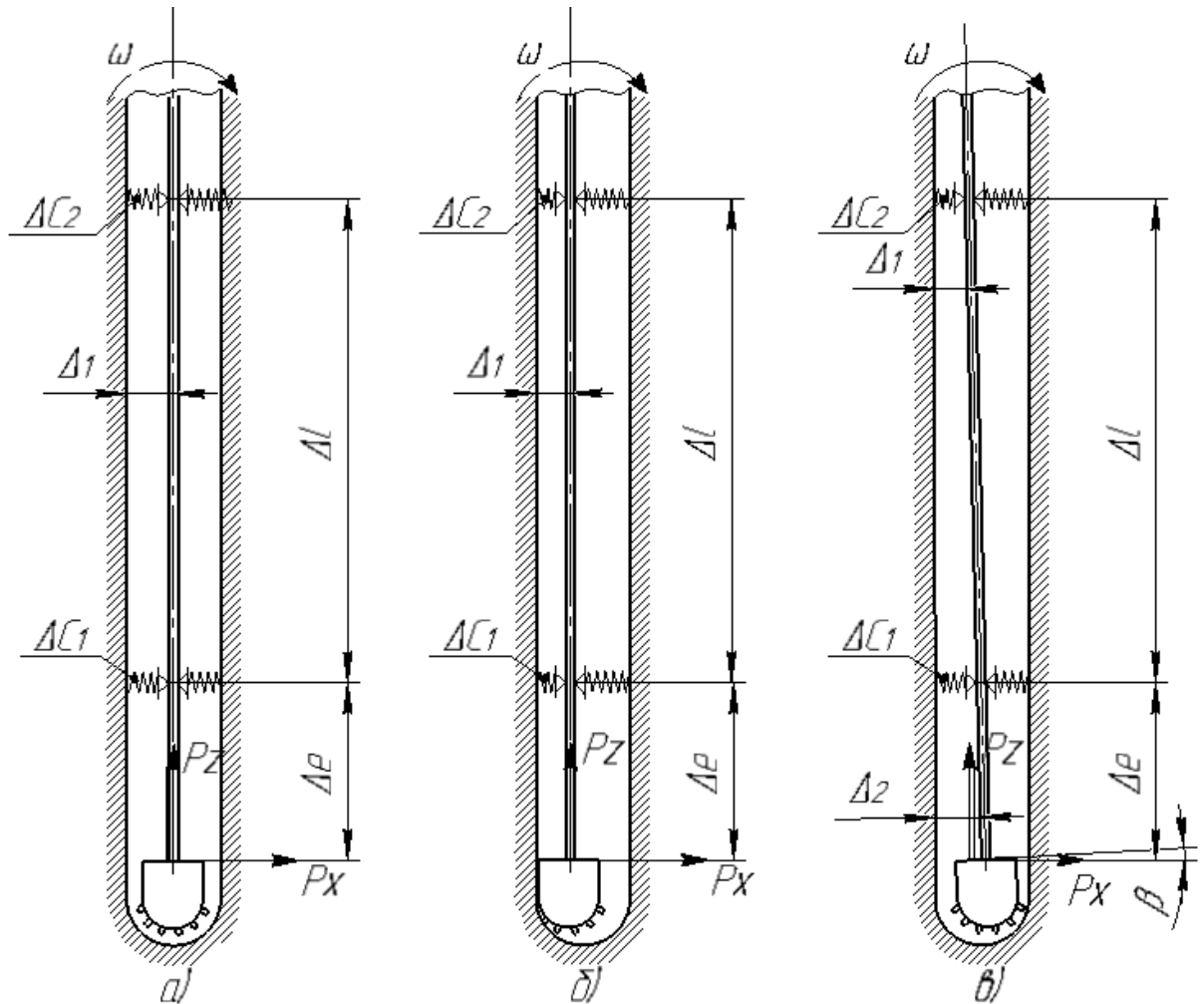


Рисунок 3.23 Колебания буровой колонны

а) в начале вращения б) при совпадении фаз амплитуд сигнала в) амплитуды сигналов находятся в противофазе

Для анализа колебаний буровой колонны составлена амплитудно-частотная характеристика стенда, для моделирования динамических нагрузок. Наибольшая величина амплитуды виброперемещения наблюдалась на частоте 27 Гц и 42 Гц. Ранее были рассчитаны собственные частоты системы, равные 31 и 86 Гц соответственно, стенд не позволяет исследовать поведение буровой

колонны при более высоких частотах. Но наличие первой резонансной частоты, дает понимание о совпадении расчетных данных с экспериментальными.



Рисунок 3.24 Амплитудно-частотная характеристика долота

Такое поведение буровой колонны также описывается в работах [], по утверждению данных исследователей такие колебания буровой колонны могут возникать под влиянием эффекта прецессии. Для установления данного эффекта произведем математическое моделирование буровой колонны. Стенд выполнен по методу динамического подобия, но его габариты не позволяют в полной мере оценить полноту данного процесса. Следующим шагом является создание математической модели стенда, затем следует проверка адекватности его работы, после чего моделирование нижней части буровой колонны.

3.2 Построение математической модели

При бурении на в горной и нефтегазовой отраслях, долото имеет важное значение, так как служит инструментом для разрушения горной породы, формируя при это ствол скважины. В связи с этим повышение стойкости долот является важной задачей для выделенных областей.

При бурении, в основном, нефтяных и газовых скважин, в последнее время широкое распространение получили долота PDC (polycrystalline diamonds cutters). Это объясняется тем, что с развитием отрасли возрастают требования к буровому инструменту, и существующий уже не в состоянии обеспечить требуемую долговечность. Бурение осадочных горных пород, состоящих из твердых слоев, является наиболее трудоемким процессом, требующим большого расхода долот и определяющим общий ресурс времени для бурения скважины [33].

Причин преждевременного выхода из строя бурового долота имеется большое количество, например трение и забой скважины, абразивное изнашивание, ударные нагрузки, возникновение прецессии долота. Для этого изучалась кинематика бурения долота на забое и исследовались наиболее рациональные режимы бурения. В связи с этим необходимо построить математическую модель долота, с целью выявления параметров вибрации, при конструктивных параметрах жесткости, демпфирования частот вращения, обеспечивающих снижение нагрузок на буровое долото, и тем самым увеличивая его стойкость.

Стенд для моделирования динамических нагрузок действующих на долото во время процесса бурения. Данный стенд может применяться также для механнообрабатывающего оборудования, с целью выявления действия нагрузок снижающих стойкость режущего инструмента. Данный стенд позволяет моделировать процесс бурения на поверхности, тем самым позволяя исследовать причину снижения стойкости долота. Для этого имеется возможность регулирования частоты вращения, с помощью частотного

преобразователя. Мотор соединенный с валом, через муфту приводит в движение модель буровой колонны. Преимуществом данного стенда является возможность регулирования жесткости конструкции за счет уменьшения либо увеличения расстояния между центраторами. Также имеется возможность регулирования нагрузки, создаваемой в данном случае переменным магнитным полем. При исследованиях динамики работы долота устанавливаются режимы работы при которых вибрация долота будет иметь минимальное значение, с сохранением эффективности бурения.

Снижение негативных параметров, положительно сказывается на стойкости бурового инструмента, с учетом современных тенденций по увеличению производительности буровых долот, что отражается на экономической эффективности процесса бурения [34].

Бурильная колонна обладает распределёнными инерционными и жёсткостными характеристиками и моделируется как стержень, сечения которого имеют степени свободы вертикального перемещения и поворота вокруг вертикали. Остальные части конструкции моделируются в виде присоединённых к сечениям стержня массовых или силовых элементов. Так, двигатель с падающей характеристикой представлен в модели крутящим моментом, приложенным к верхнему сечению стержня, и зависящим от угловой скорости этого сечения.

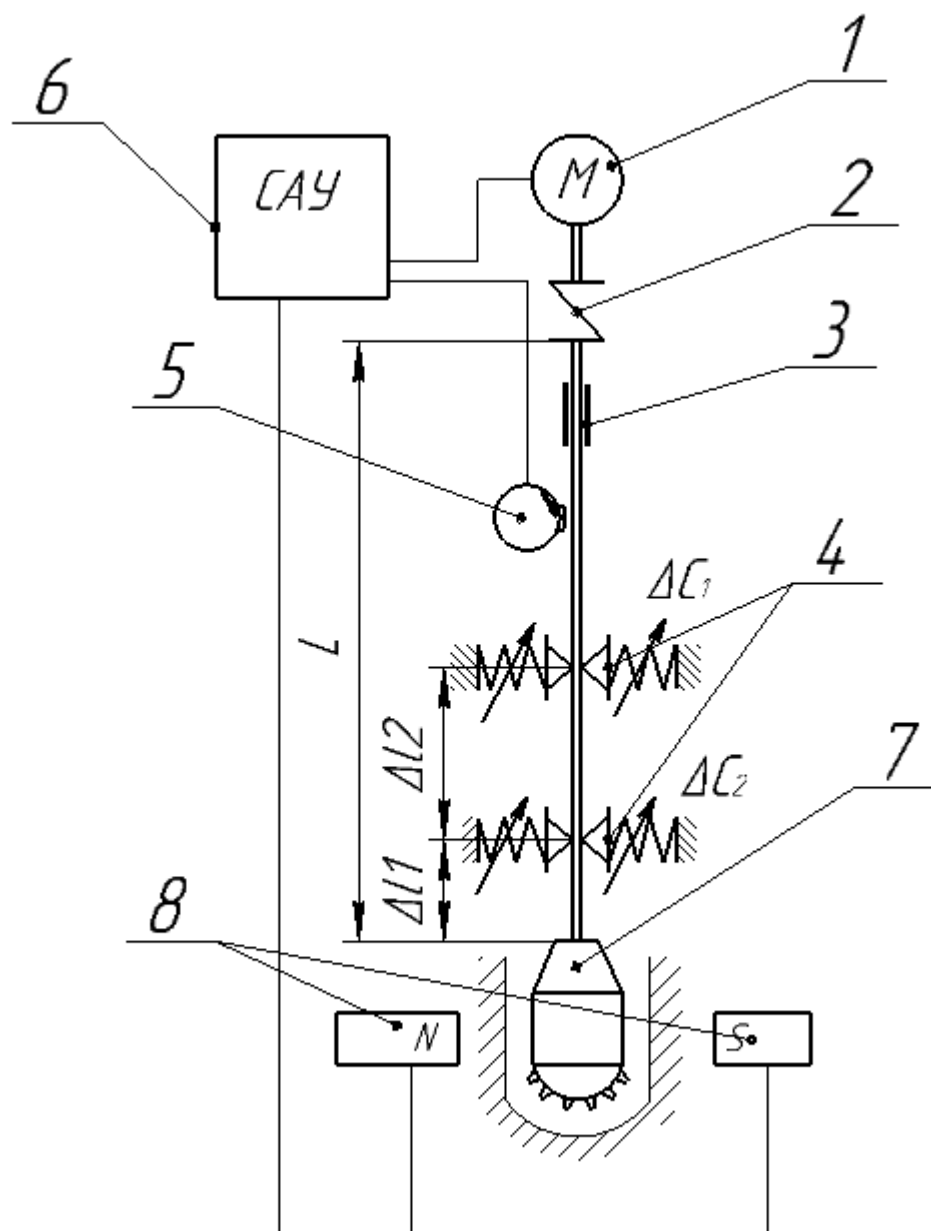


Рисунок 3.25 Принципиальная схема испытательного стенда.

1- электрический двигатель, 2- муфта, 3- радиальный подшипник, 4- основания, служащие центраторами при бурении, 5 – счетчик оборотов, 6– система автоматического управления; 7– модель долота; 8 – элементы для создания нагрузки в радиальном и осевом направлении;

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых вопросу о нежелательных вибрациях при бурении, целостное представление о механизмах их возникновения ещё не сформировано. Математические модели, предложенные для изучения крутильно-продольных колебаний и их проявлений в виде периодов проскальзывания и застоя долота, достаточно

разнородны, и исходные предположения, положенные в основах моделей, не всегда достаточно обоснованы и привязаны к практике. Ситуация осложняется редким на настоящий момент использованием измерительного и следящего оборудования на забое, показаниями которого можно было бы руководствоваться при построении моделей. А существующие экспериментальные данные в большинстве случаев недоступны за пределами фирм, выполняющих исследования, и их заказчиков. Недостаток экспериментальных данных в первую очередь затрудняет построение модели взаимодействия долота с породой, выражающейся в определяющих соотношениях при бурении [35].

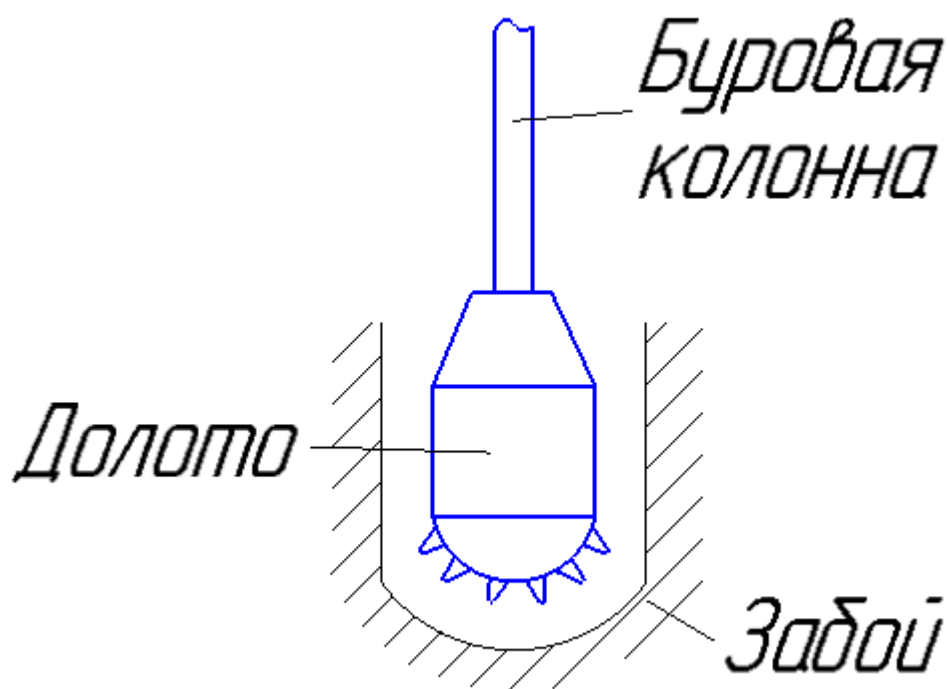


Рисунок 3.26 Узел для математического моделирования и расчета

Принципиальная схема узла, работы долота на забое, представлена на рисунке 1.

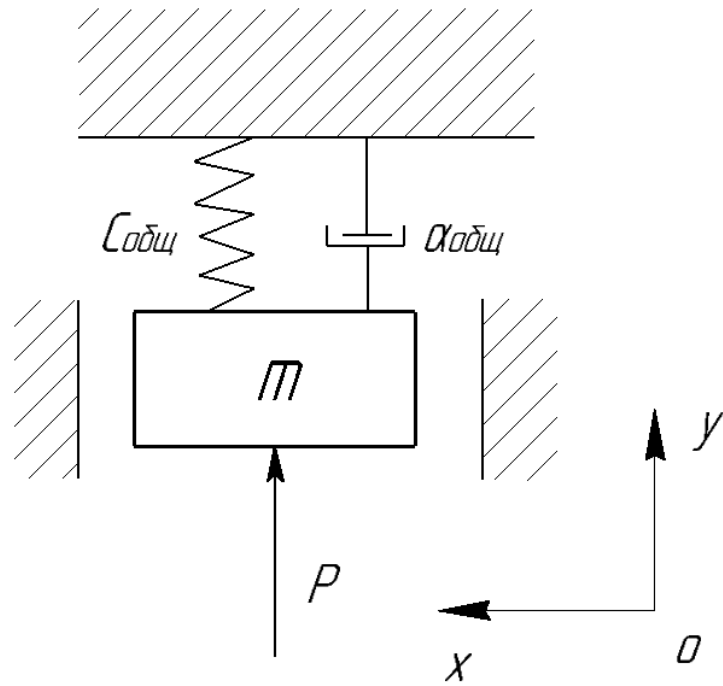


Рисунок 3.27 Принципиальная схема работы долота

Так как долото имеет круглую форму проекция на ось y , будет совпадать с проекцией на ось x . В связи с этим составим одну принципиальную схему для проекций на 2 координатных оси.

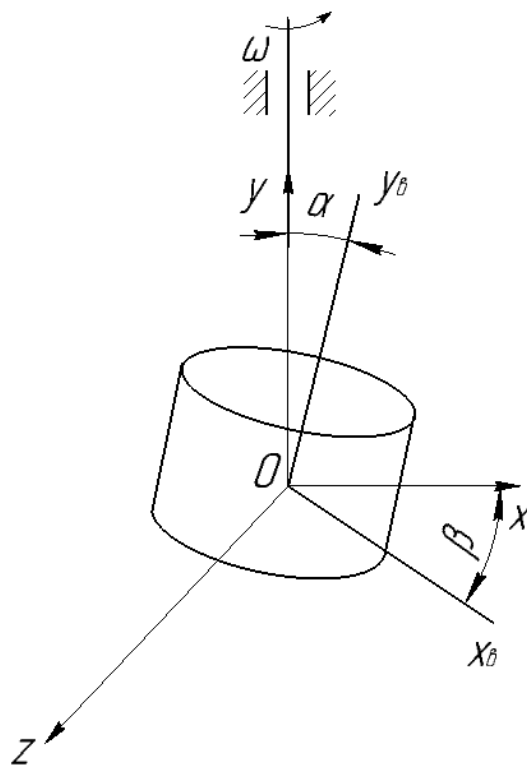


Рисунок 3.28 Принципиальная схема во вращающейся системе при $\alpha < \beta$

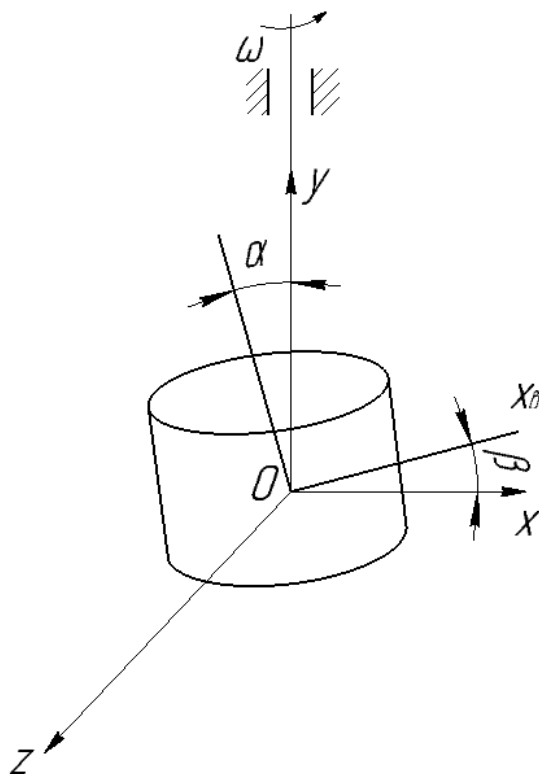


Рисунок 3.29 Принципиальная схема во вращающейся системе координат при $\alpha = \beta$

Расшифруем параметры, которые в дальнейшем рассчитывать и применять для решения математической модели.

Где $\alpha_{\text{трение о стенку}}$ – сила трения о стенки забоя;

$\alpha_{\text{среды}}$ – коэффициент трения среды;

C_1 – жесткость буровой колонны;

C_2 – жесткость долота;

F – нагрузка действующая на долото ;

M – изгибающий момент;

θ – массовый момент инерции.

Силловые факторы, действующие на один идеально острый резец, могут быть определены на основании принципа подобия. Учёт затупления резца приводит к необходимости включения трения в модель.

Конструктивно узел состоит из долота и буровой колонны, приводимого в движение с помощью электрического мотора, за счет создания крутящего момента. Под действием осевой нагрузки долото соприкасается с забоем.

Увеличивая либо уменьшая частоту вращения, увеличиваем либо уменьшаем момент, действующий на долото. Регулирование жесткости трубы осуществляется за счет изменения расстояния от долота до платформы. Чем дальше удалено основание от долота, тем меньше жесткость. Маленькая жесткость при работе приводит к созданию изгибных колебаний, за счет приложения осевой и радиальной нагрузки, а также крутящего момента.

Исследования проводятся на различных режимах работы и при различных технологических параметрах, для устранения негативных динамических нагрузок, таких как ударные нагрузки, вибрация, неравномерность вращения, биение бурового инструмента, возникающих в процессе работы.

3.2.1 Расчетная схема

На рисунке 3.30 представлена расчетная схема, по которой будет производиться математическое моделирование работы бурового долота, под действием динамических нагрузок.

Поскольку наиболее интенсивные изгибные колебания системы имеют место в нижней части буровой колонны, для упрощения задачи пренебрегаем влиянием верхней части. Примем, что все упругие перемещения у иглы поворотов малы, поэтому задачу рассматриваем в лицензированной постановке.

Подробнее о действии сил, на нее воздействует продольная сжимающая сила F , в данном случае осевая нагрузка, возникающая при соприкосновении долота с забоем. Ей противостоит жесткость буровой колонны, а также демпфирование системы, вызванное упругой деформацией труб. Параметр жесткости оказывает значительное влияние на колебания буровой колонны, в связи с этим для обеспечения требуемой жесткости устанавливаются центраторы, играющие роль дополнительных опор. Сила трения возникает между долотом и стенками скважины, и действует противоположно силе

внешнего нагружения. Так же, как и во всех расчётных схемах, где присутствует масса, имеется сила инерции.

