

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

Институт – Неразрушающего контроля
Направление подготовки – 12.04.01. «Приборостроение»
Кафедра Точного приборостроения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Система азимутального гирокомпасирования для забойного инклинометра

УДК 550.83.08:531.746

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5В	Кафтасьев Семён Михайлович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПС	Белянин Л.Н.	Кандидат техн. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. менедж. ИСГТ	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭБЖ ИНК	Мезенцева И.Л.			

По вопросам технологии

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПС	Гормаков А.Н.	Кандидат техн. наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПС	Бориков В.Н.	Доктор техн. наук		

Томск – 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 106 с., 20рис., 15табл., 33 источников, 8 прил.

Ключевые слова: алгоритмы, конструкция, точность, зенитный угол, азимут, забойный гироскопический инклинометр

Объектом исследования является система азимутального гироскопирования для гироскопического инклинометра

Цель работы – проектирование и расчет системы азимутального гироскопирования забойного гироскопического инклинометра

В процессе разработки проводился расчет характеристик системы азимутального гироскопирования забойного гироскопического инклинометра

В результате разработки спроектирована конструкция блока чувствительных элементов забойного гироскопического инклинометра

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: измерение зенитного угла продольной оси буровой колонны на забое в диапазоне, град.0÷120. Азимут истинный плоскости наклона оси буровой колонны на забое в диапазоне, град.0÷360. Угол установки отклонителя в диапазоне, град.0÷360.

Степень внедрения: разработка находится в стадии проектирования, макетный образец в настоящее время не создан

Область применения: бурение нефтяных, газовых и водяных скважин

Экономическая эффективность/значимость работы: снижение стоимости бурения скважин за счет уменьшения спуско-подъемных работ.

В будущем планируется изготовление макетного образца, проведение его испытаний с целью определения технических характеристик.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 26116-84 Аппаратура геофизическая скважинная. Общие технические условия.

ГОСТ ИСО 8995-2002 «Освещение рабочих систем внутри помещений»

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Выпускная квалификационная работа магистра (ВКР магистра):

Работа на соискание академической степени «магистр», содержащая системный анализ известных технических решений, технологических процессов, программных продуктов, выполняемая выпускником самостоятельно с использованием информации, усвоенной им в рамках дисциплин общетехнического и специального цикла.

Забойный инклинометр: прибор предназначен для определения зенитного угла, азимута истинного плоскости наклона оси буровой колонны на забое и угла установки отклонителя в процессе турбинного бурения нефтяных и газовых скважин и передачи полученной информации на поверхность по беспроводному каналу связи.

Твердотельный волновой гироскоп: устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела, на котором оно установлено, относительно инерциальной системы отсчета. Способ возбуждения колебаний в чувствительном элементе ТВГ заключается в том, что для первоначального возбуждения и корректировки колебаний на рабочей и околорабочей частоте чувствительного элемента используются электромагниты, а для поддержания и/или корректировки колебаний на рабочей частоте используют электроды конденсаторов.

Акселерометр: прибор, измеряющий проекцию кажущегося ускорения, разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением.

Сокращения

СП – скважинный прибор

СК – система координат

ТВГ – твердотельный волновой гиродатчик

α – азимут СП

β – зенитный угол СП

γ – угол положения отклонителя

g – ускорение свободного падения

Ω_z - угловая скорость вращения Земли

φ – широта места

$O\xi\eta\zeta$ – географическая СК

$OXYZ$ – связанная с СП СК

a_x, a_y, a_z – проекции вектора g на оси связанной СК: OX, OY и OZ , соответственно

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – проекции вектора Ω_z на оси OX и OY связанной СК, соответственно

ШД – шаговый двигатель

$\Gamma_{\pm x, \pm y}$ – гиродатчик (ТВГ)

A_x – акселерометр, измеряющий компоненты вектора g по осям OX

A_y – акселерометр, измеряющий компоненту вектора g по оси OY

A_z – акселерометр, измеряющий компоненту вектора g по оси OZ

ДТ – датчик температуры

УЧЭ – узел чувствительных элементов

Оглавление

Введение	9
1 Обзор литературы	13
2 Анализ известных принципиальных схем гироскопических инклинометров. Выбор и обоснование расчётного варианта забойного инклинометра.	14
2.1 Вводные положения	14
2.2 Обзор существующих отечественных гироскопических инклинометров	15
2.3 Обзор зарубежных систем	18
2.4 Выбор электрокинематической схемы расчетного варианта	19
3 Принцип действия и алгоритмы обработки информации в гироинклинометре.....	22
3.1 Вывод алгоритмов расчёта параметров инклинометрии	22
3.2 Расчет погрешности определения зенитного угла, азимута плоскости наклонения и угла установки отклонителя.....	26
3.2.1 Основная идея построения численного эксперимента.....	26
3.2.2 Проведение расчетов.....	27
4 Анализ точности определения инклинометрических параметров и выбор чувствительных элементов	31
4.1 Выбор чувствительных элементов инклинометра.	31
4.1.1 Вводные рассуждения.....	31
4.1.2 Обзор ТВГ.....	31
4.1.3 Выбор датчика акселерометра	32
4.2 Разработка требований к электронному блоку скважинного прибора ...	34
4.2.1 Состав и структура блока электроники.....	34
4.2.2 Требования к компонентам, входящим в блок электроники	40

5	Разработка конструкции секции чувствительных элементов скважинного прибора	43
5.1	Общее строение	43
5.2	Обзор микромеханических волновых редукторов	44
5.2.1	Harmonic Drive 13x13x20.5	44
5.2.2	Малогобаритный кинематический волновой редуктор-диод	45
5.2.3	Фирма Darxton	46
5.3	Расчет и конструирование узла разворота платформы с гиродатчиком .	48
5.3.1	Узел разворота платформы с гиродатчиком	48
5.3.2	Расчет пружины	50
5.3.3	Выбор двигателя с редуктором	54
5.3.4	Оптические выключатели	56
5.4	Описание работы прибора	57
6	Вопросы технологии	59
6.1	Определение сборочного состава изделия	59
6.2	Разработка технологического процесса сборки	60
6.3	Оценка сборочной единицы на технологичность	60
7	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	64
7.1	Потенциальные потребители результатов исследования	64
7.2	Технология QuaD	64
7.3	SWOT-анализ	66
7.3.1	Планирование научно-исследовательских работ	70
7.3.2	Разработка графика проведения научного исследования	72
7.3.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	79

7.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ...	84
8	Социальная ответственность	87
8.1	Описание рабочего места.....	87
8.2	Электрическое освещение рабочего места.	88
8.3	Превышение уровней шума.....	90
8.4	Причина профзаболеваний. Меры борьбы с пылью	91
8.5	Пожарная безопасность	92
8.6	Защита в чрезвычайных ситуациях и план ликвидации аварий	94
8.7	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	98
8.8	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	100
	Заключение.....	102
	Список публикаций.....	103
	Список использованных источников	104

Введение

Контроль направления строящейся скважины при турбинном бурении необходимо вести в процессе бурения, без изъятия буровой колонны из скважины с целью повышения скорости бурения и снижения стоимости, за счёт уменьшения спускоподъёмных работ. На данный момент для этих целей применяются магнитометрические забойные инклинометры. Их недостатком является ошибка, связанная с неточными данными о величине магнитного склонения и наклонения в месте расположения инклинометра. Наряду с данной ошибкой существует недостаток магнитометрических систем, связанный с необходимостью удалять скважинный прибор от бурового инструмента. В результате получаемая информация имеет задержку, т.е. определяемые параметры несут информацию об ориентации касательной к оси скважины на существенном расстоянии от забоя, что сказывается на точности и качестве проводки скважин при прохождении непрямолинейных траекторий. Кроме того, применение магнитных инклинометров вынуждает использовать трубы буровой колонны, по крайней мере вблизи инклинометра, из немагнитного материала, которые, как правило, либо дорогие, либо имеют плохие механические характеристики. Так же, скважинный прибор в процессе эксплуатации может совершать вращательные движения, вследствие воздействий вибраций и ударов, поэтому его ориентация в азимуте является неопределенной. Возникает необходимость применения системы ориентации. Использование магнитной системы ориентации в обсаженных скважинах невозможно, поэтому система ориентации должна быть гироскопической.

Исходя из вышеизложенного, имеет смысл создать такую систему, которая могла бы выдавать информацию об ориентации бурового инструмента в пространстве (в том числе положение отклонителя), а также обладать свойством автономного определения азимута плоскости наклонения по отношению к направлению на географический север.