Так как буровое долото имеет круглую форму, при работе на него действует сила кориолиса и, их также необходимо учесть при математическом моделировании [36].

Колебания долота рассмотрим во вращающейся система координат, поэтому на него действуют силы инерции относительного и переносного движений, а также кориолисовы силы инерции. Центробежная сила, направленная от центра к краям бурового долота. Кориолисова сила действует противоположно центробежной силе. Основным внешним усилием является изгибающий момент.

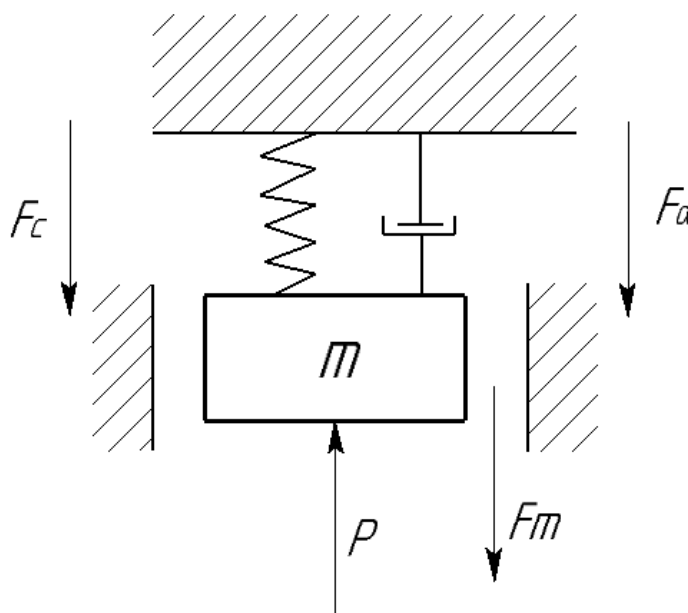


Рисунок 3.30 Расчетная схема в неподвижной системе координат

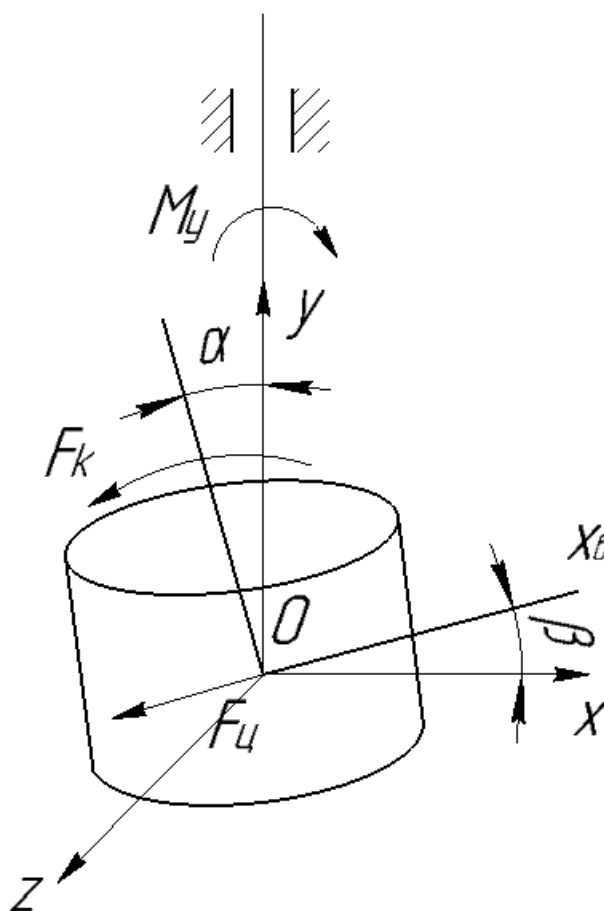


Рисунок 3.31 Расчетная схема во вращающейся системе координат

Из составленной расчетной схемы, составим уравнения для создания математической модели. Для начала запишем определим внешние нагрузки, воздействующие на систему.

Нагрузка, действующая на долото, выражается гармоническим сигналом, по синусу, с определенной частотой, в начальный момент прикладывается сила:

$$P = F_k + A \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Сила равна постоянному значению:

$$F_k = \text{const}$$

Для приведения буровой колонны во вращение, необходим крутящий момент, под действием которого и будет происходить вращение. Также под действием крутящего момента возникает угловая скорость.

$$M_x = F_r + K \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Приводимое в движение буровое долото, будет действовать центробежная сила, значение которой также задается постоянным значением:

$$T = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

Далее составим уравнения сил, действующих на буровую колонну, рассмотрим нагрузки относительно осей ОХ и ОУ, так долото отклоняется в направлении двух осей:

$$m \cdot \ddot{x} + 2 \cdot \omega \cdot \dot{y} \cdot m - \omega^2 \cdot m \cdot x + C_1 \cdot x + h \cdot \dot{x} = P_x$$

Выразим ускорение тела по оси X, для интегрирования

$$\ddot{x} = \frac{P_x - h \cdot \dot{x} - C_1 \cdot x}{m} - 2 \cdot \omega \cdot \dot{y} \cdot m + \omega^2 \cdot m \cdot x$$

Также составим уравнения действия сил на долото по оси Y:

$$m \cdot \ddot{y} + 2 \cdot \omega \cdot \dot{x} \cdot m - \omega^2 \cdot m \cdot y + C_2 \cdot y + h \cdot \dot{y} = P_y$$

Выразим ускорение тела по оси Y, для интегрирования

$$\ddot{y} = \frac{P_y - h \cdot \dot{y} - C_2 \cdot y}{m} + 2 \cdot \omega \cdot \dot{x} \cdot m + \omega^2 \cdot m \cdot y$$

Составим уравнение действия изгибающего момента на долото

$$A \cdot \ddot{\alpha} + [\theta - (A + B)] \cdot \omega \cdot \dot{\beta} + (\theta - B) \cdot \omega^2 \cdot \alpha + C_2 \cdot \alpha + h \cdot \dot{\alpha} = M_x$$

Выразим угловое ускорение поворота долота относительно оси вращения, с проекцией на ось X

$$\ddot{\alpha} = \frac{M_x - [\theta - (A + B)] \cdot \omega \cdot \dot{\beta} - (\theta - B) \cdot \omega^2 \cdot \alpha - C_2 \cdot \alpha + h \cdot \dot{\alpha}}{A}$$

Составим уравнение действия изгибающего момента на долото

$$B \cdot \ddot{\beta} - [\theta - (A + B)] \cdot \omega \cdot \dot{\alpha} + (\theta - B) \cdot \omega^2 \cdot \beta + C_2 \cdot \beta + h \cdot \dot{\beta} = M_y$$

Выразим угловое ускорение поворота долота относительно оси вращения с проекцией на ось У

$$\ddot{\beta} = \frac{M_y - [\theta - (A + B)] \cdot \omega \cdot \dot{\alpha} - (\theta - B) \cdot \omega^2 \cdot \beta - C_2 \cdot \beta + h \cdot \dot{\beta}}{B}$$

Значения параметров жесткости, коэффициентов демпфирования, внешних воздействий, будут рассчитаны далее. В данном случае проверяется адекватность работы буровой колонны.

3.2.2 Расчет параметров

Для проверки адекватности работы стенда для моделирования динамических нагрузок, необходимо рассчитать коэффициенты жесткостей элементов буровой колонны, коэффициента трения, внешних усилий действующих на буровую колонну.

Модель бурового долота при проведении испытаний на стенде, подвергается воздействию как осевых, так и радиальных нагрузок. Установить данные нагрузки возможно лишь с погрешностью, так как точных данных на которые можно было бы сослаться не представлено.

Для упрощения расчета осевого момента инерции, примем долото в форме цилиндра и воспользуемся литературой [37].

Осевой момент инерции:

$$J_x = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot R^4}{4} = \frac{3.14 \cdot (16 \cdot 10^{-3})^4}{64} = 3215.36 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4 \quad (3.3)$$

где d - диаметр вала, м

Рассчитаем коэффициент жесткости буровой колонны, который в дальнейшем будет применяться для расчета жесткости колонны на изгиб, при приложении момента.

$$C = E \cdot J = 200 \cdot 10^9 \cdot 3215.36 \cdot 10^{-12} = 643.072 \text{ Па} \cdot \text{м}^4 \quad (3.4)$$

где E – модуль упругости для стали примем $200 \cdot 10^9$ Па

Рассчитаем изгибную жесткость буровой колонны

$$C = \frac{3E \cdot J}{l^3} = \frac{3 \cdot 2,34 \cdot 10^5}{0,39^3} = \frac{3 \cdot 643.072}{0,59319} = 3253,31 \text{ Н/м} \quad (3.5)$$

Где l- длина буровой колонны, м

E- модуль упругости стали, Па

Статическая жесткость буровой трубы

Данную жесткость была установлена при помощи эксперимента, на вал, длиной 370 мм, была приложена нагрузка равная 10 Н, перемещение тела составило 2,4 мм, из полученных данных рассчитаем жесткость буровой трубы

$$F = C \cdot x \rightarrow C = \frac{F}{x} = \frac{10}{2,4 \cdot 10^{-3}} = 4166,6 \text{ Н/м} \quad (3.6)$$

Найдем массовый момент инерции, являющийся мерой инерции при вращательном движении, по формуле 3.5

Относительно оси вращения, ось вращения примем координатную ось z

$$\theta = I_z = \frac{m \cdot r^2}{2} = \frac{1,1 \cdot (35 \cdot 10^{-3})^2}{2} = 673.75 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.7)$$

где m – масса модели долота, кг

r– радиус модели долота, м

Далее, рассчитаем массовый момент инерции относительно осей ОХ и ОУ [38]:

$$I_x = I_y = \frac{m(3r^2 + h^2)}{12} = \frac{1.1(3*(35*10^{-3})^2 + (20*10^{-3})^2)}{12} = 373.541 * 10^{-6} \text{ кг * м}^2 \quad (3.8)$$

где h- высота долота, м

Сила трения определяется коэффициентом трения между трубой и стенкой скважины. При работе с буровыми растворами на коэффициент трения влияет смазывающая способность бурового раствора, которой можно управлять или регулировать с помощью введения в раствор добавок. Сила трения определяется значением коэффициента трения и величиной нормальной силы, действующей на колонну. Высокие интенсивности набора небольших значений зенитных углов приводят к возникновению больших сил трения, чем низкие интенсивности набора больших значений зенитных углов. Коэффициент трения найдем экспериментальным путем, по формуле (3.9) из зависимости:

$$h = Ln\left(\frac{A_{\text{пред}+1}}{A_{\text{пред}}}\right) = \frac{40}{25} = 0,47 \quad (3.9)$$

где $A_{\text{пред}}$ – величина амплитуды, мкм

$A_{\text{пред}+1}$ – величина амплитуды через один период, мкм

Сравним собственные частоты, полученные экспериментальным путем, с частотами полученными методами математического моделирования. Их расчет производился ранее по формулам 3.1 и 3.2, так как в буровой колонне присутствует два типа жесткостей, жесткость буровых труб и жесткость бурового долота, данные резонансные пики отображаются при спектральном анализе системы, для каждой жесткости.

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot C}{M}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4091}{1.1}} = 86 \text{ Гц}$$

где C – жёсткость буровой трубы, Н/м

m – масса вала, кг

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{L^2 \cdot C}{2 \cdot \theta}} = \sqrt{\frac{0.02^2 \cdot 3253,31}{2 \cdot 6,737 \cdot 10^{-4}}} = \sqrt{\frac{494,82}{13,474 \cdot 10^{-4}}} = 31 \text{ Гц}$$

где L – длина цилиндра, м

C – изгибная жесткость, Н/м

θ – массовый момент инерции, м⁴

На буровом долоте, как и на модели бурового долота, имеются лопасти, на которых установлены резцы, разрушающие породу, при совпадении зубцовой частоты с частотой возбуждения также в системе возникает резонанс, рассчитаем ее по формуле 3.10:

$$\omega_{\text{зубцовая}} = \omega_{\text{об.}} \cdot z \quad (3.10)$$

где z – число лопастей

ω – частота возбуждения, Гц

```

1 function f=bit(t,n)
2 m=1; % масса, кг
3 F=10; % усилие по X
4 K=20; % амплитуда N по X
5 S=40; % усилие по Y
6 D=20; % амплитуда по Y
7 q=2; % частота Гц
8 w=q*2*pi; % круговая частота, рад/с
9 Px=F+K*sin(w*t); % нагрузка по OX
10 Py=D+S*sin(w*t); % нагрузка по OY
11 A=0.03; % массовый момент инерции кг/м^2, X
12 B=0.04; % массовый момент инерции кг/м^2, Y
13 Tet=0.07; % массовый момент инерции кг/м^2, Z
14 Mx=F+K*sin(w*t); % момент инерции M^4, по OX
15 My=2*Mx; % момент инерции M^4, по OY
16 Z=0.47; % коэффициент трения
17 C=6500; % изгибная жесткость буровой колонны, Н/м
18 C1=2000; % статическая жесткость, Н/м
19 % n(1)=x, n(2)=x'
20 % n(3)=y, n(4)=y'
21 % n(5)=alfa, n(6)=alfa'
22 % n(7)=betta, n(8)=betta'

```

Рисунок 3.32 Данные для расчета в Matlab

3.2.3 Результаты математического моделирования

На рисунках 3.33–3.34 представлены графики виброперемещения, показывающий перемещение массы буровой колонны, при приложении к нему нагрузки P . Данные нагрузки носят гармонический характер. Для проверки адекватности модели необходимо построить спектральные характеристики модели и сравнить их с результатами эксперимента.

Для начала сравним временные характеристики, в установившемся режиме, амплитуда представлена виброперемещением долота, относительно оси вращения.

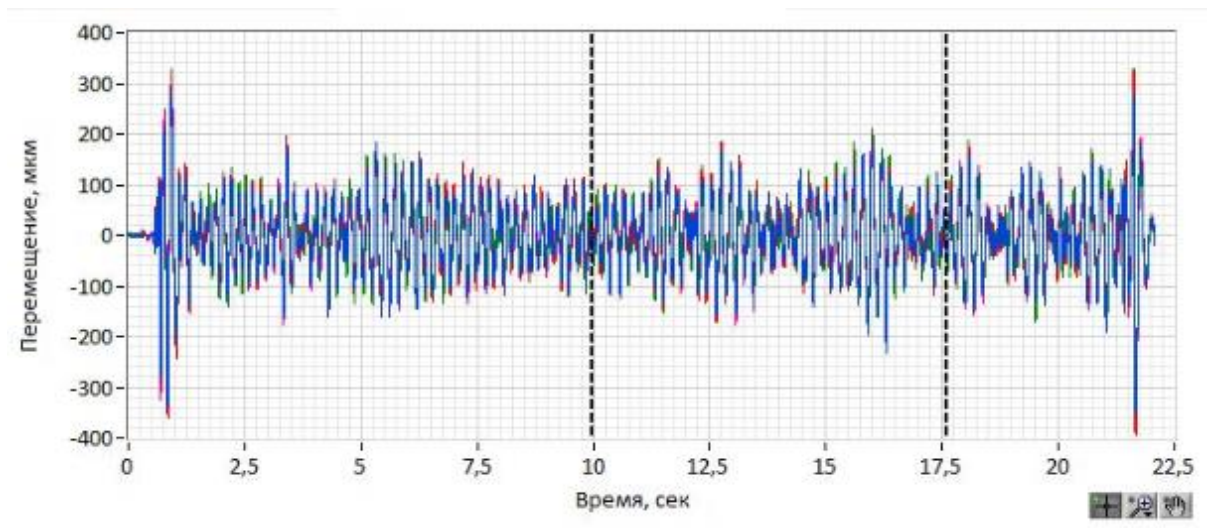


Рисунок 3.33 Временная характеристика при проведении эксперимента

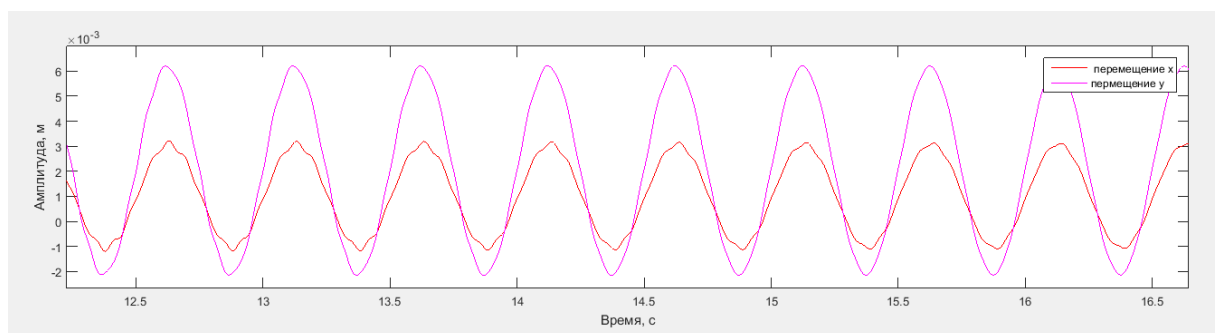


Рисунок 3.34 Временная характеристика при математическом моделировании

По графикам, представленным на рисунках 3.33-3.34, которые находятся в одном временном диапазоне, можно сделать вывод, что математическая модель ведет себя адекватно, величина виброперемещения при математическом моделировании, превышает показания, полученные при проведении эксперимента, но находятся допустимом в диапазоне. Исходя из чего, можно сделать вывод, что математическая модель рассчитана, верно.

Следующим шагом для проверки адекватности модели является сопоставление спектров полученных в результате эксперимента, и в ходе математического моделирования [39].

Для проведения сравнения адекватности математической модели, построим спектр перемещения долота, амплитуда выражена в мкм.

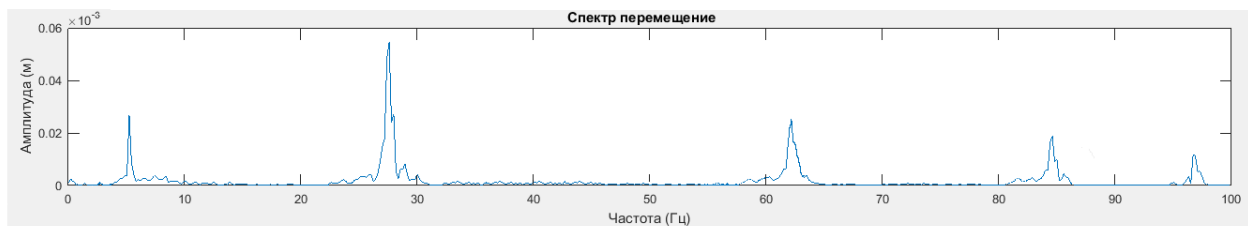


Рисунок 3. 35 Спектрограмма, полученная при математическом моделировании

Сравним спектр, полученный в ходе математического моделирования, со спектром полученного на стенде для моделирования динамических нагрузок действующих на долото, при помощи комплекса Виброрегистратор-М2. Полученный спектр приведен на рисунке 3.36.

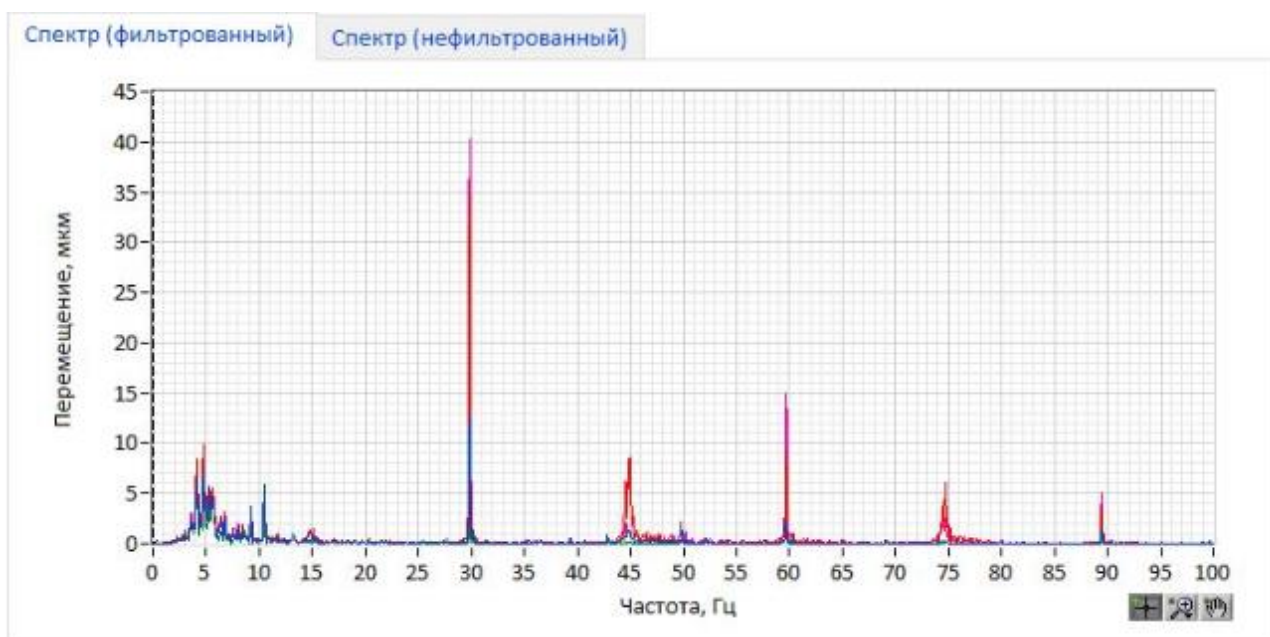


Рисунок 3.36 Спектрограмма, полученная при проведении эксперимента

По результатам математического моделирования, собственные частоты стенда приведены в таблице 3.2. При сравнении их с данными полученными при математическом моделировании, можно сделать вывод, что модель ведет себя адекватно, спектры имеют расхождение менее 15 процентов, что является очень хорошим результатом. Так как в реальных условиях, на долото действует большое количество различных усилий, природу которых не всегда представляется возможным установить и рассчитать.