Отличительная особенность гироскопических инклинометров заключается в том, что они в процессе работы для определения азимута

плоскости наклона не используют магнитное поле Земли. Структура, принцип действия, порядок работы каждого гироинклинометра зависят от того, какого типа гироскопические датчики используются в этих приборах. Самая распространенная на сегодняшний день схема гироинклинометра содержит трёхстепенный гироскоп, внешняя ось которого расположена на продольной оси скважинного прибора. В этом случае используется свойство трёхстепенного гироскопа сохранять неизменным в пространстве положение главной оси. Это положение, заранее определяется в процессе начальной выставки, относительно плоскости меридиана и при проведении замеров используется как опорное. Сигнал датчика угла, связанного с внешней осью гироскопа и осью маятникового устройства, устанавливающегося в плоскость наклона, поступает по каротажному кабелю на поверхность, где используется для вычисления азимута плоскости наклона скважины. Такие гироинклинометры позволяют производить измерения в процессе движения скважинного прибора по скважине. Недостатком гироинклинометров с такой схемой является сложность и продолжительность процесса начальной выставки скважинного прибора на поверхности, когда он приводится в искусственно созданную плоскость наклона, азимут которой однозначно определяется вспомогательными инструментальными средствами, функционально не входящими в комплекс гироинклинометра, и показания датчика гироскопа согласуются с этим азимутом. От указанного недостатка помогут избавиться схемы, построенные по принципу аналитического гирокомпасирования. В данном случае основным чувствительным элементом является блок гироскопического датчика угловой скорости, по информации которого, а также блока акселерометров, наземный вычислитель определяет азимут плоскости наклона. Здесь гироскопический датчик выдает информацию об абсолютной угловой скорости движения скважинного прибора в момент проведения измерения, но не является хранителем определенного направления в пространстве. Нахождение положения скважинного прибора относительно плоскости меридиана требует определения компонент вектора угловой

скорости вращения Земли, поэтому всякие движения скважинного прибора относительно Земли в момент проведения измерения недопустимы. По этой причине инклинометры указанного типа могут быть использованы только в режиме точечных измерений. Данный режим имеет сравнительно невысокую производительность, так как время уходит на успокоение колебаний скважинного прибора после его перемещения по скважине и на подготовку гироскопического датчика к измерению в каждой исследуемой точке оси скважины. Самым эффективным является сочетание в гироинклинометре принципов аналитического гирокомпасирования и определения азимута плоскости наклона с помощью трехстепенного гироскопа с внешней осью, расположенной вдоль продольной оси скважинного прибора. При реализации данной задачи возникают трудности построения механической части прибора, а именно: реализация функционирования трёхстепенного гироскопа при эксплуатации прибора, в качестве забойного гироскопического инклинометра. Поэтому задача сводится к построению гироскопического забойного инклинометра с системой аналитического гирокомпасирования, который должен выдерживать большие механические нагрузки с использованием датчиков угловой скорости и акселерометров.

Одной из основных задач, направленных на создание забойного гироскопического инклинометра является выбор наиболее подходящей принципиальной схемы и принципа обработки информации для выбранной схемы.

Главной проблемой, при создании данной инклинометрической системы являются вибрации, удары, перегрузки, которые возникают на забое в процессе бурения. Так же предстоит поиск чувствительных элементов, которые смогут выдержать столь суровые условия эксплуатации.

Объектом исследования является система азимутального гирокомпасирования забойного гироскопического инклинометра.

Методами исследования являются: выбор принципиальной электрокинематической схемы забойного гироскопического инклинометра, расчёт погрешностей выбранных ЧЭ забойного гироскопического инклинометра, расчет параметров системы азимутального гирокомпасирования забойного гироскопического инклинометра, проектировка блока ЧЭ забойного гироскопического инклинометра.

1 Обзор литературы

При написании данной работы были использованы научная и учебно-методическая литература, статьи в периодических изданиях Российской Федерации, нормативно-законодательные акты Российской Федерации. Ниже приведено краткое описание некоторых источников, использованных при написании работы.

Фрейман Э.В. Непрерывный инклинометр с расширенным диапазоном измерения на основе одноосного гироскопического стабилизатора Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Казань 2003. – С. 9–12. В данной диссертации рассматриваются типы скважин, системы координат, параметры скважин и координаты скважины и скважинного прибора. Также, рассмотрены способы определения параметров ориентации скважины и их характеристики. Приведены способы, основанные на измерении магнитного поля Земли такие как : метод непосредственного измерения параметров ориентации магнитным инклинометром, полуаналитический метод измерения параметров ориентации магнитным инклинометром, аналитический метод измерения параметров ориентации магнитным инклинометром.

Исаченко В.А. Инклинометрия скважин. – М.: Недра, 1987. – 216 с. В данной книге описаны технические средства контроля пространственного положения ствола скважин, методическое и математическое обеспечение. Рассмотрено применение ЭВМ для оперативной обработки данных, в том числе и непосредственно на скважине. Изложены вопросы разработки и эксплуатации приборов и систем контроля пространственного положения ствола наклонных скважин. Приведены системы контроля со встроенными ЭВМ.

Баймухамбетов М. А. Взаимосвязь между температурами жидкости на забое и устье добывающих скважин / М. А. Баймухамбетов, Д. А. Аженов // Молодой ученый. — 2014. — №10. — С. 127-130. В данной статье рассматривается связь между температурами на устье и забое добывающих скважин.

2 Анализ известных принципиальных схем гироскопических инклинометров. Выбор и обоснование расчётного варианта забойного инклинометра.

2.1 Вводные положения

На сегодняшний день в мире существует множество инклинометров. Практически во всех современных системах используется аналитический способ определения зенитного и апсидального углов. Это связано с тем, что при нынешнем развитии технологий данный способ является наиболее простым в реализации и более точным по сравнению с маятниковыми (геометрическими) построителями вертикали. Наряду с этими преимуществами также стоит отметить, что при использовании аналитического способа появляется возможность работы системы при движении прибора по скважине. Также необходимо реализовать систему аналитического гироскопирования, как уже было упомянуто во введении. При этом по заданию диапазоны измерения равны: азимута и угла положения отклонителя – от 0 до 360 град., а зенитного угла – от 0 до 100 град. По диапазонам измеряемых параметров можно сделать вывод о достаточном количестве необходимых измеряемых данных для построения аналитической системы ориентации. Так как зенитный угол изменяется от 0 до величины более 90 град., то для его определения аналитическим способом зенитного и апсидального углов необходимо измерять три проекции вектора силы тяжести на оси связанной со скважинным прибором (СП) ортогональной системы координат (СК). А для определения азимута необходимо измерять как минимум две проекции скорости вращения земли (на оси связанной СК, перпендикулярные к продольной оси СП), но в этом случае азимут будет невозможно определить при зенитных углах близких к 90 град., когда СП будет лежать в плоскости горизонта.

2.2 Обзор существующих отечественных гироскопических инклинометров

Для начала необходимо сказать, что гироскопические инклинометры выпускаемые в России и за рубежом не эксплуатируются в качестве забойных инклинометров. Это связано, в основном с тяжелыми условиями эксплуатации. Любой из рассмотренных ниже инклинометров не сможет пережить механические нагрузки класса МСЗ.

Если же проанализировать современное состояние рынка гироинклинометров, можно отметить, что основным направлением разработок являются бесплатформенные инклинометры, имеющие бесспорные преимущества: отсутствие карданова подвеса, малые габариты, малое энергопотребление, надежность, технологичность и т.д.

Как исключение можно привести ОАО «Арзамасское научно-производственное предприятие «Темп-Авиа» (г. Арзамас), которое разработало инклинометр гироскопический непрерывный ИГН 73-100/80, предназначенный для определения в непрерывном режиме азимута и зенитного угла скважины. ИГН 73-100/80 представляет собой одноосный индикаторный гиростабилизатор, который позволяет учесть влияние вращения прибора вокруг оси скважины, возникающее во время его движения.

В качестве чувствительных элементов в ИГН 73-100/80 используются двухканальный управляемый гироскоп со сферическим шарикоподшипниковым подвесом типа D7-03И и два акселерометра АТ-1104. Один канал гироскопа является датчиком системы стабилизации, позволяющей удерживать платформу неподвижной относительно продольной оси инклинометра, другой – датчиком измерителя угловой скорости вокруг оси, перпендикулярной оси стабилизации. Акселерометры, установленные на платформе, измеряют две компоненты кажущегося ускорения [1].

Инклинометр ИГН 73-100/80 находится в серийном производстве, нашел свою «нишу» и применяется в основном для быстрого и оперативного измерения угловых параметров скважин старого фонда (главным образом,

близких к вертикальным) при их аттестации, а таких скважин в настоящее время насчитывается около нескольких десятков тысяч. К сожалению, прибор разработан довольно давно, в связи, с чем на данный момент его элементная база устарела, и обработка сигналов с чувствительных элементов производится аналоговыми методами.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Ижевский механический завод» (ФГУП «ИМЗ») на сегодняшний день заявляет о выпуске двух гироскопических инклинометров (ИГМ-73-120/60 и ИГМ-42-85/60). Гироскопические инклинометры предназначены для измерения в режиме точечного компасирования зенитного угла, азимута, угла установки отклонителя бурильного инструмента. В таблице 1.1 приведены их основные технические характеристики [2].

Таблица 1.1. Сравнение российских инклинометров

	ОАО «Темп-Авиа», Арзамас	ФГУП «ИМЗ», Ижевск	НИИ ПМ Москва	ОАО «Электро-механика», ЦНИИ «Электроприбор»
Название системы	ИГН 73-100/80	ИГМ-73-100/60М; ИГМ 42-85/60	ИГМ-36С	УТИ 42.03
Тип датчиков	Гироскоп D7-03И	МСГ	ДНГ	ДНГ и ММГ
Измеряемые параметры	A(0-360°±1.5) ЗУ (0-70°±0.15)	A(0-360° ±2.0/±3.0) ЗУ (0-180° ±0.1/±0.25)	A(0-360°±2.0) ЗУ (0-60°±0.2)	A(0-360°±1.5) ЗУ (0-180°±0.15)
Габариты, мм	∅73x2500	∅73/42x2150	∅36x2500	∅42x1700
Масса, кг	30	50	20	12
Термобаростойкость °С/Мпа	100°/80	120°/85°/60	80°/60	125°/60
Мощность, Вт	50	100	–	25
Канал связи	кабельный	Кабельный,	–	Кабельный
Режим	Непрерывный	Точечный	Точечный	Точечный, Непрерывный

В НИИ прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова (Москва) был спроектирован ряд гироскопических инклинометров для измерения параметров пробуренных скважин. Необходимо отметить модели

ИГМ-36-80/60 и ИГМ-36С. Многоточечный инклинометр ИГМ 36-80/60, предназначенный для определения зенитного угла и азимута в контрольных точках ствола наклонно направленной скважины, основан на принципе гироскопического компасирования, однако из-за ограничения в размерах поворот гироскопа осуществляется только вокруг продольной оси прибора на угол в пределах (0–180°). Для определения зенитного угла используются два маятниковых акселерометра. Для определения азимута применен один динамически настраиваемый гироскоп (ДНГ), имеющий две оси чувствительности. Все чувствительные элементы также разработаны в НИИ ПМ. В настоящее время функциональные возможности ИГМ-36-80/60 несколько расширились, в частности увеличился диапазон измеряемых зенитных углов, от 1,5 до 85° (вместо от 10 до 60° изначально по техническому заданию), в которых азимут определяется с погрешностью не более 2°.

Прибор ИГМ-36С, как и предыдущие разработки НИИ ПМ, рассчитан на работу только в режиме точечного компасирования, что, по мнению авторов, является основным недостатком ИГМ-36С. Но и в таком режиме не обеспечивается выработка азимута с высокой точностью в горизонтальных скважинах (при зенитных углах более 75 градусов).

Также стоит отметить относительно новую разработку ОАО «Электромеханика» и ЦНИИ «Электроприбор» универсальный гироскопический инклинометр УГИ 42.03. Прибор построен на базе робастного ДНГ, способен работать при температурах до 125°С и давлении до 60 МПа. При этом система реализована в малых габаритах и обеспечивает высокую точность инклинометрической съемки. На данном этапе это единственный на отечественном рынке прибор для непрерывной съемки, построенный на современной элементной базе и готовый к серийному производству.

2.3 Обзор зарубежных систем

В последние годы за рубежом появилось большое количество гироскопических СНС. Производители заявляют о выдающихся характеристиках своих приборов. В основном предлагаются бесплатформенные системы на базе динамически настраиваемых гироскопов. Эта тенденция вызвана высокой технологичностью и меньшей стоимостью таких систем, а также возможностью создания малогабаритных скважинных приборов.

Шведская компания SPT (Stockholm Precision Tools) предлагает гироскопический инклинометр SPT 007/42 как в кабельном, так и в автономном исполнениях. При необходимости сбора данных в реальном времени, производитель рекомендует использовать кабельный вариант в комплекте с наземным прибором для осуществления информационного обмена. Высокая точность сочетается с малыми габаритами, однако информация о виброударных характеристиках этих приборов отсутствует, что не позволяет судить об их устойчивости к механическим воздействиям при эксплуатации в скважинах.

Система Evader производства Sperry Drilling Services (Halliburton) построена на основе двух ДНГ с двумя осями чувствительности и трех одноосных акселерометров. Точностные характеристики инклинометра Evader составляют $\pm 1^\circ$ по углам азимута, зенита и отклонителя. Характеристики заявлены производителем для зенитных углов в диапазоне от 0 до 26° . В системе используются гироскопы, рассчитанные на грубые механические воздействия. При этом система может работать как на кабеле, так и в автономном режимах и устанавливаться в различные части буровой колонны, благодаря своей модульной структуре.

Американская компания Gyrodata выпускает инклинометр для непрерывной съемки, получивший на данный момент наибольшее распространение благодаря удачному сочетанию точностных и эксплуатационных характеристик, а также налаженному серийному выпуску. Прибор построен на базе робастного ДНГ, способен работать при температурах до 150°C и давлении до 70 МПа. При этом система реализована в малых

габаритах и обеспечивает высокую точность инклинометрической съемки, что обуславливает высокую востребованность прибора.

Самым ярким представителем забойных систем навигации на данный момент является инклинометр фирмы «Schlumberger», модель «Power Drive X6 475». Данный инклинометр предназначен: для наклонно-направленного бурения, для бурения сложных 3D скважин и для точной проводки скважин. Особенностью системы является то, что все элементы вращаются. Инклинометр располагается непосредственно над долотом и производит измерение азимута, измерение уровня вибраций и ударных нагрузок на забое. Система содержит ориентированный гироскоп над долотом для геонавигации. Прибор работает в режиме автоматического удержания зенитного угла. Передача данных происходит в режиме реального времени через телесистему. Минимальный диаметр колонны, для которого предназначена данная телесистема составляет 139,7мм. длина прибора 4,55м. Инклинометр запущен в серийное производство и активно используется за рубежом и на территории России. Информация про типы датчиков и схему построения прибора скрыта, но данная телесистема на своём примере показывает, что реально создать забойный гироскопический инклинометр.

2.4 Выбор электрокинематической схемы расчетного варианта

Выбор схемы необходимо провести из возможных схем построения системы ориентации, которая будет работать в многоточечном режиме, и обеспечивать аналитическое гироскопирование при любом положении СП. Многоточечный режим обусловлен тем, что система будет работать в те моменты времени, когда производится остановка бурения. Система должна быть достаточно быстродействующей, чтобы время на проведение измерений не превышало четырех минут. Данное ограничение вызвано необходимостью продолжать бурение через этот промежуток времени, чтобы не произошло прихвата бурового инструмента.

Рассмотрим все возможные варианты электрокинематических схем, которые можно предложить для применения к данной системе. Пойдем от простого к сложному. Во-первых, акселерометры остаются на корпусе, три гиродатчика, каждый расположен на поворотной платформе с приводом и ограничителями поворота на 180 градусов. Реализовать разворот платформы для гиродатчиков, оси чувствительности которых перпендикулярны продольной оси СП, значительно легче, чем для третьего гиродатчика. Так как третий гиродатчик необходим лишь для измерения азимута в горизонтальных скважинах, то было решено для начала исключить третий гиродатчик. Во-вторых, можно использовать единую платформу для двух оставшихся датчиков. В-третьих, можно заставить платформу поворачиваться по 90 градусов четыре раза в одну сторону и затем в другую. Тем самым можно будет исключить из схемы и второй гиродатчик. В-четвертых, можно разместить вместо двух акселерометров на корпусе один акселерометр на платформе. А лучше всего и второй акселерометр установить на платформе, что снизит отклонение от перпендикулярности между осями чувствительности акселерометров. Для поворота платформы строго на 90 градусов проще всего использовать шаговый двигатель. Для точного арретирования платформы по 90 градусов потребуется сельсин-датчик высокой точности. Так же, платформа с расположенными на ней ДУС и акселерометром будет не малых габаритов. Хотя ограничений по габаритам не ставилось, есть более рациональное решение использования пространства. Вместо поворотной платформы можно датчики разместить в отдельном блоке и разворачивать блок целиком. Следует отметить, что обеспечить разворот блока по 90 градусов с высокой точностью возможно, но экономически не выгодно и менее надёжно, чем обеспечение разворота по 180градусов с использованием упоров.

В связи с вышеизложенным напрашивается вариант электрокинематической схемы, в состав которой входят три датчика акселерометра и три датчика абсолютной угловой скорости. Все датчики

акселерометров должны быть жестко закреплены на корпусе прибора, а их оси чувствительности должны быть ортогональны между собой. Одна из осей чувствительности должна быть параллельна продольной оси прибора. Точно так же направлены оси чувствительности датчиков угловых скоростей. Два датчика угловой скорости, чьи оси перпендикулярны оси скважинного прибора, располагаются в блоке чувствительных элементов, а третий датчик располагается на отдельной платформе. Сразу необходимо сказать, что датчики должны иметь превосходные точностные характеристики наряду с малыми габаритными размерами. К сожалению, на сегодняшний день в мире подобные датчики абсолютной угловой скорости, либо имеют большие габариты, либо наряду с достаточно большой систематической составляющей обладают такой характеристикой погрешности, как дрейф нуля от пуска к пуску.

В случаях, когда необходимо убрать влияния систематической составляющей ошибки, не имея информации о ее величине при каждом пуске, применяют способ разворота оси чувствительности на 180 градусов. Т.е. проводятся измерения компоненты угловой скорости вращения Земли, которая проецируется на ось чувствительности сначала с положительным знаком, а затем с отрицательным. Исходя из этого, датчики угловых скоростей располагаются на поворотных платформах.

3 Принцип действия и алгоритмы обработки информации в гироскопе.

3.1 Вывод алгоритмов расчёта параметров инклинометрии

Для выводов формул и алгоритмов было необходимо составить поясняющую схему, которая изображена на рисунке 2.1.