Таблица 3.5 Сравнение данных экспериментальных и математического моделирования

Результаты эксперимента		Результаты математического моделирования	
Частота, Гц	Виброперемещение, мкм	Частота, Гц	Виброперемещение, мкм
5	10	5	45
30	40	33	59
45	9	50	2
60	15	63	22
75	7	70	19
90	5	97	12

Разброс в величине виброперемещений объясняется тем, что при расчётах жесткость системы для математического моделирования была посчитана с погрешностью, но основным фактором является совпадении частот возбуждения с собственными частотами на спектрах, при которых в системе возникает резонанс.

После подтверждения адекватности математической модели, подставим значения массы, жесткости, нагрузок действующих при процессе бурения на долото. Значения жесткостных параметров, массы, моментов и сил примем согласно исследованиям, представленным в статье [40].

Также немаловажным фактором является время, за которое система переходит из переходного в установившийся режим работы. Основными параметрами, влияющими на этот параметр, являются коэффициент демпфирования и жесткость. Переходный процесс опасен тем, что при нагружении системы, она откликается в виде вибрации, амплитудой превышающей в несколько раз, чем при установившемся режиме.

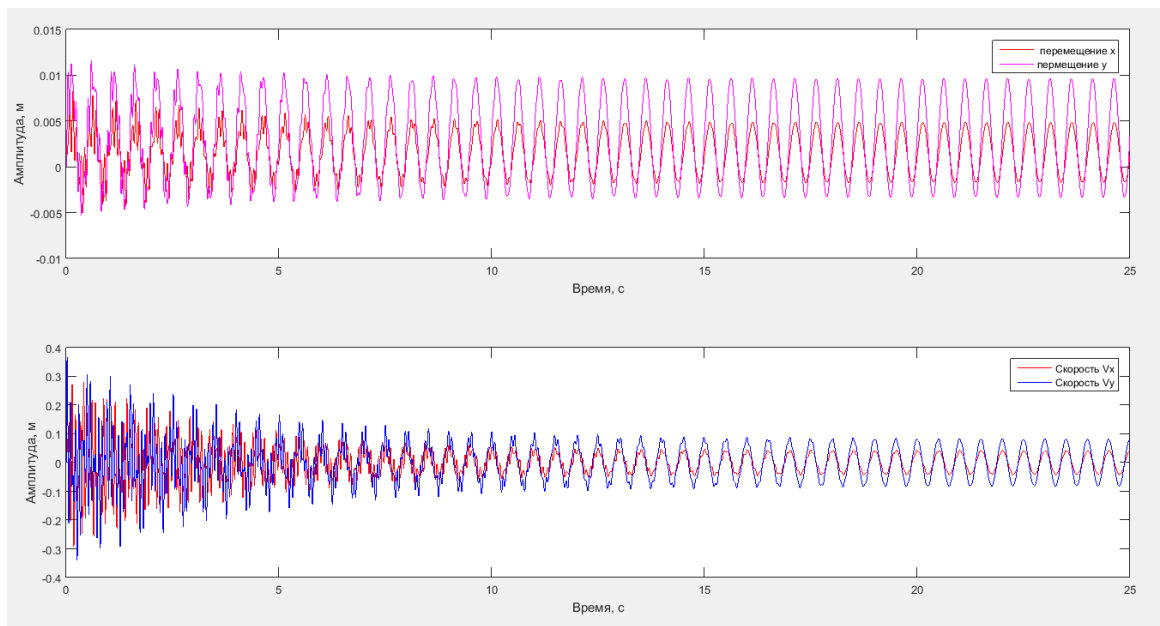


Рисунок 3.37 Графики перемещения и скорости бурового долота

Такой же эффект наблюдается при угловом перемещении долота, и угловой скорости прогиба, приведены на рисунке 3.38

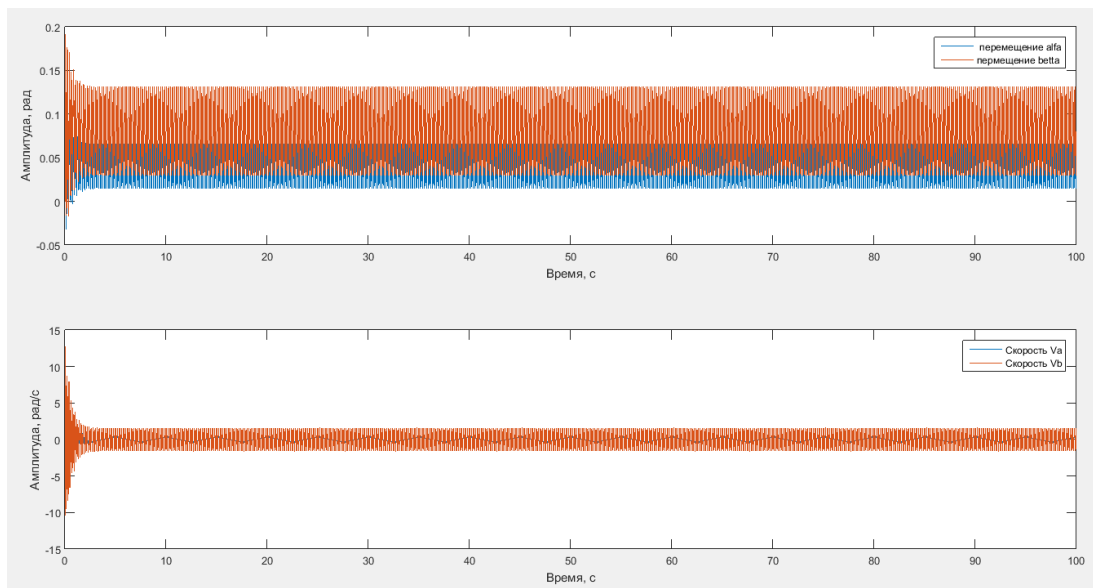


Рисунок 3.38 Угловое перемещение и угловая скорость прогиба

3.2.4 Исследование математической модели

Проведем исследования влияния нагрузки действующий при бурении на величину вибрации, полученный график представлен на рисунке 3.39.

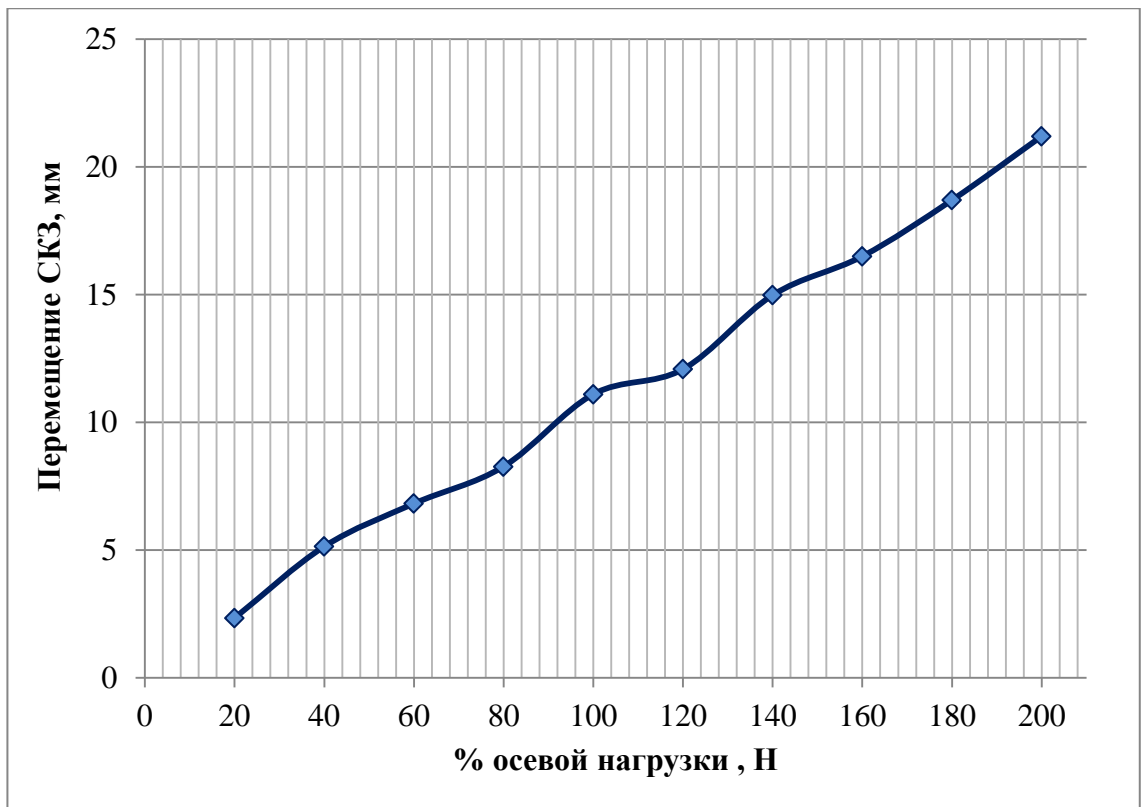


Рисунок 3.39 Влияние осевой нагрузки на величину вибрации

По результатам проведенного исследования получена графическая зависимость. Увеличение нагрузки линейно влияет на величину вибрации, так этот параметр является величиной постоянно меняющийся из-за горно-геологических условий. Для этого проведем исследования влияния жесткости на величину вибрации [41].

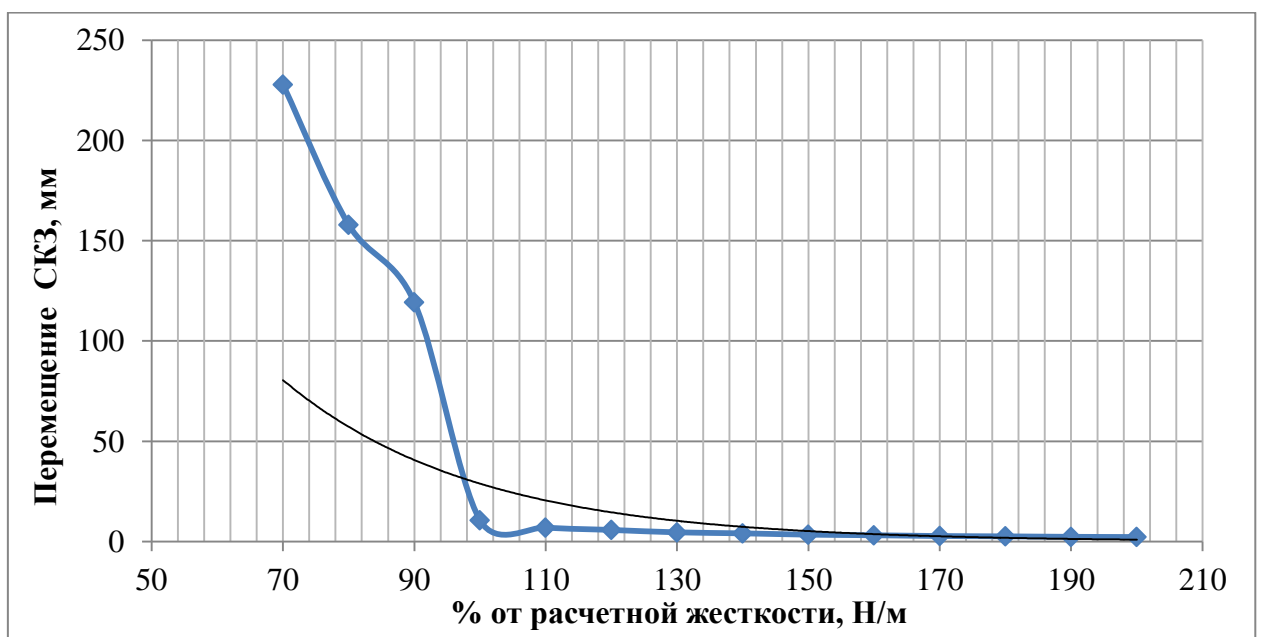


Рисунок 3.40 Влияние жесткости системы на величину вибрации

Представленный график имеет нелинейную зависимость. Анализируя можно сказать, что увеличение жесткости незначительно влияет на величину вибрации, но на ее снижение система откликается мгновенно, амплитуда вибрации возрастает в несколько раз, что негативно повлияет на буровую колонну.

Значение жёсткости, сниженное в половину от номинальной невозможно, так как величина амплитуды принимает очень большие значения, которые можно назвать неадекватными. Также с уменьшением жёсткости меньше номинальной, увеличивается время переходного процесса, это также негативно влияет на стойкость бурового оборудования и качестве ствола скважины.

К конструкторским методам снижения вибрации, как упоминалось ранее относится установка авто балансирующего виброгасителя, так как при проведении экспериментов на стенде не имелось возможности его исследовать, то исследование его эффективности необходимо провести при математическом моделировании [42].

Для сравнения эффективности влияния виброгасителя на буровое долото, установим амплитуду вибрации в установившемся режиме, без применения устройства. Приведена на рисунке 3.41.

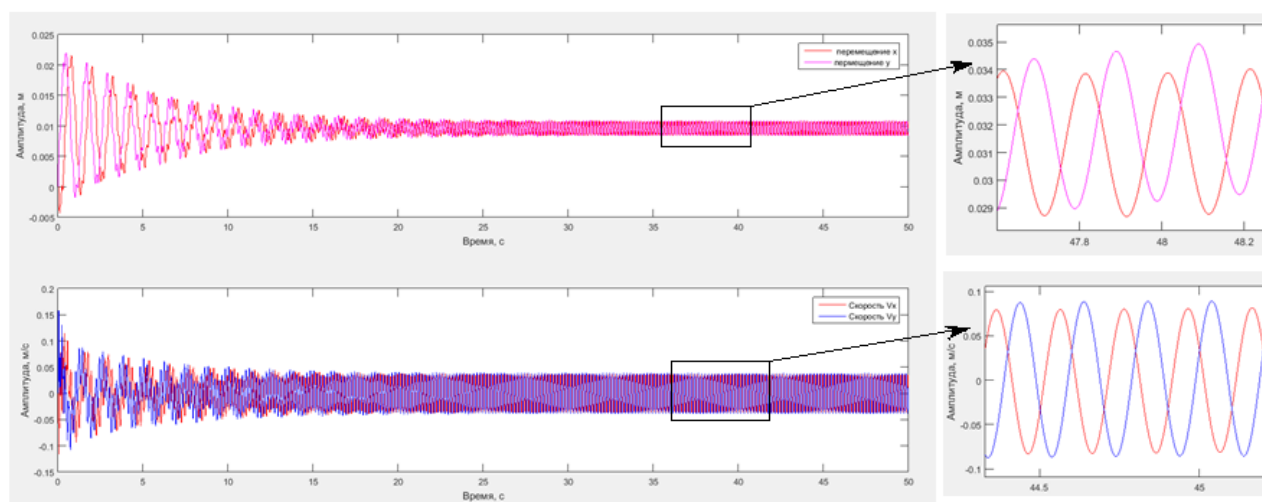


Рисунок 3.41 Временной сигнал скорости и перемещения долота без применения виброгасителя

Более детально изучив график установившегося процесса, а именно увеличив его, найдем величину амплитуды вибрации, передающееся буровым долотом, возникающей в процессе резания. Величина амплитуды вибрации представлена на рисунке 3.27 и равна 8 мм. Далее повторим исследования [28], но теперь с уставленным в модель виброгасителем.

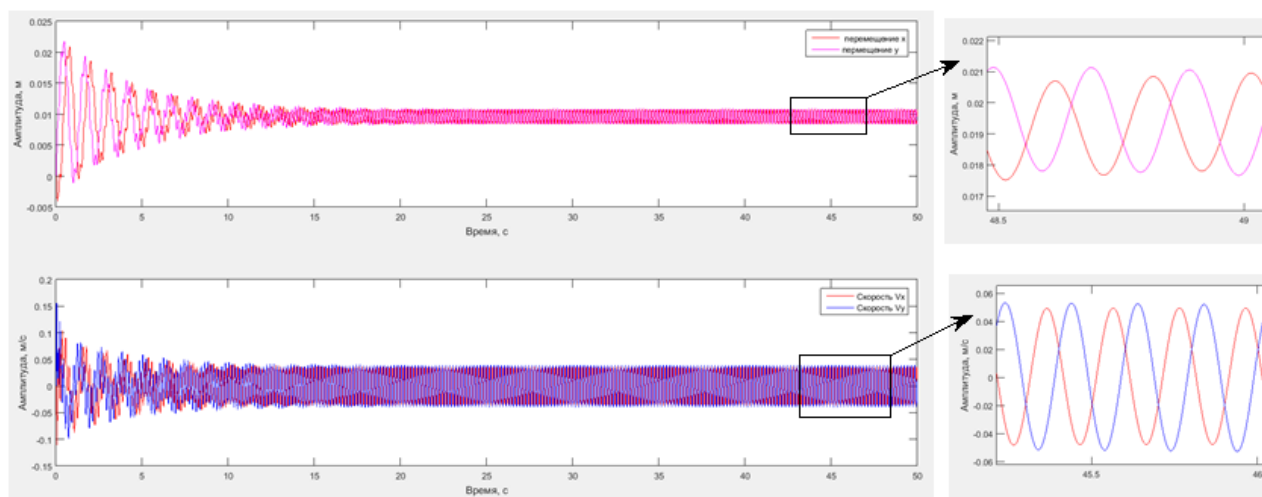


Рисунок 3.42 Временной сигнал скорости и перемещения долота с применением виброгасителя

После установки виброгасителя в систему, переходный процесс длится около 10 секунд, еще снизить время не представляется возможным, из-за большой инерционности системы.

Анализируя установившийся процесс работы долота, установлено, что величина вибрации с применением виброгасителя составляет 4 мм, в сравнении с 8 мм, отсюда делаем вывод, что устройство позволяет снизить величину вибрации в 2 раза.

Проведенный анализ механизма возбуждения колебаний кружения проиллюстрирован на простейших кинематических схемах с простейшими геометрическими фигурами. Однако и он позволил установить наиболее важные факторы, влияющие на характер протекания этих колебаний. Они могут быть учтены при проектировании конструкций долот и режимов бурения [43].

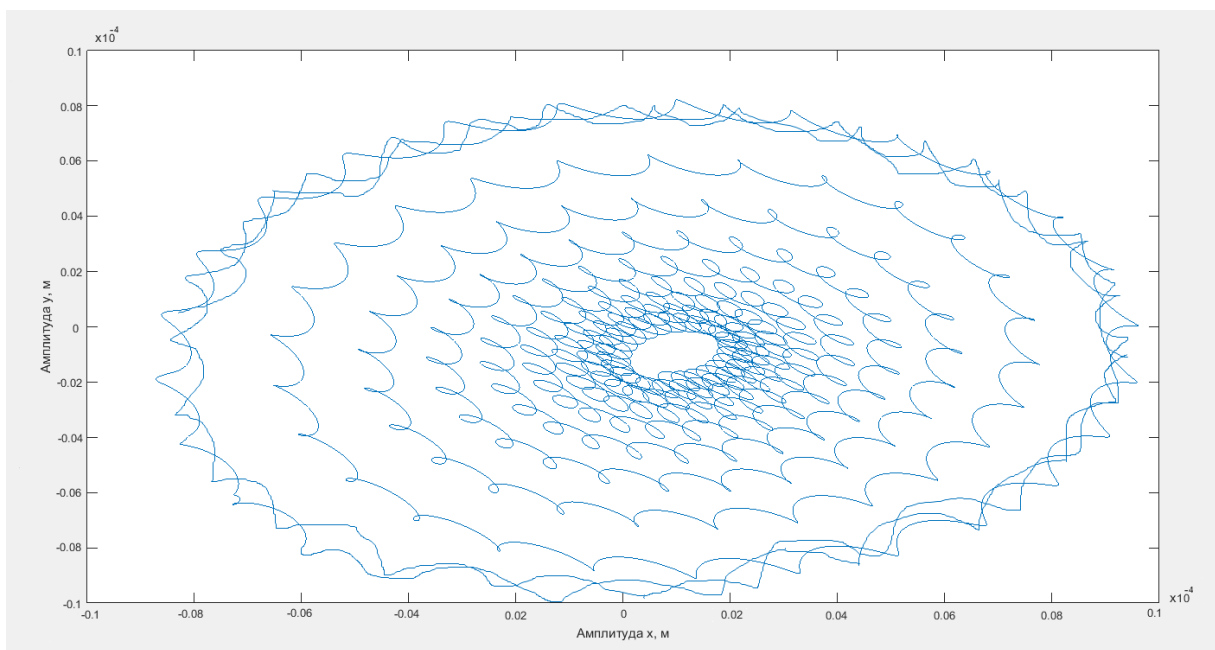


Рисунок 3.43 Траектория движения долота, без применения демпфирующего устройства

Анализирую результаты, математического моделирования, движения буровой колонны по забою, при возникновении эффекта прецессии, можно сделать вывод, что процесс начинает развиваться из центральной точки, с увеличением частоты вращения, под действием осевых и радиальных нагрузок буровая колонна начинает отклоняться от центральной точки, описывая движение в виде спирали. При этом долото, вместе с буровой трубой, начинает противоположное движение, относительно вращению. Этот эффект является самым разрушительным для буровых долот, так как весь буровой инструмент изготавливается из расчета движения только в одном направлении.