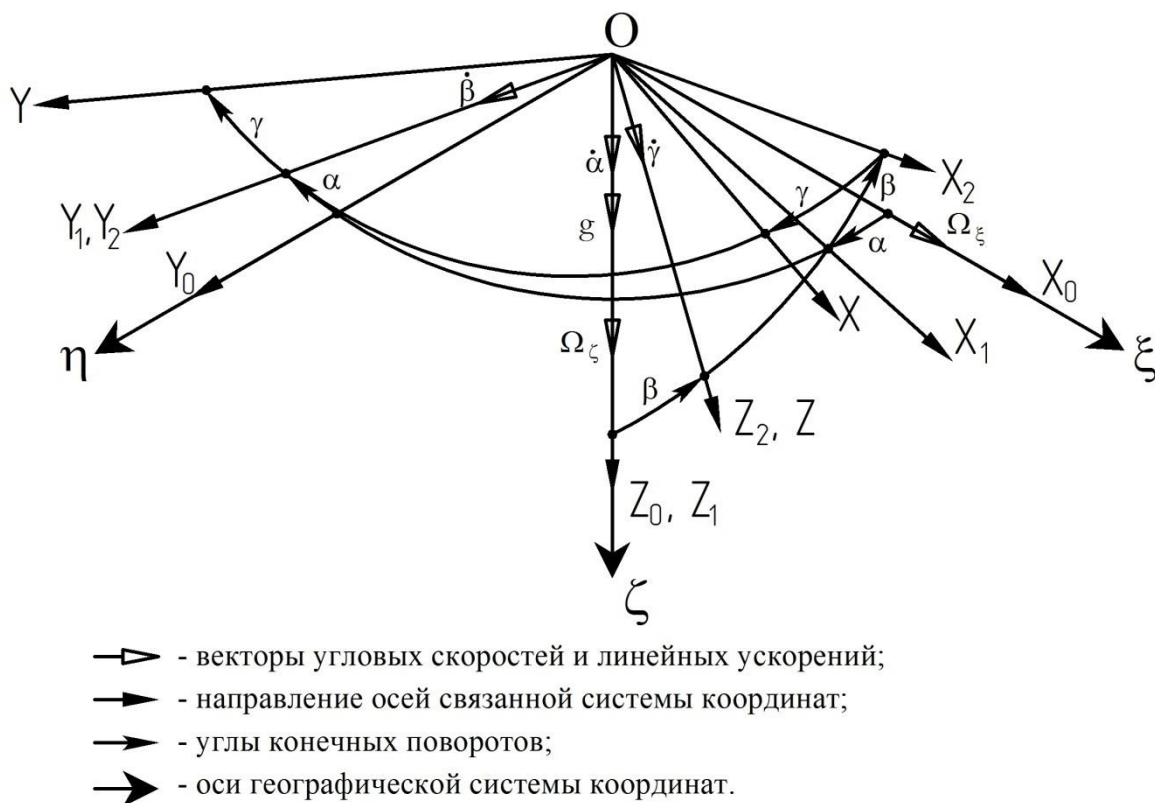


Рисунок 2.1. Схема отображения параметров ориентации, связанной СК в географической СК, выраженных в виде углов Эйлера конечных поворотов

На рисунке введены следующие обозначения:

$O\xi\eta\zeta$ – горизонтальная, географически ориентированная СК;

$OX_0Y_0Z_0$ – связанная СК в начальном положении (совпадает с географической СК);

$OX_1Y_1Z_1$ – связанная СК после первого мысленного поворота;

$OX_2Y_2Z_2$ – связанная СК после второго мысленного поворота;

$OXYZ$ – связанная СК после третьего мысленного поворота, связанная СК с СП; $\alpha, \dot{\alpha}$ – угол первого поворота (соответствует азимуту) и его производная; $\beta, \dot{\beta}$ – угол второго поворота (соответствует зенитному углу) и его

производная; $\gamma, \dot{\gamma}$ - угол третьего поворота (соответствует углу положения отклонителя) и его производная; g – вектор ускорения свободного падения; Ω_ξ, Ω_ζ - проекции скорости вращения Земли на оси ξ и ζ географической СК соответственно.

Для получения формул проекций опорных векторов на оси чувствительности необходимо после каждого мысленного поворота переносить проекции опорных векторов на новые оси. В конечном итоге, после третьего поворота, будут получены необходимые уравнения [8]. Ниже представлено пошаговое получение этих формул.

- Для акселерометров:

$$\left. \begin{aligned} a_{x_0} &= 0; \\ a_{y_0} &= 0; \\ a_{z_0} &= g; \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{x_1} &= 0; \\ a_{y_1} &= 0; \\ a_{z_1} &= g; \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{x_2} &= -g \cdot \sin \beta; \\ a_{y_2} &= 0; \\ a_{z_2} &= g \cdot \cos \beta; \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

$$\left. \begin{aligned} a_x &= -g \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma; \\ a_y &= g \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma; \\ a_z &= g \cdot \cos \beta. \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

- Для гиродатчиков:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{x_0} &= \Omega_\xi; \\ \omega_{y_0} &= 0; \\ \omega_{z_0} &= \Omega_\zeta; \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

$$\left. \begin{aligned} \omega_{x_1} &= \Omega_\xi \cdot \cos \alpha; \\ \omega_{y_1} &= -\Omega_\xi \cdot \sin \alpha; \\ \omega_{z_1} &= \Omega_\zeta; \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

$$\left. \begin{aligned} \omega_{x_2} &= \Omega_\xi \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta - \Omega_\zeta \cdot \sin \beta; \\ \omega_{y_2} &= -\Omega_\xi \cdot \sin \alpha; \\ \omega_{z_2} &= \Omega_\zeta \cdot \cos \beta + \Omega_\xi \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta; \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

$$\left. \begin{aligned} \omega_x &= (\Omega_\xi \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta - \Omega_\zeta \cdot \sin \beta) \cdot \cos \gamma - \Omega_\xi \cdot \sin \alpha \cdot \sin \gamma; \\ \omega_y &= -\Omega_\xi \cdot \sin \alpha \cdot \cos \gamma - (\Omega_\xi \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta - \Omega_\zeta \cdot \sin \beta) \cdot \sin \gamma; \\ \omega_z &= \Omega_\zeta \cdot \cos \beta + \Omega_\xi \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta. \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

Формулы (3.1) – (3.3) представляют собой уравнения проекций ускорения свободного падения на оси вспомогательных СК. Формулы (3.5) – (3.7) – уравнения проекций угловой скорости вращения Земли на оси вспомогательных СК. Но для расчета нас интересуют формулы уравнений проекций векторов g и Ω_3 на оси связанной системы координат, т.е. системы после третьего конечного поворота на угол γ , а это формулы (3.4) и (3.8).

Следующим этапом будет составление из формул (3.4) и (3.8) алгоритмов для вычисления углов α , β , γ при известных значениях проекций a_x , a_y , a_z , ω_x , ω_y , ω_z . На этом этапе необходимо учесть некоторые особенности тех функций, которые получатся. Например, если выразить значение угла через *Arcsin* или *Arccos* то при значениях угла, где функция *sin* или *cos* приближается к максимуму небольшое отклонение значения функции может привести к существенной ошибке вычисленного угла. Поэтому целесообразней использовать выражения, в которых искомый угол представлен функцией *arctg* или *arcctg*. После того, как будут составлены выражения необходимо предусмотреть способ определения квадранта угла, так как тригонометрические функции выдают лишь главное значение угла.

В связи с выше перечисленными особенностями предложены следующие варианты алгоритмов вычисления:

- 1) Вычисление зенитного угла β .

Из формул (3.4) получаем выражение для главного значения угла после возведения в квадрат всех трех выражений с последующим почленным сложением первых двух и деления этой суммы на третье:

$$\begin{aligned} \frac{a_x^2 + a_y^2}{a_z^2} &= \frac{(-g \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma)^2 + (g \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma)^2}{(g \cdot \cos \beta)^2} \\ &= \frac{g^2 \cdot \sin^2 \beta \cdot (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma)}{g^2 \cdot \cos^2 \beta} = \operatorname{tg}^2 \beta; \end{aligned}$$

$$\beta^* = \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{a_x^2 + a_y^2}{a_z^2}} \right). \quad (3.9)$$

Для нахождения действительного значения угла β , необходимо по формулам приведения к главному значению добавить значение δ , которое определяется в зависимости от квадранта. В данном случае квадрант можно определить, сравнив a_z с нулем:

если $a_z > 0$ – I квадрант, $\delta = 0$;

если $a_z < 0$ – II квадрант, $\delta = 180^\circ$.