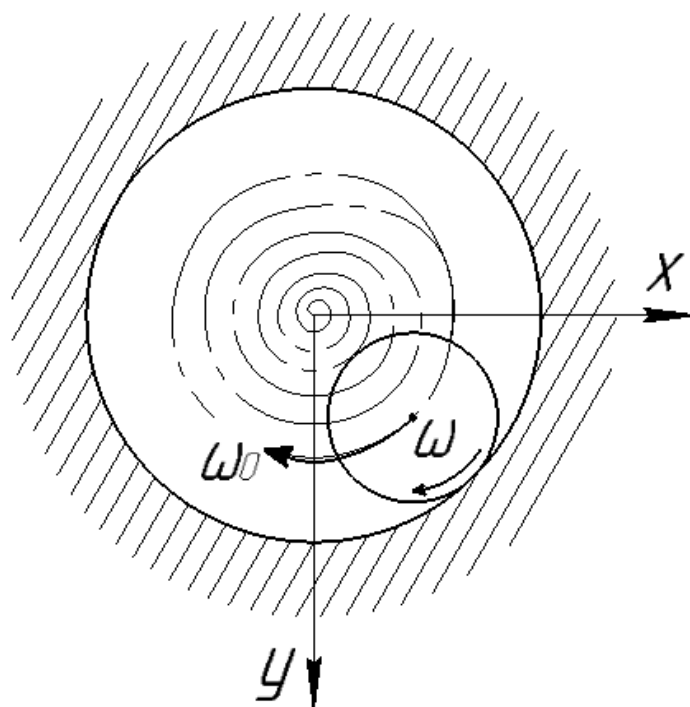


Рисунок 3.44 Движение долота при возникновении обратной прецессии

Снижение данного эффекта можно добиться путем установки изменения конструкции буровой колонны, установив наддолотный виброгаситель. Существует большое количество видов, данных устройств. Эффективность его применения исследуем при помощи математического моделирования. Результаты исследования приведены на рисунке 3.45.

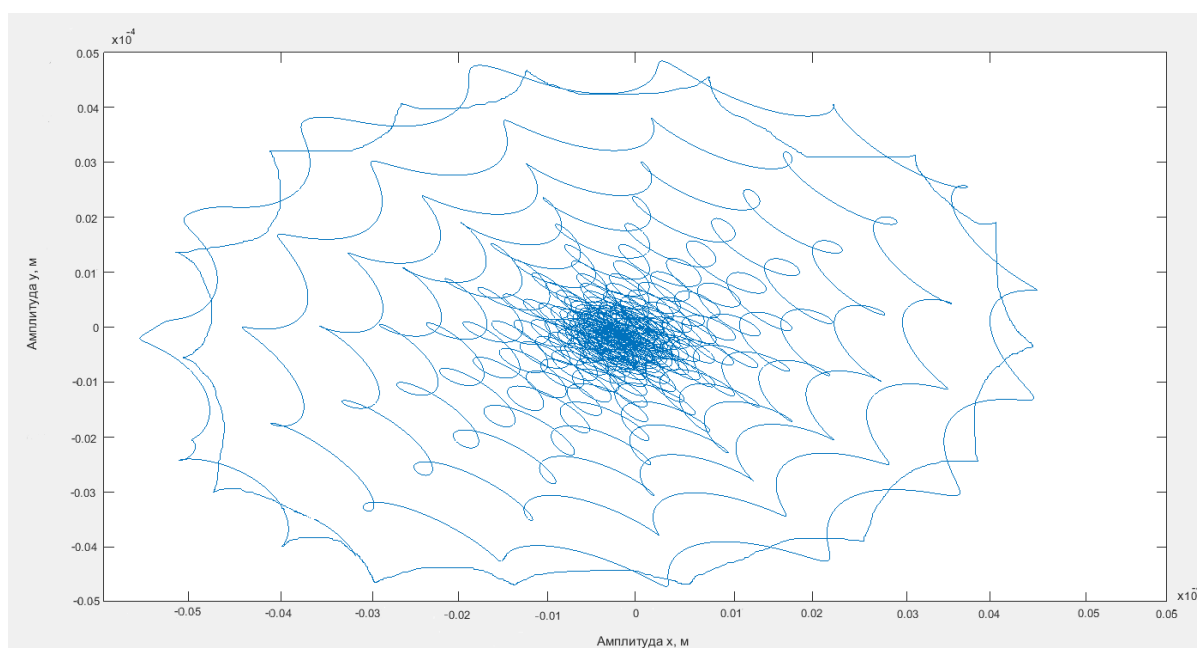


Рисунок 3.45 Траектория движения долота с применением виброгасящего устройства

Анализируя результаты математического моделирования, представленные на рисунке 3.45, можно сделать вывод, что амплитуда перемещения долота снизилась, без применения устройства, амплитуда виброперемещения составляла 10 мм, с применением же около 5 мм. Траектория движения долота сконцентрирована в центральной точке, что не приводит к ударам режущей кромки о стенки скважины, тем самым повышая стойкость бурового инструмента.

Из приведенных выше исследований можно сделать вывод, при сравнении результатов эксперимента с результатами математического моделирования, была доказана адекватность работы математической модели. Далее было проведено исследование влияния динамика работы долота на основе результатов реальной буровой установки. Из полученных результатов можно сделать вывод, что ключевым фактором, влияющим на величину вибрации, являющимся основным критерием для оценки негативного воздействия, является жесткость системы, повышение которой способствует снижению динамических нагрузок. Но величина жесткости должна быть выбрана исходя из режимов работы, значительное ее превышение, практически не окажет положительного эффекта, а недостаток значительно снизит время работы бурового оборудования. Стоит отметить, что к преимуществам данного метода, направленного на исследование динамических нагрузок, можно отнести подбор оптимальных параметров для обеспечения эффективности работы. Что оказывает положительный экономический эффект при проведении буровых работ.

4.1 Общие сведения о научно-техническом исследовании

Целью данной работы является исследование динамики работы бурового долота и выявления причин преждевременного выхода из строя бурового инструмента.

Данный проект актуален для нефтегазовой сферы, так как при расчете стоимости нефти, немаловажную роль играет стоимость ее добычи, и чем больше трудозатраты, тем больше это скажется на конечной стоимости продукта. В процессе бурения возникает множество факторов способствующих снижению стойкости бурового инструмента, например такие как подбор неэффективных режимов работы для определенных слоев горной породы, применение инструмента не соответствующего твердости буримых пород, действие внешних нагрузок возникающих в стволе скважины. Последнему и посвящено исследование в данном проекте. Нагрузки, действующие внутри скважины, мало изучены из-за невозможности и дороговизны их исследования. Для этого было предложена серия экспериментов позволяющая выявить динамические нагрузки действующие на долото во время бурения, и зная причины их возникновения предложить методы их снижения.

Для реализации проекта проведен ряд исследований направленных на установление причин, выявления нагрузок и методов позволяющих установить причины снижения времени стойкости инструмента. Исследования проводились на специально спроектированном стенде для моделирования динамических нагрузок действующих на инструмент в процессе бурения. Стенд позволяет в полной мере реализовать процесс бурения в условиях научно-исследовательской лаборатории. Также данный

стенд, возможно, применять в механообработке, для процесса фрезерования, и выявления причин снижения стойкости режущего инструмента.

Буровые долота составляют только долю от одного до пяти процентов от общей стоимости скважины, но являются основным компонентом экономики строительства скважины. Время, необходимое для бурения скважины напрямую зависит от скорости бурения долота и от продолжительности его работы до износа. На основе отношения стоимости проходки одного метра инвестирование в правильно выбранное долото значительно снизит время бурения и количество спускоподъемных операций. Долота PDCs более высокой скоростью проходки и большим сроком службы, даже если они и стоят дороже, могут быть самым экономически выгодным выбором при бурении, в местах, где высока стоимость времени использования буровой установки и стоимость спускоподъемных операций, необходимых для замены долот. Но, даже самое качественное и дорогое долото не в состоянии обеспечить заданный ресурс работы при условиях нагрузок, которые невозможно учесть при проектировании. Данные нагрузки носят переменный характер и различны по величине. Установить и выявить как они снижают стойкость бурового инструмента является задачей исследования, проводимого на стенде для моделирования динамических нагрузок, разработанного на грант от компании BritishPetroleum, коллективом кафедры АРМ.

4.2 Предпроектный анализ

4.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование, которое в дальнейшем поможет найти те области, где продвижение нового продукта будет наименее трудоемким.

Целевым рынком для исследования являются российские нефтяные компании занимающиеся проведением буровых работ. Данное исследование будет интересно всем компаниям занимающимся бурением нефтяных и газовых месторождений, также бурение применяется в горной промышленности для добычи полезных ископаемых.

Для сравнения эффективности применения результатов исследования, возьмем два стенда, компании АО"Волгабурмаш" и компании РосПромБур.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка

		Вид оборудования		
		Разрабатываемый стенд	Стенд № 1	Стенд № 2
Горнодобывающие компании	Крупные	+		
	Средние	+		
	Мелкие	+	+	+
Нефтяные компании	Крупные			
	Средние	+	+	+
	Мелкие	+	+	+

Результаты исследования, выявленные на стенде, выявление причины преждевременного выхода из строя бурового инструмента, а также предложенные методы их снижения. Исследование будет интересно нефтяным компаниям, среднего размера, так как у крупных компаний большие объемы производства и введение новшества будет применено только после подтверждения эффективности исследования в средних и мелких компаниях. Для горнодобывающих компаний снижению стоимости затрат на буровой инструмент заинтересует предприятия как крупные так и небольшие предприятия [44].

К преимуществам разрабатываемого стенда, предназначенного для моделирования динамических нагрузок действующих на долото, является возможность исследований работы бурового инструмента в условиях лаборатории. Также имеется возможность регулирования жесткости конструкции, что является важным показателем стойкости бурового инструмента, данная возможность отсутствует у рассмотренных конкурентов. Регулирование нагрузки в процессе работы, с помощью электрического магнита, создание нагрузки без постороннего воздействия, что очень важно для выявления причин снижения стойкости долот. Еще одним несомненным преимуществом является исследование различных типов долот, шарошечных, алмазных, режуще-скалывающего действия.

К недостаткам стенда можно отнести ограничение исследования долот большого диаметра, так как конструкция не рассчитана на буровой инструмент большого диаметра. Также из-за нагрузок, возникает повышение температуры стенда, и время работы должно ограничиваться перерывами, для этого в дальнейшем планируется установить охлаждение.

4.2.2 Анализ конкурентных технических решений

Изготовлением и исследованием бурового оборудования занимается большое количество крупных компаний специализирующихся на добыче

нефтепродуктов. Для эффективной работы оборудования необходимы постоянные испытания продуктов, в связи с требованиями к технологии бурения. Для проведения испытаний необходимы стенды, которые позволяли бы моделировать процесс бурения и сопутствующие ему процессы в условиях лаборатории. В связи с этим был разработан стенд для моделирования динамических нагрузок на буровое долото.

Проанализировав компании, занимающиеся изготовлением бурового оборудования, было выявлено два стенда и двух компаний стенд для испытания стойкости и определения технического состояния долота компании АО «Волгабурмаш». К преимуществам стенда можно отнести получения точных данных о техническом состоянии шарошечного долота, подбору оптимальных режимов бурения [44].

В недостатках стоит отметить что определение технического состояния долота на поверхности является не актуальным фактором, так как время затраченное на спускоподъемные операции будет иметь отрицательный эффект на общую производительность. При испытании оптимальных режимов бурения используется только одно, осевое, усилие воздействующее на инструмент, что является не совсем корректным, так как при бурении возникает дополнительные динамические нагрузки, моделирование которых будет возможно при разработке стенда для моделирования динамических нагрузок. Также невозможно менять факторы жесткости буровой колонны и расстояние между точками опоры (центраторами), что необходимо при бурении на большой глубине.

Еще одним стендом для моделирования бурового става в скважине, позволяющим исследовать динамические процессы, разработанный в компании РосПромБур. Данный стенд позволяет исследовать величину отклонения бурового става, включающим буровой инструмент. При проведении испытаний на работоспособность исследуют вал отклонителя и узел раскрепления и отклонения путем моделирования работы этого вала в модели скважины, имитирующей самые общие условия.

Стенд для моделирования бурового става не отвечает требованиям способствующим выявлению причин снижения стойкости бурового инструмента, в сравнении со стендом для моделирования динамических нагрузок на долото. В нем нет возможности исследования динамики работы самого бурового элемента в отдельности от буровой колонны, при исследовании которых позволит выявить причину преждевременного выхода из строя бурового инструмента. Также конструкция представленного стенда осложнена, так как включает и гидравлические и электрические силовые элементы.

На сегодняшний день на нефтегазовой сфере имеется большое количество исследовательских лабораторий, оснащенных специализированным оборудованием, в том числе и испытательных стендов можно для исследования процессов бурения. Различия стендов заключаются в специфике исследования и общей политике компании и определяется различиями в использовании разных кинематических схем, а также, разным набором задаваемых на стенде параметров. Для анализа были отобраны два конкурентных технических решения. Оценочная карта представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _с	Б _{к1}	Б _{к2}	К _с	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	10	9	6	6	90	60	60
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	8	8	6	5	70	55	50

3. Энергоэкономичность	6	4	5	4	24	30	24
4. Надежность	9	9	7	6	81	63	54
5. Уровень шума	7	7	4	5	49	28	35
6. Безопасность	8	8	4	3	64	32	24
7. Простота эксплуатации	7	7	6	6	49	30	42
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	10	10	8	7	100	80	70
2. Уровень проникновения на рынок	9	0	9	9	0	70	65
3. Цена	7	3	5	7	21	60	50
4. Предполагаемый срок эксплуатации	6	5	4	4	30	25	20
5. Послепродажное обслуживание	7	7	3	4	49	35	28
6. Срок выхода на рынок	6	0	6	6	0	36	36
Итого:	100	77	73	72	627	599	558

Стенд для моделирования динамических нагрузок, обладает удобной технической конструкцией, с возможностью изменения большего количества параметров, следовательно увеличивается конкурентоспособность и спектр исследуемых параметров расширяется. Разрабатываемый стенд обладает более низкой стоимостью в сравнении с конкурентами, а значит является конкурентоспособным.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Разбиваем проект на основные этапы работы и назначаем исполнителей. Все это необходимо для дальнейшего расчета заработной платы.

Таблица 4.3 – Перечень этапов и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Описание работы	Должность исполнителя
Постановка целей и задач	1	Постановка цели и задач которые необходимо выполнить для достижения цели	Руководитель
Разработка технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	3	Проведение литературного и патентного обзора	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	Студент
	5	Выполнение расчетов	Студент
	6	Построение модели стенда	Студент
	7	Создание математической модели согласно ТЗ	Студент
Разработка технологической документации	8	Разработка Эскизной документации	Студент
		Разработка рабочих и сборочных чертежей	Студент
	9	Исследование математической модели в программной среде	Студент
Оформление отчета	10	Формирование пояснительной записки по результатам исследования	Студент

Таблица 4.4 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	2	3
Постановка целей и задач	НР	НР – 100%
Разработка и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 40%
Поиск аналогов и обсуждение их достоинств и недостатков	НР, И	НР – 20% И – 100%
Составление принципиальной схемы	НР, И	НР – 20% И – 100%
Построение 3D модели станда	И	И – 100%
Создание математической модели согласно ТЗ	НР,И	И – 100%
Разработка эскизной компоновки станда	И	НР – 10% И – 100%
Разработка рабочих и сборочных чертежей	И	НР – 20% И – 100%
Проведение исследований	НР, И	НР – 20% И – 100%
Оформление пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Для выполнения перечисленных в таблице 5.3 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель.

4.3.2 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется опытно-статистическим методом экспертным способом по формуле [45]:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (4.1)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле (4.2):

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (4.2)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, в рамках данной ВКР установим $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ, примем $K_{Д} = 1,1$ [46].

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (4.3)$$

где $T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях. Он рассчитывается по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (4.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни, $T_{КАЛ} = 365$;

$T_{ВД}$ – выходные дни, $T_{ВД} = 52$;

$T_{ПД}$ – праздничные дни, $T_{ПД} = 10$.

Подставив значения в формулу 5.4, получим следующий результат:

$$T_{К} = \frac{365}{365-52-10} = 1,205 \quad (4.5)$$

Таблица 4.5 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		t _{min}	t _{max}	t _{ож}	Т _{рд}		Т _{кд}	
					НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка целей и задач	НР	2	4	2,8	3,08	–	3,69	–
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	4	7	5,2	5,72	0,57	6,8	0,68
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	11	13	11,8	2,59	12,98	3,1	15,58
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2,8	1,23	1,23	1,47	1,48
Поиск аналогов и обсуждение их достоинств и недостатков	НР, И	3	7	4,6	1,01	5,06	1,21	6,07
Составление принципиальной схемы	НР, И	3	5	3,8	0,83	4,18	0,99	5,01
Построение 3D модели стенда	И	5	11	7,4	–	8,14	–	9,76
Создание математической модели согласно ТЗ	И	10	16	12,4	–	13,64	–	16,36
Разработка эскизной компоновки стенда	И	7	9	7,8	0,85	8,58	1,02	10,29
Разработка рабочих и сборочных чертежей	НР, И	8	12	9,6	2,11	10,56	2,53	12,67

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					Т _{рд}		Т _{кд}	
		t _{min}	t _{max}	t _{ож}	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Проведение исследований	И	13	17	14,6	3,21	16,06	3,85	19,27
Оформление пояснительной записки	И	3	5	3,8	–	4,18	–	5,01
Подведение итогов	НР, И	2	5	3,2	2,12	3,52	2,53	4,22
Итого:				89,8	22,75	88,7	27,18	106,4

Таблица 4.6 – Линейный график работ

Этап	НР	И	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
1	3,69	–	■												
2	6,8	0,68	■	■											
3	3,1	15,58		■	■	■									
4	1,47	1,48				■									
5	1,21	6,07				■	■								
6	0,99	5,01					■	■							
7	–	9,76					■	■	■						
8	–	16,36						■	■	■					
9	1,02	10,29							■	■	■				
10	2,53	12,67									■	■	■		
11	3,85	19,27										■	■	■	
12	–	5,01											■	■	
13	2,53	4,22												■	■

НР – ■ И – ■

4.3.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.3.4 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{рас.}xi}; \quad (4.6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{рас.}xi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт, кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб/шт, руб/кг, руб/м, руб/м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

К данной статье расходов будем относить стоимость материалов, которые были использованы во время разработки проекта.

Таблица 4.7– Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы
Лист нержавеющей	м ²	1	20000	20000
Кругляк Ø 120	м	50	140	7000
Уголок 32x45	м	30	116	3500
Квадрат 35x35	м	150	85	12500
Электродвигатель 1,5 кВт	шт	1	10000	10000
Шайба М20	шт	40	7,5	300
Болт М20	шт	40	12,5	500
Подшипники качения	шт	4	400	1600
Винт М14	шт	20	17,5	350
Гайка М14	шт	20	17,5	350
Гайка М20	шт	40	12,5	500
Гайка М6	шт	15	14	200
Шайба М6	шт	15	10	150
Винт М6	шт	15	20	300
Муфта	шт	2	2000	4000
Сверла	шт	12	50	600
Резиновые уплотнения	шт	4	35	140
Итого расходы на материалы:				61990

4.3.5 Основная заработная плата исполнителей

В таблице 4.8 приведены основные этапы работы, их исполнители и затраты на оплату их труда.

Таблица 4.8– Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	2	3	4	5	6
1	Постановка целей и задач	Руководитель	3,08	1320	4065,6
2	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	5,72	1320	7550,4
3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	12,98	888	11526,24
4	Разработка календарного плана	Руководитель	1,23	1320	1623,6
5	Поиск аналогов	Студент	5,06	888	4493,58
6	Составление принципиальной схемы	Студент	4,18	888	3711,84
7	Построение 3D модели стенда	Студент	8,14	888	7228,32
8	Создание математической модели согласно ТЗ	Студент	13,64	888	12112,32
9	Разработка эскизной компоновки стенда	Студент	8,58	888	7619,04
10	Разработка рабочих и сборочных чертежей	Студент	10,56	888	9377,28
11	Проведение исследований	Студент	16,06	888	14261,28
12	Оформление пояснительной записки	Студент	4,18	888	3711,84
13	Подведение итогов	Студент	3,52	888	3125,76

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИТ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.7)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле [46]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.8)$$

$Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}; \quad (4.9)$$

Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней.

Таблица 4.9 –Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
1	2	3
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	104	104
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	48
- невыходы по болезням		
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	199

Для руководителя величина месячного оклада научного руководителя получена из открытых данных, размещенных на официальном сайте Национального исследовательского Томского политехнического университета. Величина месячного оклада инженеров берется как месячный оклад инженера кафедры.

$$Z_{\text{дн. рук}} = \frac{26300 \cdot 11,2}{223} = 1320 \text{ руб;}$$

Для студента:

$$Z_{\text{дн. студ}} = \frac{17000 \cdot 10,4}{199} = 888 \text{ руб;}$$

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя:

$$Z_{\text{осн. рук}} = 1320 \cdot 10 = 29040 \text{ руб;}$$

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) студента:

$$Z_{\text{осн. студ}} = 888 \cdot 41,6 = 76368 \text{ руб;}$$

Основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп. рук}} = 13200 + 13200 \cdot 0,2 = 38848 \text{ руб;}$$

$$З_{\text{зп. студ}} = 36940 + 36940 \cdot 0,12 = 85532 \text{ руб};$$

Результаты вычислений представлены в таблице 59

Таблица 4.10 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	ЗП _{дн-т} , руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффи циент	Фонд з/платы, руб.
НР	26300	1320	22	0, 2	34848
И	17000	888	86	0,12	85532
Итого:					120380

4.3.6 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.10)$$

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2017 году водится пониженная ставка – 30,2 % [48].

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11– Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	34848	2640
Студент	85542	4432
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30,2%	30,2%
Итого:	42679	

После расчета суммы отчислений во внебюджетные фонды, не стоит забывать о том, что их необходимо учитывать при общем подсчете затрат на научно-техническое исследование.

4.3.7 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ сторонними организациями. Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями. К работам и услугам производственного характера относятся:

- Выполнение отдельных операций по изготовлению продукции, обработке сырья и материалов;
- Подбор и определения качества сырья и материалов;
- Прохождении норм контроля изготавливаемых деталей согласно технологическому процессу;
- Ремонт основных производственных средств;
- Закупка измерительных приборов и оборудования, другие работы (услуги) в области метрологии и прочее;
- Транспортные услуги сторонних организаций по перевозкам грузов внутри организации (перемещение сырья, материалов, инструментов, деталей, заготовок, других видов грузов с базисного (центрального)

склада в цеха (отделения) и доставка готовой продукции на склады хранения, до станции (порта, пристани) отправления.

- Работы, выполняемые субподрядчиками, предприятиями и организациями.

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется их условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

Изготавливаться модель стенда будет в рамках кафедры ТМСПР, материалы и амортизация для оборудования посчитаны, нужно подсчитать стоимость работ.

В таблице 4.12 представлены исполнители операций по изготовлению сепаратора

Таблица 4.12– Сторонние исполнители

№ п/п	Профессия	Количество деталей	Количество работников	Разряд рабочего
1	Токарь	7	1	2
2	Оператор станка с ЧПУ лазерной резки	12	1	2

Заказ будет выполняться на кафедре ТМСПР. Оклад операторов станков с ЧПУ принимаем равным 25000 и 30000 тыс.руб.соответственно.

На выполнение работ по изготовлению деталей для создания стенда отводится 3 дня. Это время необходимое на написание УП, подготовки оборудования, его наладки и на изготовление сборочных единиц и деталей.

Подсчитаем зарплату за 3 дня рабочих на кафедре ТМСПР. Результаты расчетов представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13– Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	Заработная плата, руб.
Токарь	2208
Оператор лазерной резки	3312
Отчисления во внебюджетные фонды	1855
Итого:	7118

Основная зарплата токаря:

$$Z_{\text{дн.1,2}} = \frac{25000 \cdot 11,2}{223} = 1255 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{осн.1}} = 1255 \cdot 2 = 2510 \text{ руб};$$

Основная зарплата оператора лазерной резки:

$$Z_{\text{осн.2}} = 1506 \cdot 2 = 3012 \text{ руб};$$

Зарплата токаря:

$$Z_{\text{зп.1}} = 2510 + 2510 \cdot 0,12 = 2811 \text{ руб};$$

Зарплата оператора станка лазерной резки:

$$Z_{\text{зп.2}} = 3012 + 3012 \cdot 0,12 = 3373 \text{ руб};$$

Отчисления для токаря:

$$Z_{\text{внеб.1}} = 0,3 \cdot (2510 + 2510 \cdot 0,12) = 843 \text{ руб};$$

Отчисления для оператора лазерной резки:

$$Z_{\text{внеб.2}} = 0,3 \cdot (3012 + 3012 \cdot 0,12) = 1012 \text{ руб}$$

4.3.8 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.11)$$

4.3.9 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость разрабатываемого стенда для моделирования динамических нагрузок на долото.

Таблица 4.14 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
		Исп. 1
Материальные затраты НТИ	$C_{\text{мат}}$	61990
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	120380
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	15503
Контрагентские расходы	$C_{\text{эл.об.}}$	1500
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	2000
Итого:		201373

Таким образом, затраты на разработку для основного исполнения составили $C = 201373$ руб.

Финансирование научно-технического исследования осуществлялось по гранту от компании British Petroleum. Грант был предоставлен в 2016 году, все затраты на конструкторскую документацию, техническое задание, материалы для изготовления, оплата дополнительных услуг были полностью оплачены за счет финансирования компании. По условиям гранта необходимо провести испытания буровых долот, и предоставить материалы компании ВР.

4.4 Заключение

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был определен целевой рынок, потребители результатов исследований проведенных на разрабатываемом стенде. Рассчитаны материальные затраты на научно-техническую разработку стенда, затраты фонда основной и дополнительной зарплаты, отчисления во внебюджетные фонды, транспортные расходы, накладные расходы, на основании которых составлен бюджет затрат на НИИ. Произведена сравнительная характеристика эффективности разработки на основании интегрального показателя ресурсоэффективности. Раздел, финансовый менеджмент позволяет определить эффективность разрабатываемого либо исследуемого устройства, что в современном мире играет важную роль. Так как экономически выгодная разработка будет всегда актуальна и воспримется с большим энтузиазмом.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном разделе диссертации рассматриваются вопросы выполнения требований к безопасности труда, промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению. Объектом исследования являются стенд для моделирования, на поверхности, в условиях лаборатории, динамических процессов, возникающих в процессе бурения скважин. Динамические процессы негативно влияют на стойкость бурового инструмента, приводя к его ускоренному износу. При проведении исследований за стендом могут работать как персонал лаборатории, так и студенты проводящие эксперименты для научной работы.

5.1 Профессиональная социальная безопасность

5.1.1 Анализ вредных факторов производственного процесса, которые может создать объект исследования

В рамках магистерской диссертации необходимо провести исследования режимов работы бурового инструмента на стенде для моделирования динамических нагрузок. В данном разделе описан ряд вредных факторов, действующих на студентов и сотрудников лаборатории.

Физические факторы

Согласно ГОСТ 12.0.000-74 к физическим факторам можно отнести:

1. Микроклимат рабочей зоны;
2. Повышенный уровень шума на рабочем месте;
3. Повышенный уровень вибрации;
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны;
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека.

Влияние на организм человека

Температура воздуха в помещении влияет на работоспособность сотрудника, низкая температура может привести к переохлаждению, снижению концентрации. Повышенная вибрация, передавая извне или вызванная процессом бурения, может привести к развитию виброболезни.

Повышенный шум приводит к психологическому дискомфорту работника, вызывает поражение органов слуха.

Загрязненность воздуха мелкодисперсными частицами пыли приводит к поражению органов дыхания, вызывает затрудненность дыхания, раздражение слизистой.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы

Исследования на оборудовании для моделирования динамических нагрузок монотонна, влечет за собой многократное повторение одних и тех же действий. Данный фактор может привести к переутомлению организма, спровоцировать потерю концентрации, что может привести к производственным травмам.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность - вызывает преждевременное зрительное утомление, а повышенная яркость освещения (блесткость) понижает светочувствительность глаз - человек временно слепнет. Имеет значение, кроме того, контрастность освещения (наличие резких теней в рабочей зоне), которая нарушает постоянный уровень приспособляемости глаз к изменению яркости. При недостаточной освещенности исследовательских лабораторий и ухудшается производительность труда. Установлено, что неудовлетворительное освещение является причиной примерно 5% несчастных случаев на производстве.

Хорошее освещение действует тонизирующе, стимулирует активность, предупреждает развитие утомления, повышает работоспособность.

Освещенность рабочего места нормируется согласно СНиП 23-05-95. В помещении присутствует два типа освещения – искусственное (лампа освещения) и естественное (солнечный свет). Естественное освещение достигается путем установки в помещении окон с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 4%.

Допустимые нормы

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности» уровень шума в помещениях лабораторий с шумным оборудованием не должен превышать 70-80 дБ в полосе частот 64-103 Гц [49].

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 в таблице 5.1 приведены оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах исследовательских лабораторий, в таблице 5.2 приведены допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах научно-исследовательских лабораторий.

Таблица 5.1 – Оптимальные показатели микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, кВт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб (140-174 Вт)	21-23	20-24	60–40	0,1
Теплый	Іб (140-174 Вт)	22-24	21-25	60–40	0,1

Таблица 5.2 – Допустимые показатели микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, кВт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
		Ниже оптимальной величины	Выше оптимальной величины			
Холодный	Іб (140-174 Вт)	19,0-20,9	21,1–24,0	18,0–25,0	15–75	0,1–0,3
Теплый	Іб (140-174 Вт)	20,9-21,9	24,1-28,0	19,0–29,0	15–75	0,1–0,3

Средства защиты

Согласно ГОСТ 12.4.011–89 «Средства защиты рабочих» к средствам индивидуальной защиты относятся: специальная одежда, специальная обувь (защита от вибрации,), а также изолирующие костюмы, средства защиты органов дыхания, рук, головы, лица, органа слуха (наушники, беруши), глаз (защитные очки), предохранительные приспособления. К средствам защиты органов дыхания относятся: противогазы; респираторы; ватно-марлевые повязки. К средствам защиты кожи относятся: защитные комплекты; комбинезоны и костюмы, изготовленные из специальной прорезиненной ткани; накидки; резиновые сапоги и перчатки.

Согласно ГОСТ 12.4.011–89 «Средства защиты рабочих» к средствам коллективной защиты относятся: защитные ограждения и устройства, предотвращающие опасность, создаваемую движущимися частями станда, отлетающими частицами исследуемого материала и брызгами смазочных жидкостей; устройства, защищающие от поражения электрическим током и статического электричества; механизмы, исключаяющие контакт с опасными и вредными производственными факторами; устройства, снижающие уровень воздействия шума, вибрации [49].

5.1.2 Анализ вредных и опасных производственных процессов, которые могут возникнуть при проведении исследований

К механически опасным факторам можно отнести:

1. Вращающиеся части испытательного станда.
2. Непритупленные кромки станда.

Особую опасность представляют вращающиеся части металлорежущего оборудования такие, вал станда, диск, закрепленный на конце вала, имитатор долота, ременная передача. Данный фактор может повлечь за собой тяжелые последствия: травмы механических тканей, внутренних органов. Все вращающиеся части станда для моделирования

динамических нагрузок необходимо закрывать щитками, экранами, барьерами.

Непритупленные кромки станда могут привести к травмам кожного покрова. Для предотвращения повреждения кожного покрова острыми кромками станда во время наладки необходимо работать в перчатках, стараться не брать за острые кромки станда.

Термические опасные факторы

К термически опасным факторам можно отнести

1. Высокую температуру узлов металлообрабатывающего оборудования.
2. Высокая температура узлов станда для проведения исследований может привести к ожогам кожного покрова. Для предотвращения этого необходимо использовать защитные кожухи, экраны, которые будут закрывать нагретые узлы оборудования.

При работе на вращающемся оборудовании запрещено работать в перчатках, следовательно, использовать их в качестве средств индивидуальной защиты строго запрещено.

Для защиты органов зрения необходимо использовать защитные очки.

Электробезопасность

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает на него сложное воздействие, являющееся совокупностью термического (нагрев тканей и биологических сред), электролитического (разложение крови и плазмы) и биологического (раздражение и возбуждение нервных волокон) воздействий. Наиболее сложным является биологическое воздействие, свойственное только живым организмам. Любое из этих воздействий может привести к электрической травме, т. е. к повреждению организма, вызванному воздействием электрического тока или электрической дуги. Различают местные электротравмы и электрические удары. Приблизительно 55 % травм имеют смешанный характер.

Основными источниками являются силовые шкафы стандов для проведения исследований, цепи управления электрооборудованием станда

(электродвигатели, частотные преобразователи, контролирующая аппаратура). К электрооборудованию стенда подведено линейное напряжение 220 Вольт, данное напряжения опасно для жизни.

Требования предъявляемые к электробезопасности к электрическому и электронному оборудованию до 1000 В и номинальными частотами до 200 Гц изложены в ГОСТ 27487–87 «Электрооборудование производственных машин».

Для предотвращения поражением электрическим током необходимо соблюдать следующие правила:

1. Все токоведущие и токоподводящие средства должны быть изолированы и защищены от соприкосновения с ними рабочего.

2. Пользоваться неисправными кнопочными станциями, сломанными рукоятками переключателей и выключателей запрещается [50].

3. Стенд для моделирования динамических нагрузок из электродвигатель должны быть заземлены. Заземляющие устройства должны соответствовать требованиям ПОТ Р О-95120-001-94. Заземляющий провод обычно подводится к зажимному болту сзади передней тумбы или основания стенда [30]. Исправность провода следует проверять ежедневно перед началом работы. При появлении ощущения тока при соприкосновении со стендом необходимо прекратить работу и принять меры для исправления электропроводки электриком.

4. На ногах следует иметь обувь с диэлектрической подошвой.

Статическое электричество — явление, при котором на поверхности и в объёме диэлектриков, проводников и полупроводников возникает и накапливается свободный электрический заряд.

Конструкцией стенда должны быть исключены опасности от накопления зарядов статического электричества в процессе проведения исследований. Испытательные стенды должны быть снабжены заземляющими устройствами, снимающими электростатический заряд с исследуемых материалов.

5.2 Экологическая безопасность

5.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

При изготовлении стенда для моделирования динамических нагрузок на буровой инструмент, использовались операции, выполняемые на технологическом оборудовании, а именно токарный станок, фрезерный станок, станок гидроабразивной резки. В процессе производства стенда применялась смазочно-охлаждающая жидкость, также при обработке остается металлическая стружка, и отходы в виде абразивного песка, содержащего вредные примеси. Смазочно-охлаждающая жидкость весьма токсична, в ее состав входят такие элементы как: сера, хлор, тяжелые металлы (барий, сурьма, цинк, свинец). Опасным свойством СОЖ является их токсичность – свойство вещества при попадании в определённых количествах в организм человека, животного или растения вызывать их отравление или гибель.

Загрязнение окружающей среды и воздействие на здоровье людей происходит как в процессе эксплуатации СОЖ, так и в результате их утилизации. Характерно просачивание СОЖ в экосистему и загрязнение ее экологически опасными компонентами. СОЖ оказывают негативное воздействие на организм работников предприятий в результате непосредственного контакта с кожным покровом рабочих или контакта через спецодежду, пропитанную СОЖ, а также в результате поступления паров, аэрозолей, конденсата СОЖ в организм рабочих через дыхательную систему [51].

Наибольшую экологическую опасность при пескоструйной и гидроабразивной очистке поверхности представляет образование в ходе данных процессов пылевидных частиц. Наиболее экологически опасные загрязнители при металлообработке — в основном отходы от производства механической обработки (высечки, обрезки, стружка, опилки и др.). На

предприятиях машиностроения отходы составляют до 260 кг на 1 т металла, иногда эти отходы составляют 50 % массы обрабатываемых заготовок (при листовой штамповке потери металла достигают 60 %). Основными источниками образования отходов легированных сталей являются металлообработка (84 %).

Рассмотрим наиболее опасный фактор для экологии окружающей среды, это влияние СОЖ. Данный фактор влияет на атмосферу, гидросферу и литосферу.

Влияние на атмосферу, при испарении СОЖ в процессе резания или хранения выделяются синтетические масла с повышенным содержанием полихлора-дифениламина (ПХД). Данное химическое соединение, попадая в атмосферу, образует еще более токсичные соединения - полихлордибензодиоксины и полихлордибензофураны. Помимо ПХД при испарении в атмосферу попадает сера, пары тяжелых металлов, которые распространяются по воздуху, вступая в химические реакции с другими элементами, тем самым создают угрозу для живых организмов.

Влияние на литосферу и гидросферу, отработанную смазочно-охлаждающую жидкость в большинстве случаев утилизируют в землю. При этом наиболее сильно почвы загрязняются тяжелыми и вязкими нефтепродуктами, не способными к глубокому проникновению в недра. Под влиянием нефтепродуктов увеличивается количество водопрочных частиц почвы размером больше 10 мм, происходит агрегирование почвенных частиц, содержание глыбистых частиц увеличивается, а содержание ценных мелких частиц уменьшается. Почвы, насыщенные нефтепродуктами, теряют способность впитывать и удерживать влагу. При разложении СОЖ и нарушении контейнера жидкость попадает в поверхностные грунтовые воды. В почве образуются так называемые масляные линзы, из которых масло со скоростью 10,2-10,5 м/с распространяется в ширину и вглубь, контактирует с грунтовыми водами и мигрирует с ними. Через грунтовые воды, элементы СОЖ могут попадать в организм человек, привести к заражению

растений.Срок восстановления почвы, загрязнённой смазывающе-охлаждающей жидкостью, составляет от 1–2 до 10–15 лет.

5.2.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Защита окружающей среды от загрязнений СОЖ является необходимым мероприятием для предотвращения заражения атмосферы, гидросферы и литосферы. Известно, что в металлообрабатывающей промышленности затраты, связанные с использованием СОЖ, составляют до 20% себестоимости изготовления деталей. При этом затраты, связанные с обезвреживанием СОЖ перед сливом в канализацию нередко сопоставимы с затратами на приобретение новой СОЖ. В связи с этим во всем мире наблюдается тенденция к сокращению применения СОЖ в металлообработке, использованию методов дозированной подачи СОЖ, созданию систем рекуперирования. Однако существуют также операции обработки металлов резанием, выполнение которых невозможно без применения СОЖ. Поэтому в обозримом будущем не ожидается существенного сокращения объемов применения СОЖ, а, следовательно, проблема их обезвреживания остается актуальной. В этой связи не менее актуальной является задача разработки таких мероприятий по очистке СОЖ, которые позволяли бы при минимальных затратах осуществлять очистку СОЖ и других технологических жидкостей до такого состояния, которое дает возможность использовать их повторно.

Для снижения уровня загрязнения атмосферы, гидросферы применяют экологические чистые СОЖ, либо разрабатываются такие технологические процессы, при которых применение СОЖ сводится к минимуму. Возможные методы очистки масляных СОЖ от вредных компонентов. Гидроочистка – наиболее эффективный метод удаления сернистых соединений всех типов и нефтепродуктов. Адсорбция на естественных глинах и других адсорбентах -

универсальный метод очистки. Эту работу, следует проводить на заводе-изготовителе СОЖ.

К фактору загрязняющего литосферу можно отнести стружку металла. При утилизации стружки в землю, возникают химические реакции между металлами и другими химическими элементами, находящимися в природе.

Для снижения влияния данного фактора на литосферу необходимо металлическую стружку собирать в контейнер с последующей переплавкой в сталеплавильных печах.

Наиболее приемлемыми путями снижения вредного воздействия загрязненных стоков металлообрабатывающих производств на окружающую водную среду можно считать локальную очистку сточных вод разнообразных составов, устранение или снижение общего количества сбросов отработанных технологических жидкостей за счет их регенерации, повторное использование очищенных сточных вод в замкнутых системах водооборота и технического водоснабжения предприятий [51].

Проблема минимизации экологического ущерба в условиях промышленного производства может решаться в двух направлениях за счет:

- повышения эффективности существующих методов очистки промышленных выбросов в окружающую среду (сточные воды, отработанные газы, дым и др. взвешенные частицы), ликвидации (переработки) твердых отходов;
- внедрения новых альтернативных технологий (экологически чистых, безотходных).

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Согласно ГОСТ 22.0.02-94 чрезвычайная ситуация (ЧС) -обстановка на определенной территории, локальные, местные, территориальные и др., сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Источник чрезвычайной ситуации - опасное природное явление, авария или опасное техногенное происшествие, в результате чего произошла или может возникнуть чрезвычайная ситуация.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях - состояние защищенности населения, окружающей природной среды от опасностей в чрезвычайных ситуациях. Различают безопасность по видам (промышленная, радиационная, химическая, пожарная, биологическая, экологическая) [52].

5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования

Проанализировав возможные варианты возникновения ЧС при проведении исследований на стенде, разработанном для моделирования динамических нагрузок, возможным фактором является возникновении пожара в научно-исследовательской лаборатории. Само устройство практически исключает возможность инициировании ЧС. Однако не стоит исключать возможность наличия ошибок или недоработок в проектировании систем контроля доступом, что в свою очередь может инициировать возникновение ЧС, связанных с пожароопасностью горючих строительных материалов.

Для предотвращения возникновения ЧС необходимо соблюдать правила пожаровзрывобезопасности. Пожаровзрывобезопасность – это состояние объекта экономики и его технологических процессов, при котором

с установленной вероятностью исключается возможность пожара и взрыва и воздействие на людей их опасных факторов, а также осуществляется защита материальных ценностей (по ГОСТ 12.1.010-76 и ГОСТ 12.1.031-81). Она обеспечивается комплексом организационных, противопожарных, инженерно-технических и специальных мероприятий и средств как при эксплуатации объектов, так и в случаях их реконструкции, ремонта или аварийной (чрезвычайной) ситуации.

Причинами возникновения пожара в научно-исследовательской лаборатории могут быть:

1. Неисправность электропроводки помещения;
2. Короткое замыкание в силовом шкафу оборудования для проведения исследований;
3. Возгорание стенда для исследования динамических процессов вследствие перегрева его узлов;
4. Неисправность цепей управления;
5. Неисправность элементов управления стендом.

5.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований.

При работе в научно-исследовательской лаборатории самой вероятной ЧС является возможность пожара и поражение человека электрическим током. Пожар – неконтролируемое возгорание и горение, наносящее вред жизни и здоровью людей, также материальный ущерб. Причинами возникновения пожаров чаще всего являются: короткие замыкания, несоблюдение правил эксплуатации производственного оборудования и электрических устройств, разряды статического электричества. С целью уменьшения вреда жизни и здоровью населения и материального ущерба, наносимого пожаром необходимо реализация комплекса профилактических мероприятий, направленных на предупреждение и (или) устранение пожара.