Тогда зенитный угол будет равен:

$$\beta = \beta^* + \delta.$$

2) Вычисление угла положения отклонителя γ :

Из формул (3.4) получаем выражение для главного значения угла после деления первого выражения на второе:

$$\frac{a_x}{a_y} = \frac{-g \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma}{g \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma} = -\frac{1}{\operatorname{tg} \gamma};$$

$$\gamma^* = -\operatorname{arctg} \left(\frac{a_y}{a_x} \right), \quad (3.10)$$

Как и в первом случае для нахождения действительного значения угла γ необходимо определить квадрант и выбрать соответствующее значение δ . Так как, $\sin \beta$ всегда положительный, это можно сделать путем сравнения a_x , a_y с нулем:

если $a_x < 0$, $a_y > 0$ – I квадрант, $\delta = 0$;

если $a_x > 0$, $a_y > 0$ – II квадрант, $\delta = 180^\circ$;

если $a_x > 0$, $a_y < 0$ – III квадрант, $\delta = 180^\circ$;

если $a_x < 0$, $a_y < 0$ – IV квадрант, $\delta = 360^\circ$;

$$\gamma = \gamma^* + \delta.$$

3.2 Расчет погрешности определения зенитного угла, азимута плоскости наклона и угла установки отклонителя

3.2.1 Основная идея построения численного эксперимента

Для расчета погрешности гироскопического инклинометра было решено применить метод численных экспериментов. Этот метод заключается в том, чтобы при известном положении скважинного прибора в географической СК (заданном азимутом α , зенитным β и апсидальным γ углами) вычислить значения проекций вектора g на оси чувствительности акселерометров и проекций вектора Ω_z на оси чувствительности гиродатчиков, с последующим прибавлением максимального отклонения применяемых датчиков к полученным значениям и переходом по выведенным алгоритмам обратно к значениям углов α , β , γ . Для проведения численного эксперимента необходимо вывести формулы перехода от заданных α , β , γ к значениям проекций a_x , a_y , a_z , ω_x , ω_y , а также алгоритмы перехода от проекций a_x , a_y , a_z , ω_x , ω_y к углам α , β , γ . При этом для получения правдивых значений необходимо пользоваться теми алгоритмами, что будут использоваться в самом приборе.

Как уже было решено выше для расчета погрешности будет применен метод численных экспериментов. Для проведения расчетов было решено создать в программе Microsoft Excel таблицу, которая бы проводила все необходимые расчеты для различных значений α , β , γ , а также для различных (максимальных) погрешностей используемых датчиков. При этом для начала зададимся нулевыми погрешностями датчиков, а затем изменим погрешности до максимального значения у всех датчика, затем у одного изменим знак погрешности, затем у другого, и так далее перебирая различные вариации погрешностей датчиков. При выборе чувствительных элементов уже были заданы значения тех погрешностей, на основе которых будет проведен расчет и в случае неудовлетворительных результатов, значения погрешностей будут выбираться заново, как и чувствительные элементы.

3.2.2 Проведение расчетов

Для проведения расчетов были приняты следующие значения углов α , β , γ :

$$\alpha - (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330)^\circ;$$

$$\beta - (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100)^\circ;$$

$$\gamma - (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330)^\circ.$$

Для проведения численного эксперимента необходимо перебрать все возможные сочетания этих углов, т.о. количество расчетных значений будет определяться как произведение количества вариантов каждого из углов, и оно будет равно: $12 \cdot 12 \cdot 16 = 2304$ (значения).

Ниже предоставлен пример расчета, выполненного по формулам, приведенным выше: (2.4), (2.8), (2.9), (2.10), (2.11), (2.13), (2.14), (2.16), (2.17).

Сначала необходимо задаться конкретным положением прибора в пространстве, а именно выбрать α , β , γ из списка выше. Примем азимут $\alpha = 120^\circ$; зенитный угол $\beta = 50^\circ$ и угол положения отклонителя $\gamma = 60^\circ$.

Затем необходимо рассчитать константы Ω_ξ, Ω_ζ по формулам (2.11), приняв широту φ , соответствующую нашему положению (56° с.ш.) и $\Omega_3 = 15,04$ град/ч.

$$\begin{cases} \Omega_\xi = \Omega_3 \cdot \cos \varphi = 15,04 \cdot \cos 56 = 15,04 \cdot 0,56 = 8,41 \left(\frac{\text{град}}{\text{ч}} \right); \\ \Omega_\zeta = -\Omega_3 \cdot \sin \varphi = -15,04 \cdot \sin 56 = -15,04 \cdot 0,83 = -12,47 \left(\frac{\text{град}}{\text{ч}} \right); \end{cases}$$

Далее по формулам (2.4) и (2.8) определим $a_x, a_y, a_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z$, приняв $g = 9,81 \text{ м/с}^2$:

$$\begin{aligned} a_x &= -g \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma = -9,81 \cdot \sin 50 \cdot \cos 60 = -9,81 \cdot 0,766 \cdot 0,5 \\ &= -3,7576 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right); \end{aligned}$$

$$a_y = g \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma = 9,81 \cdot \sin 50 \cdot \sin 60 = 9,81 \cdot 0,766 \cdot 0,866 = 6,5079 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right);$$

$$a_z = g \cdot \cos \beta = 9,81 \cdot \cos 50 = 9,81 \cdot 0,643 = 6,3053 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right);$$

$$\begin{aligned}\omega_x &= (\Omega_\xi \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta - \Omega_\zeta \cdot \sin \beta) \cdot \cos \gamma - \Omega_\xi \cdot \sin \alpha \cdot \sin \gamma = \\ &= (8,41 \cdot \cos 120 \cdot \cos 50 + 12,47 \cdot \sin 50) \cdot \cos 60 - 8,41 \cdot \sin 120 \\ &\cdot \sin 60 = (-2,7 + 9,55) \cdot 0,5 - 6,31 = 3,425 - 6,31 \\ &= -2,885 \left(\frac{\text{град}}{\text{ч}} \right);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega_y &= -\Omega_\xi \cdot \sin \alpha \cdot \cos \gamma - (\Omega_\xi \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta - \Omega_\zeta \cdot \sin \beta) \cdot \sin \gamma = \\ &= -8,41 \cdot \sin 120 \cdot \cos 60 - (8,41 \cdot \cos 120 \cdot \cos 50 + 12,47 \cdot \sin 50) \\ &\cdot \sin 60 = -3,64 - 2,7 + 9,55 \cdot 0,866 = -3,64 - 6,85 \cdot 0,866 \\ &= -9,572 \left(\frac{\text{град}}{\text{ч}} \right).\end{aligned}$$

После вычисления проекций вектора g на оси OX , OY и OZ , а также проекций вектора Ω_3 на оси OX , OY нам необходимо симитировать показания датчиков, соответствующие сумме значения проекции и максимальной погрешности датчика. Максимальная погрешность датчика ТВГ-1БА будет равна значению максимальной случайной составляющей дрейфа нуля, которая равна 0,1 град/ч. Максимальная погрешность датчика акселерометра А-16 также равна максимальной составляющей дрейфа нуля – 4×10^{-4} м/с². Т.о. симитированные показания датчиков будут равны:

$$a_x = -3,7576 + 0,0004 = -3,7572;$$

$$a_y = 6,5079 + 0,0004 = 6,5083;$$

$$a_z = 6,3053 + 0,0004 = 6,3057;$$

$$\omega_x = -2,885 + 0,1 = -2,785;$$

$$\omega_y = -9,572 + 0,1 = -9,472.$$

Следующим этапом необходимо посчитать значения параметров инклинометрии, которые будет выдавать прибор на пульт оператора. При этом, стоит отметить, что ошибка за счет обработки сигнала считается пренебрежимо малой и не учитывается при проведении численного эксперимента. Расчеты главного значения углов α , β , γ будут проводиться по формулам (2.9), (2.10), (2.13), (2.14), (2.16) и (2.17). После чего, по выведенным ранее алгоритмам будут определены квадранты для каждого угла и получены действительные значения по формулам приведения.

$$\begin{aligned}
1) \beta^* &= \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{a_x^2 + a_y^2}{a_z^2}} \right) = \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(-3,7572)^2 + 6,5083^2}{6,3057^2}} \right) = \\
&= \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{14,11655 + 42,35797}{39,76185}} \right) = \operatorname{arctg} (\sqrt{1,42032}) = \\
&= \operatorname{arctg} (1,19177) = 50,0004 \text{ (град)};
\end{aligned}$$

Т.к. $a_z > 0$, то зенитный угол находится в первом квадранте и равен главному значению угла: $\beta = \beta^* + 0 = 50,0004$ (град).

$$\begin{aligned}
2) \gamma^* &= -\operatorname{arctg} \left(\frac{a_y}{a_x} \right) = -\operatorname{arctg} \left(\frac{6,5083}{-3,7572} \right) = \operatorname{arctg} (1,73222) \\
&= 60,0024 \text{ (град)};
\end{aligned}$$

Т.к. $a_x < 0$, а $a_y > 0$, то угол положения отклонителя находится в первом квадранте и равен главному значению угла: $\gamma = \gamma^* + 0 = 60,0024$ (град).

3)

$$A = -\Omega_\xi \cdot \sin \gamma = -8,41 \cdot \sin 60,0024 = -8,41 \cdot 0,866 = -7,28345;$$

$$\begin{aligned}
B &= \Omega_\xi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \beta = 8,41 \cdot \cos 60,0024 \cdot \cos 50,0004 \\
&= 8,41 \cdot 0,49996 \cdot 0,642782 = 2,7027;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E &= \omega_x + \Omega_\zeta \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma = -2,785 - 12,47 \cdot \sin 50,0004 \cdot \cos 60,0024 = \\
&= -2,785 - 12,47 \cdot 0,76605 \cdot 0,49996 = -2,785 - 4,77597 \\
&= -7,56097;
\end{aligned}$$

$$C = -\Omega_\xi \cdot \cos \gamma = -8,41 \cdot \cos 60,0024 = -8,41 \cdot 0,49996 = -4,20466;$$

$$\begin{aligned}
D &= -\Omega_\xi \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma = -8,41 \cdot \cos 50,0004 \cdot \sin 60,0024 \\
&= -8,41 \cdot 0,642782 \cdot 0,866 = -4,68142;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F &= \omega_y - \Omega_\zeta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma = -9,472 + 12,47 \cdot \sin 50,0004 \cdot \sin 60,0024 = \\
&= -9,472 + 12,47 \cdot 0,76605 \cdot 0,866 = -9,472 + 8,2726 = -1,1994;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sin \alpha &= \frac{D \cdot E - B \cdot F}{A \cdot D - C \cdot B} = \frac{(-4,68142) \cdot (-7,56097) - 2,7027 \cdot (-1,1994)}{(-7,28345) \cdot (-4,68142) - (-4,20466) \cdot 2,7027} = \\
&= \frac{35,39608 + 3,24162}{34,09689 + 11,36393} = \frac{38,6377}{45,46082} = 0,84991;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \frac{A \cdot F - C \cdot E}{A \cdot D - C \cdot B} = \frac{(-7,28345) \cdot (-1,1994) - (-4,20466) \cdot (-7,56097)}{(-7,28345) \cdot (-4,68142) - (-4,20466) \cdot 2,7027} \\ &= \frac{8,73577 - 31,7913}{34,09689 + 11,36393} = \frac{-23,05553}{45,46082} = -0,50715;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha^* &= \arctg \left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \right) = \arctg \left(\frac{0,84991}{-0,50715} \right) = -\arctg (1,67586) \\ &= -59,175 \text{ (град)};\end{aligned}$$

Т.к. $\sin \alpha > 0$, а $\cos \alpha < 0$, то угол соответствующий азимуту лежит во втором квадранте и будет вычисляться по формуле приведения:

$$\alpha = \alpha^* + \delta = -59,175 + 180 = 120,825 \text{ (град)}.$$

После того как вычисление значений углов α , β , γ завершено, рассчитывается погрешность определения азимута, зенитного угла и угла положения отклонителя. Это производится путем вычисления разницы между начальными данными и вычисленными:

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0 = 120,825 - 120 = 0,825 \text{ (град)};$$

$$\Delta\beta = \beta - \beta_0 = 50,0004 - 50 = 0,0004 \text{ (град)};$$

$$\Delta\gamma = \gamma - \gamma_0 = 60,0024 - 60 = 0,0024 \text{ (град)}.$$

После того, как получены значения погрешности, необходимо убедиться, что они не выходят за пределы допустимых значений погрешностей для каждого из углов. В случае неудовлетворения результатов необходимо будет рассмотреть возможность применения других, более точных датчиков.

4 Анализ точности определения инклинометрических параметров и выбор чувствительных элементов

4.1 Выбор чувствительных элементов инклинометра.

4.1.1 Вводные рассуждения

Исходя из выбранной электрокинематической схемы необходимо применить в инклинометре три датчика акселерометра и три датчика угловой скорости относящихся к ТВГ.

На сегодняшний день развитие рынка датчиков акселерометров дает разработчикам систем навигации и ориентации возможность выбрать подходящий датчик навигационного класса, имеющий малые габариты и выдерживающий достаточно высокие механические нагрузки. Поэтому поиск чувствительных элементов было решено начать с поиска достаточно малогабаритного и точного ТВГ.

4.1.2 Обзор ТВГ

Поиски достаточно малогабаритного и точного ДУСа привели к трем основным разработчикам ТВГ в России, а именно:

- ОАО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро»;
- ОАО «Ангстрем»;
- ЗАО «Научно-производственное предприятие «Медикон».

На сайтах этих компаний были найдены некоторые технические характеристики, выпускаемой продукции [3, 4, 5]. Ниже приведена сводная таблица основных характеристик (важных для нашего случая) выпускаемых ими ТВГ.

Таблица 4.1. Сводная таблица основных характеристик выпускаемых ТВГ навигационного класса в России

Наименование предприятия изготовителя	ОАО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро»		ОАО «Ангстрем»	ЗАО «НПП «Медикон»
Наименование ТВГ				
Технические характеристики	ТВГ-3	ТВГ-4	ТВГ-1БА	ТВГ
Случайный дрейф	0,1 /ч	0,003 – 0,005 /ч	< 0,1 /ч	0,1 /ч
Систематический дрейф	±3,0 /ч	±3,0 /ч	< 15,0 /ч	н/д
Габаритные размеры	Ø65 x 92 мм	Ø65 x 64 мм	Ø29,4 x 25 мм	Ø40 x 40 мм
Вибропрочность	н/д*	н/д	3g, 1 – 2000 Гц, 1 ч/ось	60g, 5 – 200 Гц
Удароустойчивость	н/д	н/д	300g, 2 –5мс	60g, 5мс

*н/д – нет данных по данной характеристике

Проанализировав технические характеристики найденных ТВГ, можно сказать, что датчики ТВГ-3 и ТВГ-4 не подходят для данного технического задания, т.к. их наружный диаметр наибольший. Выбирая из датчиков ТВГ-1БА и ТВГ ЗАО «НПП «Медикон», также выбор определялся в первую очередь по габаритным размерам, так как в разрабатываемом инклинометре необходимо реализовать и платформу разворота. Таким образом выбор ДУСа пал на ТВГ-1БА производства ОАО «Ангстрем».

4.1.3 Выбор датчика акселерометра

Так как на сегодняшний день выпускают достаточное количество высокоточных датчиков, то было решено основными критериями выбора сделать габариты и дрейф нуля. В таблице 5.2 представлены несколько

акселерометров, которые имеют подходящие для поставленных целей габариты (не более габаритов ТВГ) [6, 7].

Таблица 4.2. Выбор датчиков акселерометра

Производитель	ОАО АНПП «Темп-Авиа»		ОАО «Раменский приборостроительный завод»		
Наименование, тип	АК5-100, капиллярный	АТ1104, маятниковый компенс. типа	А-15	А-16	А-17
Габаритные размеры	26,8x23,5x21,5	Ø29×23,2	24x24x20	24x24x20	24x24x20
Дрейф нулевого сигнала	(в течении 15 мин. В одном запуске) $\pm 5 \cdot 10^{-4} \text{ g}$	$\pm 1 \cdot 10^{-3} \text{ g}$	$\pm 4 \cdot 10^{-5} \text{ g}$	$\pm 4 \cdot 10^{-5} \text{ g}$	$\pm 5 \cdot 10^{-5} \text{ g}$
Виброударопрочность	-	-	15g, 15 мс	50g, 1-5 мс	16g, 30 мс
Диапазон рабочих температур	-55...+60	-50...+120	-60...+75	-40...+75	-60...+75

На данном этапе выбор датчиков приостанавливается для проведения расчета погрешности, на основании которого можно будет выбрать датчик с допустимой максимальной погрешностью из предоставленного списка в таблице 3.2. Также желательно, чтобы максимальная рабочая температура датчика не была ниже максимальной рабочей температуры выбранного ТВГ, равной +85°C. Так как АТ1104 удовлетворяет последнему пожеланию, а также то, что он имеет самый большой дрейф нуля, то при расчете изначально будет задано именно его значение погрешности.

4.2 Разработка требований к электронному блоку скважинного прибора

4.2.1 Состав и структура блока электроники

В состав скважинного прибора будут входить следующие функциональные компоненты: генератор напряжения, аккумуляторная батарея, вторичный источник питания, шаговый двигатель поворота, три датчика акселерометра, три датчика ТВГ и датчик температуры блока ТВГ, а также электроника, реализующая на основе этих датчиков измерители кажущегося ускорения, абсолютной угловой скорости, температуры, и электронные части, реализующие оцифровку показаний измерителей, предварительный вычислитель для обработки показаний измерителя абсолютной угловой скорости для ликвидации систематической составляющей погрешности и погрешность от пуска к пуску, формирование и передачу цифровых кодов на поверхность по беспроводному электромагнитному каналу связи.