Рассмотрим порядок действия в случае возникновения ЧС в научно-исследовательской лаборатории. В случае неисправности устройства или аварии необходимо её устранить и сообщить администрации. Предупреждение пожаров является основной задачей руководителей и инженерно-технических работников кафедры. В работе по предупреждению пожаров большая роль принадлежит личному составу пожарной охраны, который проводит целый комплекс мероприятий по противопожарной защите объектов, осуществляет постовую и дозорную службу, выявляет имеющиеся недостатки и принимает меры к их своевременному устранению в соответствии с ФЗ от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности". В соответствии с СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» помещение, в котором проводились исследования на стенде для моделирования динамических нагрузок действующих на инструмент в процессе бурения, относится к наименее опасной категории (Д) с пониженной пожароопасностью. Само здание по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории (Д). Наружных установок здание не имеет [53].

К пожарно-профилактическим мероприятиям относятся:

- выбор качественного электрооборудования и правильных способов его монтажа с учетом пожароопасности территории, а также регулярный контроль исправности защитных устройств и аппаратов на электрооборудовании, постоянный контроль за надлежащей эксплуатацией электроустановок и электросетей;
- систематический надзор за выполнением правил технической эксплуатации электрических устройств;
- регулярная проверка знаний противопожарной безопасности.

- пожарно-техническая проверка для выявления состояния объектов представителями пожарного надзора с последующим выполнением предписаний и приказов;

- систематическое выполнение противопожарных работ;

- проверка наличия и исправности первичных средств пожаротушения;

- проведение учебных тревог и эвакуаций персонала организации;

-прохождение противопожарного инструктажа. В качестве обязанностей каждый сотрудник организации должен: – не допускать действий, которые могут привести к пожару и четко знать и выполнять порядок действий установленных для пожарной безопасности, – уметь использовать средства пожаротушения, имеющиеся на предприятии; – в случае обнаружения его признаков возгорания или возникновения пожара немедленно сообщить об этом в пожарную охрану; – принять меры по ликвидации пожара с помощью первичных средств пожаротушения и организации эвакуации сотрудников.

Для тушения возгораний веществ, горение которых невозможно без кислорода, возгораний электроустановок, находящихся под напряжением не более 1000 Вольт, а также жидких и газообразных веществ предназначены углекислотные огнетушители. Для тушения возгорания различных типов веществ, а также электроустановок, находящихся под высоким напряжением до 1000 Вольт предназначены порошковые огнетушители. В организации, где проводилось выполнение ВКР используются первичные средства пожаротушения огнетушители углекислотные (ОУ-2) и порошковые (ОП-5). А также установлена система автоматической пожарной сигнализации и свето-звуковое оповещение людей о пожаре [54].

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

При осуществлении трудовой деятельности между работником и работодателем заключается трудовой договор, в котором прописываются обязанности сторон, ответственность, а также права работника. Документом, определяющим трудовые отношения между работником и работодателем, регулирующим вопросы охраны труда, закрепляющим правила оплаты и нормирования труда, порядок разрешения трудовых споров является трудовой кодекс.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации, N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на [55]:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Более подробно рассмотрим и обозначим нормы труда и обязанности работодателя для инженера выполняющего научно-исследовательскую работу. Продолжительность рабочего дня не должна быть меньше указанного времени в договоре, но не больше 40 часов в неделю. Для работников до 16 лет – не более 24 часов в неделю, от 16 до 18 лет и инвалидов I и II группы – не более 35 часов.

Возможно установление неполного рабочего дня для беременной женщины; одного из родителей (опекуна, попечителя), имеющего ребенка в возрасте до четырнадцати лет (ребенка-инвалида в возрасте до восемнадцати лет). Оплата труда при этом производится пропорционально отработанному времени, без ограничений оплачиваемого отпуска, исчисления трудового стажа и других прав [55].

Организация обязана предоставлять ежегодный отпуск продолжительностью 28 календарных дней. Дополнительные отпуска предоставляются работникам, занятым на работах с вредными или опасными условиями труда, работникам имеющими особый характер работы, работникам с ненормированным рабочим днем и работающим в условиях Крайнего Севера и приравненных к нему местностях.

В течение рабочего дня работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Всем работникам

предоставляются выходные дни, работа в выходные дни осуществляется только с письменного согласия работника.

Организация-работодатель выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы только в случаях установленных ТК РФ ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней, работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя [56].

Законодательством РФ запрещена дискриминация по любым признакам и принудительный труд [52].

5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоне исследователя.

Основным объектом в научно-исследовательской лаборатории является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при проведении исследований.

При проектировании рабочей зоны, необходимо учитывать компоновки рабочей зоны как для работы, сидя за столом и работой с персональным компьютером, так и положением стоя для включения/выключения изменения параметров стенда для моделирования динамических нагрузок, действующих на долото в процессе бурения. Также должны быть соблюдены параметры микроклимата и вентиляции помещения.

Согласно ГОСТ Р 50923-96 Рабочее место с дисплеем должно обеспечивать оператору возможность удобного выполнения работ в положении сидя и не создавать перегрузки костно-мышечной системы. Основными элементами рабочего места оператора являются: рабочий стол, рабочий стул, дисплей, клавиатура.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать возможность размещения на рабочей поверхности прибор «Виброрегистратор М2», персональный компьютер и папку с документами для проведения испытаний.

Высота рабочей поверхности стола при нерегулируемой высоте должна составлять 725 мм. Размеры рабочей поверхности стола должны быть: ширина - не менее 600 мм, длина - не менее 1200 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм. Рабочая поверхность стола не должна иметь острых углов и краев. Покрытие рабочей поверхности стола должно быть из диффузно отражающего материала с коэффициентом отражения 0,45-0,50.

Рекомендуемый проход слева, справа и спереди от стола 500 мм. Слева от стола допускается проход 300 мм. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Дизайн монитора ПК должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света.

Рабочий стул должен обеспечивать поддержание физиологически рациональной рабочей позы оператора в процессе трудовой деятельности, создавать условия для изменения позы с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины, а также для исключения нарушения циркуляции крови в нижних конечностях. Рабочий стул должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья. В целях снижения статического напряжения мышц рук следует использовать стационарные подлокотники, регулирующийся по высоте над сиденьем и внутреннему расстоянию между подлокотниками. Поверхность сиденья должна иметь ширину и глубину не менее 400 мм. Должна быть предусмотрена возможность изменения угла наклона поверхности сиденья от 15° вперед до 5° назад. Высота поверхности сиденья должна регулироваться в пределах от 400 до 550 мм. Опорная поверхность спинки стула должна иметь высоту (300±20) мм, ширину не менее 380 мм и радиус кривизны в горизонтальной плоскости 400 мм. Подлокотники должны быть длиной не менее 250 мм, шириной - 50-70

мм, иметь возможность регулирования по высоте над сиденьем в пределах (230±30) мм и регулирования внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах от 350 до 500 мм [57].

Требования к производственной среде при проектировании рабочего места также необходимо соблюдение норм указанных в ГОСТР 50923-96, это требования к освещению, шуму, микроклимату, подробнее рассмотрим каждый фактор.

Освещенность рабочего места оператора на рабочем столе в горизонтальной плоскости от общего искусственного освещения должна быть от 300 до 500 лк. Для освещения зоны расположения документов допускается установка светильников местного освещения. Отношение яркостей в зоне наблюдения (экран, документ, поверхность стола) должно быть не более 10:1. В поле зрения оператора должны отсутствовать прямая и отраженная блескость. Для снижения блескости необходимо:

- оборудовать светопроемы солнцезащитными устройствами (шторами, регулируемыми жалюзи, внешними козырьками и т.д.);
- использовать для общего освещения светильники с рассеивателями и экранирующими решетками;
- размещать рабочий стол так, чтобы оконный проем находился сбоку (справа или слева), при этом дисплей должен располагаться на поверхности стола справа или слева от оператора;
- размещать рабочий стол между рядами светильников общего освещения;
- использовать дисплей, имеющий антибликовое покрытие экрана или антибликовый фильтр.

На рабочем месте лаборанта должна быть ограничена пульсация освещенности от газоразрядных источников света. Для ограничения пульсации освещенности следует использовать преимущественно люминесцентные лампы белого света.

Еще одним важным фактором, регулирующим рабочую зону, является уровень шума. Уровень шума на рабочем месте оператора не должен

превышать предельно допустимых значений согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах» для помещений, где осуществляется творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах не должен превышать предельно допустимого значения 50дБА. Если уровень шума на рабочем месте оператора превышает допустимый, то в помещении применяют звукопоглощающие покрытия.

На рабочем месте, в научно-исследовательской лаборатории, должны обеспечиваться оптимальные микроклиматические условия в холодный и теплый периоды года. Температура воздуха на рабочем месте в холодный период года должна быть от 22 до 24°C, в теплый период года - от 23 до 25 °С. Разница температуры на уровне пола и уровне головы оператора в положении сидя не должна превышать 3 °С. Относительная влажность воздуха на рабочем месте оператора должна составлять 40-60%. Скорость движения воздуха на рабочем месте оператора должна быть 0,1 м/с.

Рабочее место, расположенное в научно-исследовательской лаборатории, находящееся на кафедре ТМСР отвечает всем требованиям, предъявляемые к рабочему месту.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования являются законченной магистерской диссертацией, в которой решены поставленные задачи, направленные на выявление и снижение динамических нагрузок для повышения эффективности бурения как нефтегазовых так и геологоразведочных скважин.

Установлена зависимость влияние режимов бурения на величину вибрации бурового долота, что позволяет оценить эффективность процесса бурения, тем самым повысить ресурс бурового инструмента.

Разработана и исследована математическая модель компоновки низа буровой колонны. В ходе исследования были установлены перемещения бурового инструмента, под действием динамических нагрузок.

Практическая значимость научного исследования подтверждена защитой результатов и предлагаемых решений перед представителями компании British Petroleum, на финансирование которой были проведены исследования, согласно предоставленному гранту.

Список использованных источников

1. Мищенко Р.Н., Юхнин М.И., Хегай В.К. Исследования крутильных колебаний бурильной колонны // Севергеоэкотех - 2003. Межрегиональная молодёжная научная конференция / Ухтинский государственный технический университет -Ухта, 2003.
2. Борисов К.И. Научная база нового метода оценки эффективности процессов разрушения горных пород современными инструментами режуще-скалывающего действия // Вестник ЦКР Роснедра. – 2011. – № 4.
3. Хегай В.К. О нафуженности долота при наклонно-направленном бурении //XXIV Российская школа по проблемам науки и технологии, посвященной 80-летию со дня рождения академика В.П. Макеева / УрО РАН. - Екатеринбург, 2004.-С. 405-410.
4. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ. – Красноярск: СФУ, 2012. – 300 с.
5. Борисов К.И. Разработка научного метода объективной оценки процессов динамического разрушения горных пород инструментами режуще-скалывающего действия класса PDC (Ч. II) // Инженер нефтяник. – 2011. – № 1. – С. 31–35.
6. Ишемгужин И.Е., Ямалиев В.У., Ишемгужин Е.И. Диагностирование объектов нефтегазодобычи при случайных колебаниях технологических параметров бурения // Нефтегазовое дело. 2011. Т. 9. № 3. С. 17-20.
7. Алексеев, В. Н. Передача осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент с учетом трения бурильной колонны о стенки скважины / В. Н. Алексеев // в сб. Методика и техника разведки. – Л.: ОНТИ ВИТР. – 1981. – № 138. – С. 24–33.
8. Хузина Л.Б. Использование новых технологических решений при бурении горизонтальных скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2006. № 9.

9. Трушкин О.Б. Показатели и параметры работы долот при стендовом бурении // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2006. №1.
10. Бобылев, Ф. А. Характер движения бурильной колонны при вращении / Ф. А. Бобылев, И. Н. Страбыкин // Разведка и охрана недр. М. : Недра. – 1971. – №7.
11. Биланенко Н.А. Установление оптимальных кинетических характеристик шарошечных долот с целью повышения эффективности бурения скважин: дис. канд. техн. наук. – Ташкент, 1994. – 219 с.
12. В.У. Ямалиев, Т.Р. Салахов, Э.Ш. Имаева. Устройство для оценки состояния породоразрушающего инструмента /: пат. 2335629 Рос. Федерация МПК6 E21B44/00. № 2006145009/03; заявл. 18.12.2006; Опубл. 10.10.2008, Бюл. №28.
13. Воздвиженский, Б. И. Влияние работы бурильной колонны на показатели процесса бурения / Б. И. Воздвиженский, Г. А. Воробьев, Б. А. Новожилов и др. М. : Обзор ВИЭМС, 1982. – 48 с.
14. Мочуловский А.М., Морозов Ю.Т. Стенд для моделирования работы бурового става в наклонной скважине, патент E21B7/04 направленное бурение, публикация патента: 15.01.1994
15. Юнин Е.К. К вопросу предотвращения вибраций бурильной колонны // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2009. №12.
16. Vusal Rajabov, Stefan Miska, Laurence Mortimer. The Effects of Back Rake and Side Rake Angles on Mechanical Specific Energy of Single PDC Cutters with Selected Rocks at Varying Depth of Cuts and Confining Pressures. University of Tulsa, IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition California, USA, 6-8 March 2012.
17. Leine, R. I., Van Campen, D. H., & Keultjes, W. J. G. (2002). Stick-slip Whirl Interaction in Drillstring Dynamics. Journal of Vibration and Acoustics.

18. Бурение скважин с использованием наддолотных многоступенчатых виброгасителей / М.С. Габдрахимов, А.С. Галеев, Б.З. Султанов и др. // Нефтяное хозяйство. 1990. №4.
19. Габдрахимов М.С., Султанов Б.З. Динамические гасители колебаний бурильного инструмента. М.: ВНИИОЭНГ, 1991. 60 с.
20. М.Ф. Заляев, В.У. Ямалиев, Е.М. Абуталипова, А.Н. Авренюк //О необходимости учета вибрации при конструировании элементов бурильной колонны / Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2016. №9.
21. Имаева Э.Ш. Вибронагруженность глубинного оборудования при бурении скважин // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. / УГНТУ. 2002. №2.
22. Ишемгужин И.Е., Ямалиев В.У., Ишемгужин Е.И. Диагностирование объектов нефтегазодобычи при случайных колебаниях технологических параметров бурения // Нефтегазовое дело. 2011. Т. 9. № 3. С. 17-20.
23. Способ определения работоспособности породоразрушающего инструмента / В.У. Ямалиев, М.М. Хасанов, Ишемгужин, И.Р. Кузеев,; пат. 2188939 Рос. Федерация МПК7 E21B44/06, E21B44/06. № 2001113974/03; Оpubл. 10.09.2002, Бюл. №10.
24. Владиславлев, В. С. Теория работы породоразрушающих инструментов / В. С. Владиславлев. – М. : МГРИ, 1982. – 77 с.
25. Борисов К.И., Динамика работы резцов в процессе разрушения горных пород инструментами режуще-скалывающего действия типа PDC, науч. Журнал Технология и техника геологоразведочных работ, Томск, 2010.
26. Третьяк А.Я., Литкевич Ю.Ф., Асеева А.Е. Исследование подачи и модуля скорости при вращательном бурении горных пород // Интервал. – 2006. – № 2. – С. 25–27.
27. Osnes, S.M., Amundsen, P.A., Weltzin, T., Nyernes, E., Hundstad, B.L. & Grindhaug, G. MWD Vibration Measurements: A Time for Standarisation.

- SPE/IADC 119877 presented at SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition held in Amsterdam, The Netherlands, 17-19 March 2009.
28. Григорьев В.Н. Вибрация энергетических машин, справочное пособие, машиностроение, 1974 г.
29. Ямалиев В.У., Имаева Э.Ш., Салахов Т.Р. О возможности распознавания технических состояний глубинного бурового оборудования // Нефтегазовое дело. 2005. Т. 3. С.127-132.
30. Смирнова В. Б. Глобальная устойчивость нелинейных динамических систем с распределёнными параметрами/ Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ). С.-Пб., 1999.
31. Гуляев В.И., Луговой П.З., Борщ Е.И. Самовозбуждение колебаний бурильной колонны, прикладная механика, том 49 №3, 2013 г.
32. ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть I.
33. Dareing D. Rotary speed, drill collars control drillstring bounce // Oil and Gas Journal. 1983. - Vol. 81, № 23. - P. 63-68.
34. Нагаев Р. Ф., Пальмов В. А., Распутина Е. И. Общая задача об устойчивости стационарного вращения буровой колонны // Институт проблем машиноведения РАН, Труды 23 школы-семинара "Анализ и синтез нелинейных механических колебательных систем". С.-Пб., 1996.
35. Филимонов Н.М., Мавлютин М.Р. Колебания нижней части бурильного инструмента при работе долота. Изв. вузов – Нефть и газ № 10, 1964.
36. Циглер Г. Основы теории устойчивости конструкций. – М.: Мир, 1971.
37. Ишемгузин Е.И. Нелинейные колебания элементов буровых машин. Учебное пособие, Уфа: Изд. Уфимс. нефт. ин-та, 1988, 98с.
38. Светлицкий В.А. Случайные колебания механических систем – М., Машиностроение, 1976. – 216 с.
39. Кривошеев, В. В. Новый породоразрушающий инструмент для направленного бурения скважин. Научно-техн. сборник ВИЭМС, МГП «Гео-информмарк» / В. В. Кривошеев. – М. : 1991. № 8. – С. 57.

40. Нескоромных, В. В. Разработка оптимальных параметров компо-новок для направленного бурения геологоразведочных скважин шарошеч-ными долотами: дис. канд. техн. наук: 05.15.14 / Нескоромных В.В., – М., 1987.
41. Нескоромных, В. В. Анализ работы несбалансированной компо-новки бурового снаряда / В. В. Нескоромных, И. Н. Страбыкин // «Изв. Ву-зов. Геология и разведка». – 1986. – № 10. – С. 79–84.
42. Овчаренко, В. М. Основы автоматизации и контрольно измери-тельные приборы на буровых и горно-разведочных работах. 2-е изд., перераб. и доп / В. М. Овчаренко, И. А. Брацлавский. – М. : Недра, 1982. – 230 с.
43. Вибрация в технике: Справочник. В 6 т. Колебания машин, конструкций и их элементов/Под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1980. –Т.3. – 544 с.
44. Горфинкель В.Я., проф. Швандар В.А. Экономика предприятия: Учебник для вузов — 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 670
45. Финансовый анализ [Электронный ресурс]: URL: <http://1fin.ru/>
46. Рахимов Т.Р. Финансовый менеджмент: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 264 с.
47. Ронова Г.Н, Кузьмина Т.В. Теория и практика оценочной деятельности: Учебно-методический комплекс. – М.:Изд.центр ЕАОИ. 2008. – 253 с.
48. Конотопский В.Ю. Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» магистерских диссертаций для всех специальностей ИК/ сост. В.Ю. Конотопский Томск. Издательство ТПУ, 2015г.
49. Охрана труда. Основы безопасности жизнедеятельности // www.Grandars.ru. URL: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/ohrana-truda.html> (дата обращения: 11.03.2017).
50. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация // Ассоциация инженеров - программистов по охране труда.

51. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки // Библиотека гостей и нормативов. 2016.
52. Попов В.М. Психология безопасности профессиональной деятельности: учебное пособие / В. М. Попов; Изд-во Новосибирского государственного технического университета, 1996 г. – 155 с.
53. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200084092>
54. ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.
55. 13. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-22-3-03-94> (дата обращения: 11.03.2017).
56. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования
57. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
58. Tudeshki H., Hardebutsh T., „Direkte Lagerstättenerkundung Grundlagen der Bohrtechnik - Gesteinszerstörung beim Bohrprozess“; AMS Online, 2009
59. <http://www.at-boretec.de/1063.html>
60. <http://www.rheinetroleum.de/projekte/bohrung-allmend.html>
61. Luong Jimmy Ba. Verfahren und Vorrichtung zum Sammeln und Anzeigen von BIT-Ausfall-Abbildungsinformationen. DE 10226570 A1
62. <https://www.wintershall.com/de/technologie-innovation/bohrung.html>
63. http://www.bp.com/de_de/germany/presse/mediathek/grafiken.html
64. <https://www.stromvergleich.de/heizoel/heizoellexikon/pdc-meissel>

Список публикаций студента

№ П/п	Наименование работы ее вид	Харак тер работ ы	Выходные данные	Объе м в п.л. или с.	Соавторы
1	2	3	4	5	6
1	Actuators of the Seismic Vibrations Source device	Печ.	2015/ International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS) 978-1-4673-8114-7/15/\$31.00 ©2015 IEEE	5 с	B.B. Moyzes, Xiaoliang Zhang, A.N. Gavrilin, K.V. Mel'kov, A.V. Fayngerts
2	MASSNAHMEN ZUR REDUZIERUNG VON SCHWINUNGEN IN GENERATOREN	Печ.	XIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», Том 6 Строительство и архитектура, стр.82-84.	3 с	K.V. Melnov, A.N. Gavrilin, E.K.Prokhorets
3	Мобильный комплекс для оперативной диагностики элементов технологической системы.	Печ.	Информационно-измерительная техника и технологии, ИИТиТ 2016: материалы VII научно-практической конференции, Томск, 25-28 Мая 2016 / Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ); под ред. А. В. Юрченко.	3 с	А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес, А.И. Черкасов, К.В. Мельнов, А.Р. Хайруллин, С. Чжан
4	Исследование пневматического гасителя колебаний	Печ.	Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сборник трудов VI	3 с	Мельнов К.В., Гаврилин А.Н., Хайруллин

			Всероссийской научно-практической конференции. В 3 т., Томск, 23-27 Мая 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - Т. 1 - С. 226-228		А. Р. , Глиненко Е. В.
5	Пневматический гаситель колебаний	Печ.	Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сбор-ник трудов VI Всероссий-ской научно-практической конферен-ции. В 3 т., Томск, 23-27 Мая 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - Т. 1 С. 393-397	5 с	Мельнов К. В., Хайруллин А. Р., Глиненко Е. В.
6	Mobile complex for rapid diagnosis of the technological system elements		MATEC Web of Conferences 7 01078 (2016) DOI: 10.1051/matecconf/2016790102016,IME&T9 78	4 с	A.N. Gavrilin, B.B. Moyzes, A.I. Cherkasov, K.V. Mel'nov, A.R. Hajrullin, X. Zhang.
7	Гидравлическое устройство создания предварительного натяга в приводе рабочего органа металлорежущего станка	Печ.	ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 Т.2 2016 (УДК 621.9.06) С.28-32.	5 с	А.Н. Гаврилин, А.И. Черкасов, Б.Б. Мойзес, К.В. Мельнов, А.Р. Хайруллин.
8	Методика исследования характеристик горной породы при резании-скалывании резцами PDC	Печ.	ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 Т.2 2016 (УДК 622.243.2) С 80-83.	4 с	А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес, Ю.Б. Червач, В.Л. Рубцов, К.И. Борисов, К.В. Мельнов, А.Р. Хайруллин.