Все выше перечисленные функциональные элементы можно изобразить структурной блок-схемой, представленной на рисунке 3.1

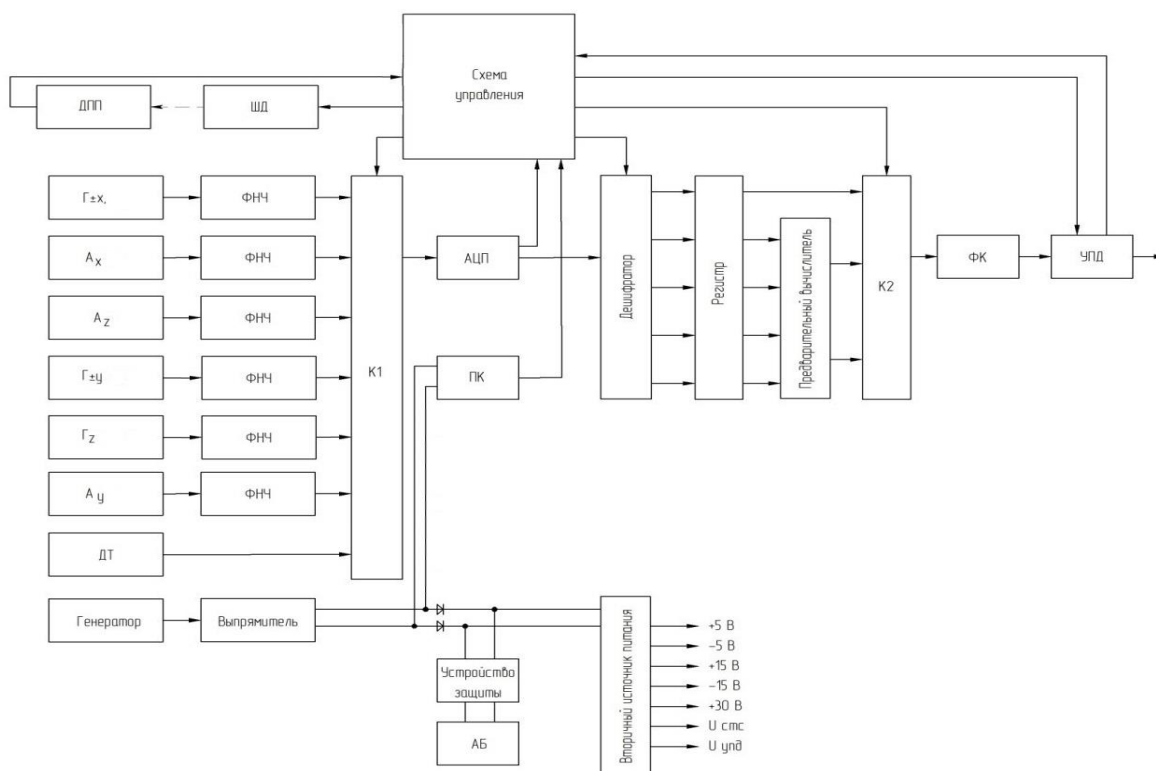


Рисунок 4.1. Схема электронной части СП структурная

На рисунке 4.1 введены следующие обозначения: ДПП – датчик положения платформы; ШД – шаговый двигатель; $\Gamma_{\pm x, \pm y, \pm z}$ – гиродатчики (ТВГ); $A_{x,y,z}$ – акселерометры, измеряющие компоненты вектора g по осям OX, OY, OZ; ФНЧ – фильтр низких частот; К1 – коммутатор аналоговых сигналов; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ПК – преобразователь кодов; АБ – аккумуляторная батарея; К2 – коммутатор цифровых сигналов в параллельном коде; ФК – формирователь кодов; УПД – устройство передачи данных.

Описать работу данной схемы можно следующим образом. В процессе бурения в скважину нагнетается буровая жидкость, необходимая для вращения шарошек бура и выноса шлама на поверхность. В составе инклинометра имеется генератор с турбиной, который питает вторичный источник питания и заряжает аккумуляторную батарею во время нагнетания жидкости. При необходимости провести измерение подачу жидкости приостанавливают. Напряжение на вторичный источник питания подается с аккумуляторной батареи, подключенной через устройство защиты, которое защищает батарею от глубокого разряда при длительных остановках бурения и от перезаряда в процессе нагнетания жидкости. После того, как напряжение на генераторе становится равным нулю преобразователь кодов ПК начинает отсчет времени и по прошествии 2-3 десятков секунд подает команду на проведение измерения в схему управления, которая запрашивает датчики акселерометры и ТВГ. На разгон ТВГ требуется время до 1 секунды, так что необходимо выдержать это время до начала съема и оцифровки информации. Далее схема управления подает сигнал для записи сигнала ТВГ1, соответствующего положительной компоненты ω_x , таким же образом делается для оставшихся ТВГ. После производится съем, оцифровка и запись сигнала с акселерометров. Далее платформу необходимо повернуть. Поворот осуществляется поэтапно.

Во избежание дребезга платформы и возникновения вследствие этого помех в полезном сигнале во время съема информации, а также исключения влияния ударных нагрузок в процессе эксплуатации скважинного прибора

важно обеспечить арретирование поворотной платформы относительно корпуса.

Определенные ограничения на плавность хода поворотной платформы накладывает принцип работы гиродатчика. В последнем используется синхронный двигатель, который боится резких поворотов статора вокруг оси вращения. При резких поворотах возможно выпадение ротора из синхронизма, что сведет все усилия по борьбе с ошибкой «от пуска к пуску» на нет.

Данная задача имеет большое число вариантов решения. Возможно строить систему с использованием аналоговых или цифровых исполнительных органов и датчиков, строить систему по замкнутому или разомкнутому принципу, а также использовать комбинацию различных принципов и датчиков.

Рассмотрим варианты с использованием классической системы автоматического регулирования (САР). Из них выберем те, которые потенциально могут обеспечить необходимую точность разворота.

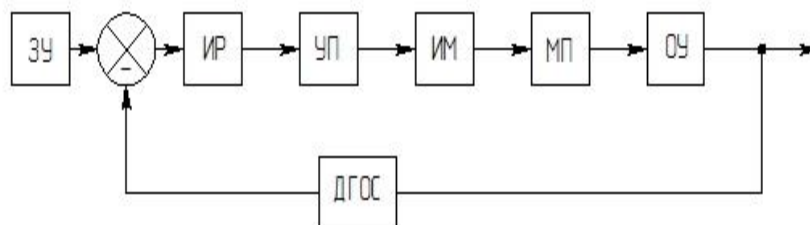


Рисунок 4.2. Классическая схема САР с обратной связью

На рисунке обозначено: ЗУ – задающее устройство; ИР – измеритель рассогласования; УП – усилитель преобразователь; ИМ – исполнительный механизм; МП – механическая передача; ОУ – объект управления; ДГОС – датчик главной обратной связи.

В качестве датчика обратной связи можно использовать различные устройства. Первый вариант - синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ). При определенных схемах включения с применением СКВТ можно добиться точности позиционирования в 2-4', что уже не

соответствует требованиям. Резкие ограничения на диаметр узла заставляет использовать миниатюрные СКВТ, имеющие заметно меньшую точность.

Вторым вариантом датчика может быть использование цифрового энкодера – преобразователя угол-код. Анализ элементной базы показал, что в мире производятся энкодеры с наружным диаметром менее 55 мм с количеством шагов 5000 на оборот, что в переводе на минуты дает погрешность в 4,32'. Можно применить мультипликатор на входной оси энкодера, тем самым увеличивая количество шагов на оборот, следовательно, и увеличивая точность позиционирования до уровня 10-20". По данному критерию такой тип датчика с применением мультипликатора подходит, но появляется проблема неоднозначности положения платформы, т.к. один и тот же код на выходе энкодера будет соответствовать нескольким значениям угла поворота платформы относительно корпуса. Возникает необходимость введения дополнительных разрядов, построением датчика, формирующего старшие разряды кода, что позволит учитывать количество оборотов энкодера. Данная схема накладывает дополнительные требования на двигатель и редуктор. В частности, момент нагрузки, приведенной к валу двигателя, значительно увеличивается, что, в свою очередь, увеличит габаритные размеры двигателя. Редуктор должен иметь две выходные оси, одна из которых связана с энкодером и датчиком дополнительных разрядов, другая - с поворотной платформой.

Вариантом разомкнутой системы автоматического регулирования является применение шагового двигателя с волновым редуктором, который позволяет добиться точности позиционирования в 1-2', при условии большого передаточного отношения редуктора. Но системы с использованием шагового двигателя относятся к системам накапливающего типа. Возникновение помехи в сигнале управления двигателем приведет к тому, что положение платформы будет неверным. Эта ошибка будет сохраняться и накапливаться пропорционально помехам. Отключение питания микропроцессора в процессе переориентации вообще может привести к тому, что система выйдет из строя и

в следующем пуске платформа будет находиться совершенно в другом положении. А, как говорилось ранее, для работы системы ориентации необходимо соблюдать ортогональность-параллельность осей чувствительности всех датчиков.

В рассмотренных схемах погрешность угла поворота определяется разрешающей способностью электромеханических датчиков, поэтому следует обратить внимание на механические системы, позволяющие выполнять разворот платформы с очень высокой точностью.

Применение упоров на корпусе, которые будут задавать угловое положение платформы возможно в двух исполнениях. Первое, когда поступательное движение винтовой передачи или электромагнита передается через пространственный кулачок на платформу, которая разворачивается в нужное положение до второго упора на корпусе. Обратный ход до первого упора обеспечивает упругий элемент. Данная схема не удовлетворяет требованиям по плавности хода. В момент подхода платформы к упору она будет испытывать ударную нагрузку, которая может вывести гиродатчик из синхронизма.

Для обеспечения плавности хода платформы необходимо выбрать привод с возможностью регулировки скорости вращения. Удобнее всего управлять шаговым двигателем, тем более в настоящее время данные двигатели имеют наибольшую надежность в сравнении с другими типами двигателей.