9	Виброрегистратор _ М2	Печ.	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614049	2 с	Гаврилин А.Н., К.В. Мельнов, Серебряков К.В., Б.Б. Мойзес, А.Р. Хайруллин.
10	Устройство для повышения жесткости технологической системы путем создания предварительного натяга	Печ.	Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7-11 ноября 2016 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 2. — [С. 346-347]	2 с	К.В. Мельнов, А. Н. Гаврилин, А. Р. Хайруллин
11	Устройства для измерения динамической жесткости технологической системы при установлении оптимальных режимов работы	Печ.	XXVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ИННОВАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ (МИКМУС - 2016) Москва, 07-09 декабря 2016 г.: [С. 427-430]	4 с	А. Р. Хайруллин, К.В. Мельнов, А. Н. Гаврилин
12	Конструкторско-технологические методы снижения динамических нагрузок на резцы PDC при бурении	Печ.	XXVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ИННОВАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ (МИКМУС - 2016) Москва, 07-09 декабря 2016 г.: [С. 376-379].	4 с	К.В. Мельнов, А.Р. Хайруллин, А. Н. Гаврилин

13	Исследование прецессии шпиндельных узлов фрезерных станков	Печ.	V Международная конференция студентов, аспирантов, молодых ученых РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ И КОНТРОЛЕ: ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ, Томск, 3-8 Октября 2016 г., Том 1	2 с	К.В. Мельнов, Е.В. Глиненко, А.Р. Хайруллин
14	Устройство для испытания фрезерных станков	Печ.	V Международная конференция студентов, аспирантов, молодых ученых РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ И КОНТРОЛЕ: ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ, Томск, 3-8 Октября 2016 г., Том 1	2 с	К.В. Мельнов, В.С. Спасенко, Н.С. Бессонов, Е.В. Глиненко,

Приложение Б

6.1 Einleitung

Erdöl und Erdgas zu finden, ist keine leichte Aufgabe – die beiden Rohstoffe dann aber auch noch an die Erdoberfläche zu befördern, erst recht nicht: die meisten Lagerstätten sind tief unter der Erde, und der Weg dorthin führt durch harte Schichten aus Gestein.

Da die deutschen Ölvorkommnisse sehr tief unter der Erde liegen, bedarf es einen besonders robusten Bohrer. Ein PDC-Meißel ist ein Bohrkopf welcher aus dem härtesten Material der Welt gefertigt ist. Ein PDC-Meißel ist ein aus Diamant gefertigter Bohrkopf. Ein PDC-Meißel wird also in der Industrie zur Förderung von Erdöl benutzt. Allerdings hat ein aus Diamant gefertigter Bohrkopf den Schwachpunkt, dass er bei zu starker Hitze schmilzt und bei zu hartem Grund bricht.

6.2 Bohrungen

In der Lagerstättenerkundung kommen verschiedene Bohrverfahren zur Anwendung. Im Allgemeinen wird bei einer Erkundung eine Kernbohrung mit durchgehender Kerngewinnung angestrebt, damit man das gesamte Profil, vorausgesetzt es treten keine Bohrkernverluste auf, betrachten und fotografieren kann. Des Weiteren haben Kernbohrungen den Vorteil, dass viele Proben für weitere Klassifikationsversuche gewonnen werden können. Auch die Entnahme von Sonderproben ist möglich, welche hochwertige Laborversuche zur chemischen und physikalischen Analyse erlauben. Eine Kernbohrung erfolgt nach dem Prinzip einer Rammkernbohrung unter Verwendung verschiedener Entnahmewerkzeuge (Schappe, Einfachkernrohr, Kernfänger) und verschiedener Rotationskern-bohrverfahren (Luft-, Wasser-, ohne Spülung; Doppel- oder Dreifachkernrohre, Schlauchkernverfahren, Seilkernrohr). Dabei entscheidet der Einfluss des Bohrkernverfahrens über die Qualität der Proben. Im Lockergestein werden Erkundungsbohrungen beispielsweise durch Verrohrungen geschützt. Die Kosten für die Durchführung eines Bohrverfahrens richten sich hauptsächlich nach der geometrischen Dimension der geplanten Bohrung bzw. der Größe der Bohrgeräte.

Die Bedeutung der Bohrtechnik im Zusammenhang mit der Gewinnung mineralischer Rohstoffe, speziell im Bereich der Erkundung, Bohr- und Sprengarbeit sowie Entwässerung erfordert eine detaillierte fachliche Auseinandersetzung mit der Bohrtechnik. Insofern wird der nachfolgende Beitrag dieser Aufgabe gewidmet [58].

6.3 Grundlagen der Bohrtechnik - Gesteinszerstörung beim Bohrprozess

Über der Erde erkennt man eine Bohrung vor allem an einem: dem weithin sichtbaren Bohrturm. Von hier aus wird das Bohrgestänge eingebaut, an dessen Ende sich der Meißel in den Erdboden gräbt. Die einzelnen Rohre des Gestänges bestehen aus extrem festem Stahl und sind etwa neun Meter lang – ist der Meißel um diese Strecke vorangekommen, muss ein neues Rohr ans Gestänge geschraubt werden. Um

den Meißel nach dessen Abnutzung austauschen zu können, muss das gesamte Bohrgestänge aus dem Bohrloch herausgezogen werden.

Damit der Aus- und anschließende Einbau schneller vorangeht, bleiben immer drei Stangen verschraubt und werden im Bohrturm abgestellt – und das ist der Grund für dessen Höhe.

Auf See sind Bohrplattformen oder Bohrschiffe notwendig, von denen aus die Bohrungen abgeteuft werden können. Hochmoderne Bohrschiffe haben sogar zwei Bohrtürme, um parallel zu arbeiten [59].

Während der Bohrung pumpen die Bohrspezialisten durch das Gestänge eine Bohrspülung nach unten zum Meißel, die den Bohrer kühlt und schmiert. Anschließend steigt sie an der Außenseite des Gestänges wieder nach oben und transportiert dabei das Bohrklein ab – also das vom Bohrer zerkleinerte Gestein. Die Bohrspülung wird am Bohrturm gefiltert und ihre Zusammensetzung regelmäßig von Geologen genau analysiert. So können diese schon während der Bohrung Informationen über die durchbohrten Gesteinsschichten sammeln.

Definition Bohrvorgang: der Bohrvorgang ist gekennzeichnet durch das Eindringen eines Werkzeugs in das zu erbohrende Material unter Herauslösung von zerstörtem Materialteilen und der Abforderung der gelösten Teile zum Bohrlochmund oder unter der Verdrängung von Material in das das Bohrwerkzeug umgebende Material.

In beiden Fällen wird ein langgestreckter, meist runder Hohlraum hergestellt. Die Arbeitsweise des Bohrwerkzeugs wird nach der Art des Energieeintrags in [60]:

- a. stoßend;
- b. schlagend;
- c. drehschlagend;
- d. oder drehend.

unterschieden.

Bei der stoßenden Belastung wird eine hohe Zerstörungsenergie bei geringer Schlagfrequenz eingeleitet, wobei der Bohrkopf zwischen den Einzelimpulsen vollständig entlastet wird. Das drehende Bohren erzeugt eine hohe axiale und

konstant anhaltende Druckkraft. Beim schlagenden Bohren wird eine geringe, konstante primäre Druckkraft mit einer zusätzlichen geringen Zerstörungsenergie bei hoher Schlagfrequenz überlagert (s. Abb. 1).

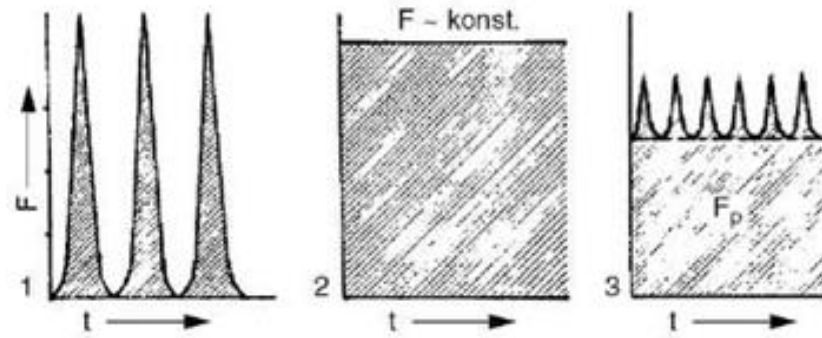


Abbildung 1. Belastungsarten: 1-stoßend, 2-drehend, 3-schlagend [50]

Aus den Elementarvorgängen lassen sich in Abhängigkeit der Form der Wirkungselemente die Arbeitsweisen der Bohrwerkzeuge bei den jeweiligen Bohrverfahren arbeiten:

- a. schlagendes Bohren;
- b. spaltend, kerbend, drückend, zertrümmernd;
- c. drehendes Bohren;
- d. schneidend, spanend, schabend, schleifend.

Allen Bohrverfahren ist gemeinsam, dass der Bohrkopf eine Drehbewegung durchführt. Beim rein drehenden Bohren bewirkt die Drehung den eigentlichen Löseprozess des Bohrgutes aus dem anstehenden Materialverband.

Beim schlagenden Bohren dient die Drehbewegung unterschiedlichen Zielen. Erstens wird durch das Umsetzen des Bohrkopfes um einen definierten, kleinen Drehwinkel bei dem nachfolgenden Arbeitsvorgang eine neue frische Angriffsfläche geboten und somit der Anteil einer unproduktiven Nachzerkleinerung bereits gelösten Materials verringert. Zweitens erfolgt diese Drehung ohne ein Abheben des Bohrkopfes von der Bohrlochsohle sondern vielmehr unter einem konstanten relativ hohen Andruck, so dass eine zusätzliche spangebende Wirkung bei der Bohrarbeit erzielt wird [60].

6.4 Gesteinsablösung auf der Bohrlochsohle

Die Gesteinsablösung auf der Bohrlochsohle erfolgt in Abhängigkeit des Bohrverfahrens, des Bohrwerkzeugs und seiner Wirkungselemente durch eine Kraterbildung oder durch die Erzeugung von radialen Nuten, Furchen oder Rillen. Die Größe des erzeugbaren Kraters bzw. der Furche hängt unter anderem vom Spröbruchverhalten und plastischen Verhalten des zu erbohrenden Materials ab [60]. Generell gilt, dass der wirtschaftliche Bohrfortschritt umso höher ist, je größer die Ausbildung der erreichbaren Vertiefungen bei vergleichbarem Energieaufwand ist. Die Geometrie einer Schneide kann durch Keilwinkel, Freiwinkel und Spanwinkel beschrieben werden und ist in Abbildung 2 skizziert.

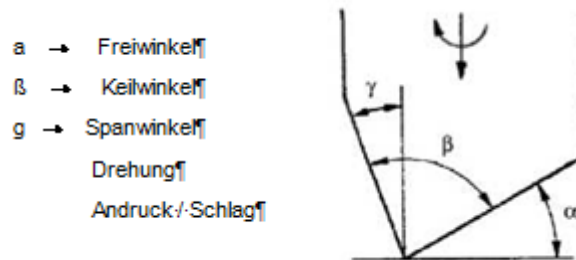


Abbildung 2. Winkelbezeichnungen eines Schneidelements

Beim schlagenden Bohren ergibt sich durch die ausschließlich senkrechte Krafteinleitung in das zu erbohrende Material eine drückend/zertrümmernde Wirkungsweise, die zu einer Kraterbildung führt (Abbildung 3). Der Prozess umfasst vier Stufen [61]:

1. Belastungsbeginn: durch zunehmende Belastung einer Schneide, die im Kontakt mit dem Gestein steht, nimmt die Druckspannung im Gestein unterhalb der Kontaktfläche zu.
2. Ausbildung eines Gesteinskeiles: die Gesteinsdruckfestigkeit wird überschritten. Unterhalb der Schneide bildet sich ein Keil aus feinst gebrochenem Gesteins Mehl.

3. Kraterförmiges Brechen: mit zunehmender Druckbelastung wird der Keil derartig zusammengepresst, dass die Schubspannungen im Gestein dessen Scherfestigkeit überschreiten. Eine kraterförmige Risszone bildet sich aus.
4. Nach der Kraterbildung: das Gesteinsmaterial löst sich entlang der entstandenen Risse vom umgebenden Gestein.

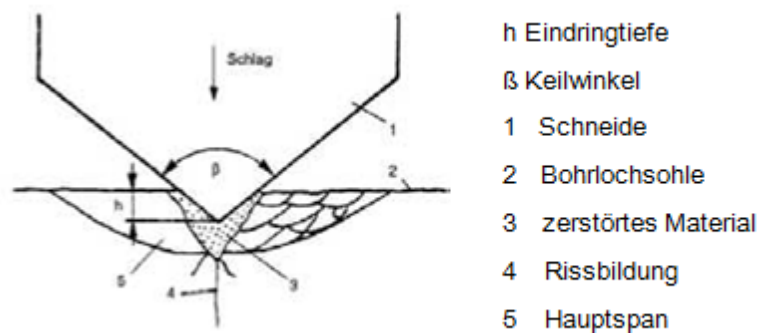


Abbildung 3. schlagende Materialzerstörung - Kraterbildung

6.5 Schlagendes Bohren

Beim schlagenden Bohren erfolgt eine Gesteinsablösung durch Spanen beim rotierenden Umsetzen des Bohrkopfes unter ständigem Kontakt mit der Bohrlochsohle. Die Gesteinszerstörung erfolgt kleinräumig unmittelbar an der Schneide sowie durch die Einleitung von Schubspannungen in das Gebirge, die zum Herauslösen des Scherspans führen. Entlang der Scherfläche bilden sich gleichzeitig kleinere Restspäne aus, die zusammen mit dem Hauptspan ausgetragen werden können.

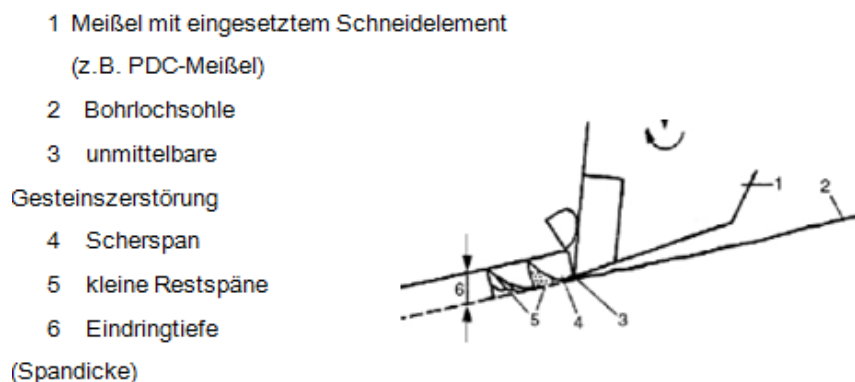


Abbildung 4. spanende Materialzerstörung

Die schneidende, schabende oder spangebende Wirkungsweise der Schneidelemente ergibt sich bei der Verwendung von Meißeln mit festen Schneiden in relativ gut bohrbarem Material [60].

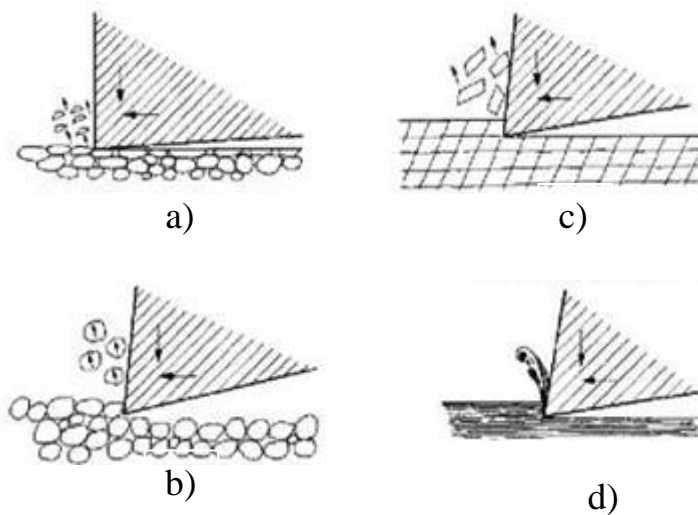


Abbildung 5. Wirkung eines Drehbohrwerkzeugs – schneidend;
a-Abreibt bei fester Mineralbindung; b-Brechen und Herauslösen bei geringer Mineralbindung; c- Brechen und Ablösen bei Schichtung und Schieferung; d- Schälen bei zähweichen Tonen usw.

Drehendes Bohren. Die drückend/zertrümmernde Gesteinszerstörung findet bei sehr hartem Material statt, das in der Regel nur unter Verwendung von Diamanten unter Aufbringen eines sehr hohen Andruckes erbohrt werden kann.

Im Gegensatz zu den schneidend, schabend oder spangebenden Werkzeugen ist die Eindringtiefe der Bohrwerkzeuge bei der drückend/zertrümmernden Gesteinszerstörung sehr klein und es wird bei der Drehbewegung kein Span vor der Schneide erzeugt. Vielmehr wird unterhalb des Diamanten durch den sehr hohen Andruck eine kleinräumige, starke Kompression des Materials erreicht, die zu enormen Druckspannungen führt. Durch die Drehung des Meißels wird der beaufschlagte Bereich der Bohrlochsohle wieder entlastet, so dass sich hinter dem Diamanten ein Span ergibt, dessen Dicke der Tiefe der maximalen Druckspannung

entspricht [63]. Der Ablauf der Gesteinszerstörung durch ein Diamantwerkzeug ist in der Abbildung 6 dargestellt.

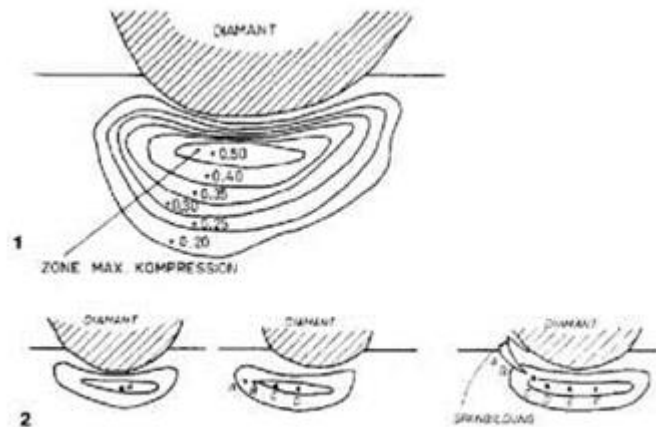


Abbildung 6. Gesteinszerstörung durch ein Diamantwerkzeug

Je nach Materialart und Art des Diamantmeißels bilden sich auch vor dem Diamanten in Bewegungsrichtung kleinstückige Primärspäne. Das hinter dem Diamanten gelöste Material stellt allerdings den größeren Teil dar und wird als Sekundärspan bezeichnet.

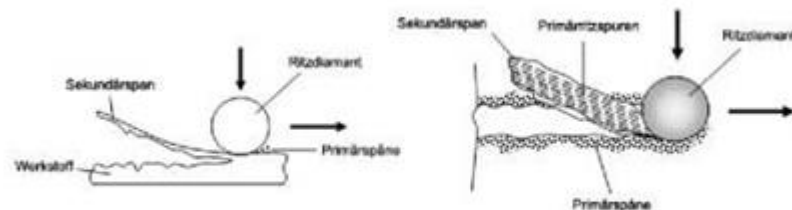


Abbildung 7. Spanbildung durch ein Diamantwerkzeug

6.6 Drehendes Bohren mit Rollenmeißeln - grabend/ schabend

Beim Drehbohren mit Rollenmeißeln in weichem Material sind die Rollen mit langen Zähnen bestückt. Gleichzeitig zeichnet sich die Geometrie des Rollenmeißels in "diesem Fall durch einen großen off-set, d.h. Versatz der Rollachsen, aus. Dadurch rollen die Schneidelemente nicht sauber auf der Bohrlochsohle ab sondern

erzeugen bei der Drehbewegung eine Hebelkraft. Daher ist die Gesteinszerstörung durch diese Art der Rollenmeißel als grabend/schabend zu bezeichnen [59].

Der Zahn der Meißelrolle dringt unter dem Bohrandruck in die Bohrlochsohle ein und erzeugt beim weiteren Drehen des Meißels eine seitwärts gerichtete Hebelkraft, die das hinter dem Zahn befindliche Material aus dem Verband herauslöst.

In Abbildung 7 ist dieser Vorgang dargestellt, wobei in diesem Fall von der Verwendung einer Spülflüssigkeit ausgegangen wird, die als hydrostatische Kraft P_m auf der Bohrlochsohle lastet und ein pseudoplastisches Verhalten des Gesteins bewirkt [60].

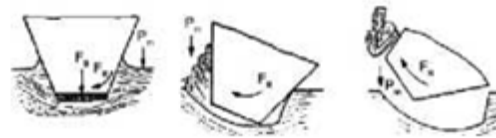


Abbildung 8. grabend/schabende Gesteinszerstörung des Rollenmeißels

6.7 Definition Bohrbarkeit

Als Bohrbarkeit wird die Größe des (Bohr-) Widerstandes bezeichnet, die das zu erbohrende Material dem Eindringen des Bohrwerkzeugs entgegensetzt. Entgegen der üblichen Annahme besitzt die Gesteins Härte, die z.B. anhand der Härteskala nach MOHS bestimmt werden kann, eine untergeordnete Bedeutung, da die Kombination der nachstehend genannten Gesteinsparameter die Bohrbarkeit bestimmt.

Dabei wird unterschieden zwischen:

1. Aktiver Bohrwiderstand: Verschleiß durch die Abrasivität des zu erbohrenden Materials;
2. Passiver Bohrwiderstand: mechanischer Eindringwiderstand (Einaxiale Druckfestigkeit);

Der Bohrwiderstand wird durch die nachfolgenden Gesteinseigenschaften beeinflusst [64]:

- a. Einaxiale Druckfestigkeit sD ;
- b. Scherfestigkeit tS ;
- c. Ein axiale Zugfestigkeit;
- d. Gehalt an schleifscharfen Mineralien;
- e. Härte und Korngröße der gesteinsbildenden Minerale und Bindemittel;
- f. Sonstige Parameter, z.B. Luftigkeit, Schichtungen, Störzonen.

Für den Verschleiß sind neben dem Gehalt an schleifscharfen Materialien auch die Korngröße der Quarzkristalle sowie die Zugfestigkeit des Mineralverbandes verantwortlich.

Die Klassifizierung der Gesteine erfolgt vielfach anhand der Gesteinsfestigkeiten, da laut Definition in einem Festkörper dann ein Bruch auftritt, wenn die örtlichen Spannungen die Festigkeit des Materials überschreiten. Allerdings ist dabei die Art der Materialbeanspruchung von entscheidender Bedeutung. In Abbildung 9 ist der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Festigkeiten überschlägig dargestellt [63].

Als Bezugsgröße wird die ein axiale Druckfestigkeit herangezogen, da diese relativ einfach und genau bestimmt werden kann:

- Zugfestigkeit: $sZ = 0,10 \cdot sD$;
- Scherfestigkeit: $sS = 0,25 \cdot sD$;
- Druckfestigkeit (als Bezugsgröße): $sD = 1,00 \cdot sD$;
- Eindringfestigkeit: $sE = (10 \text{ bis } 20) \cdot sD$,

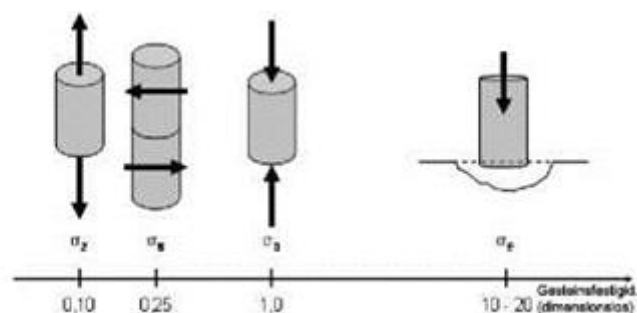


Abbildung 9. überschlägige Korrelation der Festigkeiten von Gesteinen

Die Druckfestigkeit von Gesteinen besitzt oftmals eine große Bandbreite. Dies resultiert aus den Schwankungen in der mineralogischen Zusammensetzung sowie den Veränderungen durch äußere Einflüsse auf das Ursprungsgestein.

Zur Ermittlung der Bohrbarkeit von Gesteinen können Versuche durchgeführt werden. Als Beispiel soll der Drilling Rate Index DRI vorgestellt werden, der von R. Lien 1961 entwickelt wurde [62].

Zur Ermittlung des DRI sind zwei separate Versuche notwendig:

- S20-Wert (Swedish Stamp Test): Fallhammer-versuch zur indirekten Bestimmung des Gesteinswiderstandes gegenüber Zertrümmerung und Rissbildung
- SJ-Wert (Ermittlung der Sievers-J-Kennzahl): Kleinbohrerversuch zur indirekten Bestimmung des Eindringwiderstandes.

6.8 Bohrfortschritt: Grundlagen

Der erzielbare Bohrfortschritt wird durch eine Reihe von Parametern beeinflusst, die nachstehend aufgeführt werden. Einige dieser Parameter sind durch den Betreiber beeinflussbar, andere sind als gegeben anzusehen:

- a. Gebirgseigenschaften;
- b. Bohrausrüstung;
- c. Mechanische Faktoren;
- d. Hydraulische/pneumatische Faktoren des Spülungssystems;
- e. Bedienung der Bohranlage;
- f. Leistungsfähigkeit der Bohranlage;
- g. Äußere Bedingungen;

Die Gebirgseigenschaften können nicht beeinflusst werden und setzen sich aus folgenden Parametern zusammen:

- a. Härte und Abrasivität;
- b. Druck- und Zugfestigkeit;
- c. Gebirgsverhalten (plastisch/spröde);
- d. Bohrbarkeit;

- e. Klüftung/Schieferung;
- f. Physikalische Eigenschaften, z.B.
- g. Porosität, Durchlässigkeit;
- h. Flüssigkeitsinhalt;
- i. Gebirgstemperatur.

Die Bohrausrüstung setzt sich aus den mechanischen Komponenten und dem Spülungssystem zusammen. Beides steht in engem Zusammenhang und muss daher aufeinander abgestimmt werden.

Die mechanischen Faktoren der Bohrausrüstung setzen sich aus nachstehenden Punkten zusammen:

- a. Werkzeugandruck und –Drehzahl;
- b. Werkzeugtyp und –Durchmesser;
- c. Gesteinszerstörung (schabend-grabend, drückend-zertrümmernd, kombiniert);
- d. Geometrie der Schneidelemente;
- e. Art, Größe und Richtung der Spülungswege;
- f. Werkzeugzustand;

Die mechanischen Faktoren sind durchgehend auf die Anforderungen der Bohraufgabe einstellbar. Eine Ausnahme bildet dabei der Werkzeugdurchmesser, der i.d.R. durch die Nachnutzung der Bohrung vorgegeben ist.

Das Spülungssystem ist vollständig auf die vorgegebenen (Gebirgseigenschaften einstellbar und besteht aus nachstehenden Parametern [61]:

- a. Spülungseigenschaften;
- b. Spülungsart (hydraulisch, pneumatisch);
- c. Dichte, Feststoffanteile;
- d. Viskosität, Fließgrenze;
- e. Filtrationseigenschaften;
- f. Spulrate, Spülungsdrücke und –Geschwindigkeit;
- g. Druckverluste im Gestänge;
- h. Bohrlochsohlendrucke;

Die Bedienung der Bohranlage basiert im Wesentlichen auf der Leistungsfähigkeit des eingesetzten Personals. Diese hängt vom Ausbildungsstand und von der Erfahrung der Mitarbeiter ebenso wie von dem Verantwortungsgefühl und der Motivation ab. Eine Beeinflussung der Leistungsfähigkeit des Personals ist daher in Teilbereichen gegeben.

Die äußeren Bedingungen werden durch die geographische Lage bzw. die Zugänglichkeit zu notwendiger Infrastruktur sowie Wetter und Klima bestimmt. Zusätzlich stellen die Platzverhältnisse, die sich bei Übertage- oder Untertageeinsätzen ergeben, besondere Anforderungen an die Auswahl und den Einsatz des gesamten Bohrsystems [61].

Generell werden folgende Meißel typen verwendet. Bei jedem Bohrvorgang ist das geführte Nachschieben des Bohrgestänges notwendig. Neben diesem gerichteten Vorschub müssen je nach Art des Bohrverfahrens mehr oder weniger große Kräfte eingeleitet werden, um den Bohrmeißel mit ausreichendem Andruck auf die Bohrlochsohle zu drücken. Im Gegenzug muss nach Erreichen der gewünschten Bohrteufe der Bohrstrang wieder gezogen werden. Diese Aufgabe kann unterschiedlich gelöst werden - gängige Systeme sind:

- Zahnstangen;
- Hydraulikzylinder;
- Laschenkettens.

Eine Ausnahme bilden Rotary-Bohrgeräte, die für große Bohrteufen verwendet werden. In diesem Fall hängt der Bohrstrang an einem Flaschenzugsystem im Bohrmast und der Andruck wird über das Eigengewicht des Bohrgestänges unter Verwendung spezieller Schwerstangen erzeugt [62].

Generell gilt, dass die Bohrlafette /Bohrmast die Reaktionskräfte aufnehmen muss, die beim Bohrvorgang entstehen.

6.9 Bohrstrang

Der Aufbau des Bohrstranges ist in großem Maße von dem Bohrverfahren abhängig. Daher wird auf die Komponenten und ihre Anordnung erst in den Fachkapiteln zu den Bohrverfahren eingegangen. Die Aufgaben des Bohrstranges sind jedoch in allen Fällen gleich:

- a. Übertragung der Bohrenergie auf den Meißel;
- b. Aufnahme des Bohrwerkzeugs;
- c. Erstellen der Verbindung zwischen der Oberfläche und der Bohrlochsohle für Ein- und Ausbau des Bohrwerkzeugs;
- d. Trennung der frischen Bohrspülung zum Bohrwerkzeug von der Bohrklein beladenen Spülung zur Oberfläche;
- e. Stützung der Bohrlochwand.

Bohrwerkzeuge/Bohrmeißel

Die Bohrwerkzeuge sowie Kriterien für ihre Auswahl sind in ihren Gestein zerstörenden Wirkungen bereits zuvor kurz angesprochen worden. In diesem Teil soll vertiefend auf die unterschiedlichen Meißeltypen eingegangen werden [62].

Drehendes Bohren:

1. Flügelmeißel;
2. Rollenmeißel;
3. PDC-Meißel;
4. Diamantmeißel;
5. (Dreh-) schlagendes Bohren;
6. Bohrkronen für Außenbohrhämmer;
7. Bohrkronen für Senkbohrhämmer.

Weiter werden diese der Bohrmeißel näher betrachtet.

a. Flügelmeißel

Flügelmeißel werden beim rein drehenden Bohren in weichem Gestein eingesetzt. Der ringförmige Grundkörper kann mit 2 bis 4 Schneiden bestückt sein. Die Anzahl der Schneiden nimmt mit der Härte des Gesteins zu. Abhängig von der

Bohrbarkeit des Gesteins und dem Bohrlochdurchmesser werden Flügelmeißel als sog. Stufenmeißel ausgeführt. Das bedeutet, dass sie keine durchgehende Schneide besitzen, sondern jeder Flügel mit mehreren stufenförmig angeordneten Einzelschneide besetzt ist. Die Schneidelemente können zusätzlich mit Hartmetall in Form von Aufschweißungen oder eingelassenen Plättchen bestückt werden, um bei abrasiert Material längere Standzeiten zu erzielen. Ausnahme bilden Meißel die in Ton eingesetzt werden und durch geschwungene Flügel gekennzeichnet sind [64].



Abbildung 10. Flügelmeißel

b. Rollenmeißel

Rollenbohrmeißel werden in einer Vielzahl von Varianten angeboten. Unterschieden werden sie anhand ihrer Konstruktionsmerkmale:

1. Meißel Durchmesser;
2. Art der Schneideelemente;
3. Zahnhöhe, Zahnwinkel, Zahnform, Zahnabstand und Zahnreihenzahl;
4. Art des Zahnverschleißschutzes;
5. Anordnung und Form der Zähne/Warzen;
6. Maßnahmen zur Kalibrierhaltung;
7. Anordnung der Spülungswege;
8. Größe des Lagerwinkels (Journal angle);
9. Größe des Achsversatzes (off-set);
10. Lagerort, -abdichtung und -schmierung.

Aufgrund der im Vergleich zu anderen Meißelarten komplexen Mechanik eines Rollenmeißels sind diese erst ab einem Durchmesser von ca. 100 mm verfügbar. Die größten Durchmesser reichen bis zu mehreren Metern, wobei diese

Meißel sich durch die Anzahl und die Anordnung der Rollen auf dem Meißelgrundkörper sowie dem anzuwendenden Bohrverfahren, dem Lufthebebohrverfahren, von den Dreierollenmeißeln stark unterscheiden. Dieser Meißel type findet in eher weichem Gestein Anwendung. Warzenmeißel (insert tooth) zeichnen sich dadurch aus, dass die Schneidwerkzeuge als Stifte (Warzen) in den Rollengrundkörper eingelassen sind. Die Warzenmeißel werden in festerem Gestein eingesetzt. Beide Meißeltypen sind in Abbildung 11 dargestellt [64].



Abbildung 11. Rollenbohrmeißel

c. PDC-Meißel

PDC steht für „polycrystalline diamond compact“ und bezeichnet daher einen Meißel der mit Polykristallin-Diamanten als Schneidelementen besetzt ist. PDC-Meißel haben auf ihrer Oberfläche verteilte Schneiden, die mit einer Schicht aus synthetischen Diamanten belegt sind. Die 0,5 mm dicke Diamantschicht befindet sich auf einer Hartmetallplatte (Wolframkarbid) von ca. 2,5 mm Stärke. Der Durchmesser des Schneidelements beträgt rund 10 mm bis 25 mm. Diese Einheit wird auf einen Pass-Stift aufgebracht, der in dem Meißelgrundkörper befestigt wird [63].

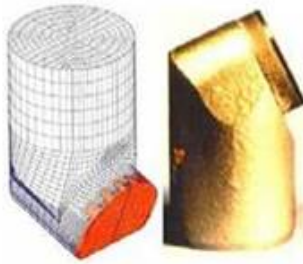


Abbildung 12. PDC-Einsatz

Eine besondere Ausführung der PDC-Meißel bilden die TSP-Meißel, deren Schneidelemente aus quader- oder Prismen artig geformten künstlichen Diamanten bestehen. TSP ist die Abkürzung für „thermally stable polycrystalline“.

PDC-Meißel lösen das Gestein durch spanende Wirkung und werden daher in weicherem Gestein eingesetzt. Zusammen mit Bohrmotoren wurden die meisten PDC-Bohrmeter in homogenen, nicht abrasiven Gesteinen wie Kalkstein, Salz, Anhydrit und Bereichen der Buntsandsteinfolge abgeteuft [64].

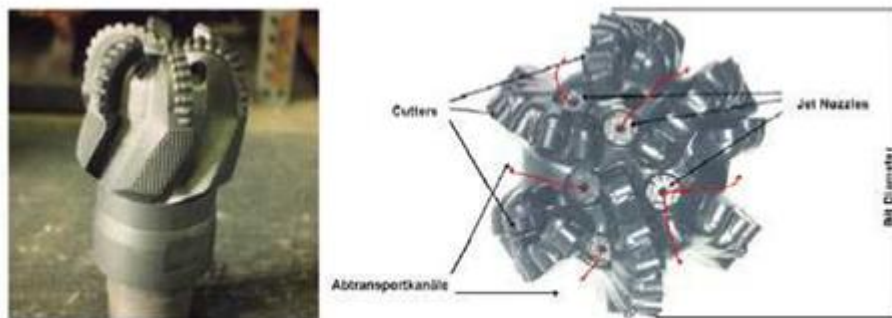


Abbildung 13. PDC-Vollbohrkronen

Neben den Vollbohrkronen werden auch Kernbohrkronen als PDC-Meißel ausgeführt.

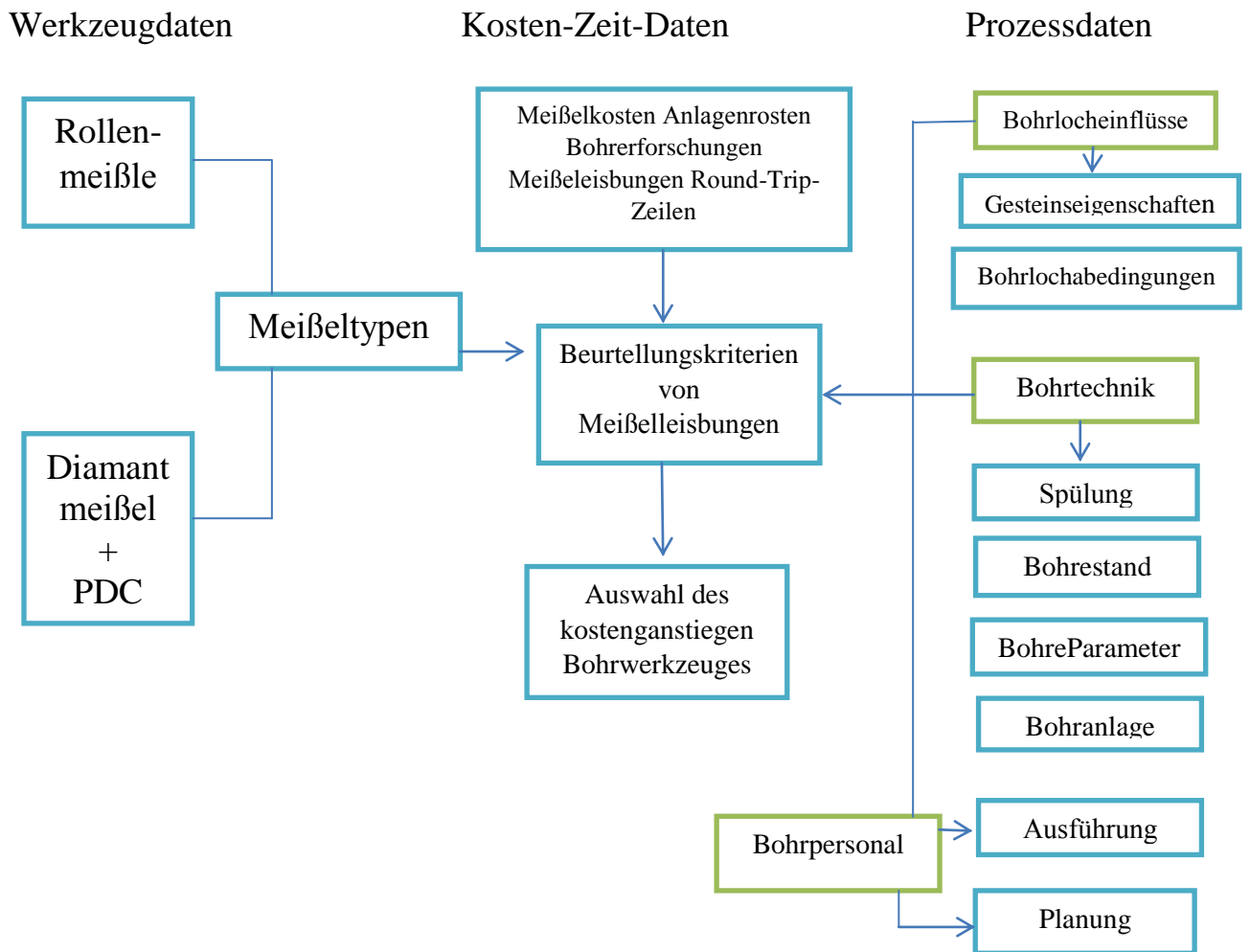


Abbildung 14. Kernbohrkronen mit TSP-Einsätzen und PDC-Einsätzen

Entscheidungskriterien für die Meißelauswahl

Die Auswahl des geeigneten Bohrmeißels hängt von vielen Randbedingungen ab. Ziel ist in der Regel die Auswahl des kostengünstigsten Werkzeugs.

Aus der Kombination der Prozessdaten und Werkzeugdaten kann anhand der erwarteten MeißelLeistungen eine Vorauswahl getroffen werden. In Verbindung mit den ökonomischen Vorgaben wird abschließend der kostengünstigste Meißel ausgewählt [54].



6.10 Gesteinszerstörung – Zusammenfassung

Die Gesteinszerstörung beim Bohren hängt stark von dem zu erbohrenden Material und der Art des Werkzeugs ab. Bei gegebenen geologischen Bedingungen kann eine Optimierung des Bohrprozesses nur durch die richtige Auswahl

- des Bohrverfahrens,
- der Art des Bohrwerkzeugs und
- der Bohrparameter erfolgen.

Falsch ausgewählte Bohrverfahren und Werkzeuge führen zu einem schlechten Bohrergebnis, das sich durch geringen Bohrfortschritt, hohen Verschleiß und damit hohe Bohrkosten ausdrückt. Zudem besteht die Gefahr, dass die Bohrbarkeit des Gebirges falsch interpretiert wird. Resultierend werden die nachfolgend einzusetzenden Bohrwerkzeuge falsch gewählt und der unwirtschaftliche Bohreinsatz fortgeführt. Für die Auswahl des geeigneten Bohrsystems empfehlen sich daher das Heranziehen eines Spezialisten sowie die anschließende Durchführung von Testbohrungen.