По результатам сравнительного анализа всех вариантов было решено использовать систему с механическими упорами на корпусе. Идея состоит в том, чтобы исполнительный орган связать с платформой через упругий элемент. Для перевода платформы в одно крайнее положение включается двигатель, который через упругий элемент вращает платформу к этому крайнему положению. Вращение платформы прекращается после того, как платформа ляжет на упор. Однако, вращение двигателя продолжается, упругий элемент деформируется, обеспечивая надежное поджатие платформы к упору. После того, как будет обеспечено достаточное усилие поджатия, двигатель

отключается. Двигатель с редуктором обратного хода не имеет, поэтому устройство в таком состоянии может находиться сколь угодно долго. Точно так же работает устройство при переводе в другое крайнее положение. [7]

После того как завершен поворот и арретирование. Аналогично производится съем, оцифровка и запись сигналов ТВГ. Таким образом производится запись цифровых кодов всех необходимых показаний датчиков для дальнейшей предварительной обработки и передачи информации на поверхность в регистры памяти P1 – P8. Так как запись в регистры производится поочередно, то можно сказать, в каком регистре какая информация записана:

P1 – $+\omega_x$; P2 – $+a_x$; P3 – $+\omega_y$; P4 – $+a_y$; P5 – $-\omega_x$; P6 – $+a_z$; P7 – $-\omega_y$; P8 – ω_z .

Для предварительной обработки используется информация с регистров нечетного номера (P1, P3, P5 и P7). Обработка заключается в определении среднего значения между модулями чисел, записанных в P1, P5 и среднего значения – P3, P7. При этом к получившимся числам необходимо добавить знаки соответствующий числам, записанным в P1 и P3.

После того как необходимые значения были занесены в регистры процесс измерения считается завершенным и питание с датчиков снимается. Схема ждет команды с преобразователя кодов ПК о появлении напряжения на выходе генератора. Появление напряжения будет являться следствием возобновления бурения и свидетельствовать о том, что можно осуществлять передачу полученных данных по электрическому или гидравлическому дистанционному каналу связи. Осуществлять передачу только при запущенном генераторе было решено с целью уменьшения требуемой емкости батарей и, соответственно, снижения их габаритов и веса. Кроме того, при низких скоростях передачи, было бы невозможно успеть передать весь пакет информации за время остановки бурения.

Для реализации передачи информации на поверхность необходимо включить в состав схемы: формирователь кодов (ФК), который будет преобразовывать параллельный код в последовательный, вводить проверку на

четность и выдавать выходные импульсы с частотой передачи; устройство передачи данных (УПД), которое будет формировать по приходу импульса на вход выходной высокоамплитудный электрический импульс в буровой колонне (относительно заземленного электрода). При необходимости изменить скорость передачи надо будет подать сигнал через генератор и ПК в схему управления, которая сформирует соответствующую команду для ФК. Также для осуществления корректной поочередной передачи информации цифровые коды значений передаваемых величин подаются на входы цифрового коммутатора К2. Когда схема получает разрешение на передачу, коммутатор К2 активирует первый вход и передает соответствующее значение на ФК, а далее на УПД. После завершения работы УПД по передаче цифрового слова, это устройство «сообщает» об этом в схему управления, и она переключает К2 на второй вход и подает сигнал о готовности на УПД.

4.2.2 Требования к компонентам, входящим в блок электроники

К каждому функциональному элементу можно предъявить ряд требований, которые необходимо будет учесть при дальнейшем проектировании уже конкретных схем.

Стоит сразу отметить что скважинная часть аппаратуры будет работать в тяжелых условиях окружающей среды, таких как высокая температура до $+120^{\circ}\text{C}$ и высокий уровень вибраций с частотой 10-300 Гц и максимальным ускорением до 300 м/с^2 , а также ударов при числе ударов в минуту 10-50, максимальном ускорении 150 м/с^2 и длительности удара 6-12 мс.

Система разработана для гидравлического и электро-магнитного канала связи передаи данных, выбор передатчика осуществляется по месту.

Формирователь кода должен преобразовывать получаемый параллельный цифровой код в последовательный цифровой код в виде, удобном для передачи по беспроводному каналу на поверхность.

Дешифратор выполняет функцию распределения оцифрованной информации с аналого-цифрового преобразователя (АЦП) по регистрам, для дальнейшей работы с данными. Управление осуществляется путем изменения адреса выхода дешифратора, которое связано с сигналом о завершении работы АЦП и может быть реализовано с помощью счетчика.

Разрешающий сигнал на АЦП должен подаваться с некоторой задержкой после завершения первого включения АЦП в одном положении, с другой стороны разрешающий сигнал первого включения должен подаваться на АЦП после полного завершения изменения положения платформы, т.о. разрешающий сигнал должен зависеть от состояния АЦП и состояния датчика положения платформы.

Переключатели – Он должен переключать сигналы, подаваемые на АЦП в зависимости от идущего цикла (или от количества оцифрованных данных).

Генератор должен вырабатывать однофазное переменное напряжение, служащее после выпрямления для питания прибора и зарядки аккумуляторных батарей.

Аккумуляторная батарея должна быть рассчитана на потребление мощности не менее 20 Вт/ч. Устройство защиты УЗ предназначено для защиты аккумулятора от перезаряда, а также от глубокого разряда при непредвиденных длительных остановках бурения.

Преобразователь кодов ПК, расположенный в СП должен включать в свой состав кварцевый генератор и реализовывать подачу определенных сигналов на схему управления. Сигналы должны свидетельствовать о подаче определенной команды (остановок и запусков генератора через определенные промежутки времени) и служить для переключения режима работы и изменения частоты передачи. Режимов может быть несколько: 1) режим непосредственного проведения замера; 2) режим передачи данных после очередного замера; 3) режим передачи данных последнего замера (повторно). Для изменения частоты достаточно двух команд, одна – увеличивает частоту

передачи, другая – уменьшает. Все команды должны быть достаточно легкие для реализации, а также легко запоминаться.

Вторичный источник питания, должен обеспечивать питание всех элементов схемы, рассчитан на 500 Вт и иметь следующий набор напряжений, представленный в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Набор напряжения питания прибора

Напряжение, В	Использование
+5	Напряжение питания цифровых микросхем
-5	
+15	Напряжение питания операционных усилителей и датчиков акселерометров
-15	
+42	Напряжение питания ТВГ
$U_{упд}$	Напряжение опорное для формирования высокоамплитудных импульсов

Наземная часть должна содержать приемник электрических сигналов, а также преобразователь кодов в необходимый вид для передачи на электронно-вычислительную машину (ЭВМ). ЭВМ должна быть мобильной (типа ноутбук) и с помощью определенного программного обеспечения реализовывать обработку первичных данных, поступающих от СП для получения данных инклинометрии, вывода их на экран монитора и при необходимости на принтер.

5 Разработка конструкции секции чувствительных элементов скважинного прибора

5.1 Общее строение

Узел чувствительных элементов (УЧЭ), как уже было решено, должен состоять из поворотной платформы, с размещенными на ней датчиками по осям X и Y, редуктора и двигателя, для поворота блока и платформы. Платформа должна осуществлять поворот внутри корпуса, а сам корпус должен быть жестко соединен с корпусом остальной части прибора.

Для свободного вращения платформы внутри корпуса необходимо установить две шарикоподшипниковые опоры с наибольшим, по возможности, диаметром внутреннего кольца. Это позволит обеспечить более высокую соосность оси вращения платформы и продольной оси цилиндрического сосуда, а так же, большое количество маленьких шариков в подшипнике более устойчиво к вибрациям и ударам, чем меньшее количество больших шариков подшипника.

Для реализации грубого поворота платформы было решено применить шаговый двигатель. При выборе двигателя основное внимание уделялось его габаритным размерам и диапазону рабочих температур. В итоге был выбран двигатель немецкой фирмы «Phytron-Elektronik GmbH» VSS 19.200.0.6-VGPL22-HV-R с наружным диаметром 22 мм и длиной корпуса 57 мм [9]. Для плавного поворота платформы необходимо вводить сложный закон управления двигателем. Это возможно изменением частоты вращения двигателя. При подходе к упору платформа должна обладать минимальной скоростью. Отключение двигателя после достаточного усилия поджатия платформы к упору происходит по оптическим датчикам, расположенных в стойке, перекрытием шторкой на втулке. Датчики акселерометра крепятся в корпусе по посадочному диаметру четырьмя винтами, взаимная ортогональность осей чувствительности датчиков обеспечивается инструментально.

5.2 Обзор микромеханических волновых редукторов

Волновые редукторы - особый класс механических редукторов. Благодаря гармонической передаче эти редукторы имеют исключительную жесткость на кручение, большое время наработки на отказ, большой передаваемый момент, и могут считаться практически безлюфтовыми. Они незаменимы там, где требуется высокая точность - в поворотных столах и осях с ЧПУ, локаторной технике, медицинском, сканирующем оборудовании. Исходя их выше сказанного, было решено использовать волновой редуктор для передачи крутящего момента с электродвигателя к платформе.

5.2.1 Harmonic Drive 13x13x20.5

Компания Harmonic Drive обновила серию малогабаритных волновых редукторов CSF. К ранее выпущенным четырём типоразмерам теперь добавлен новый типоразмер 3 (13x13 мм) - самый маленький в данной серии.

Теперь серия состоит из пяти типоразмеров, для каждого из которых доступны передаточные числа от 30 до 100. Кроме того, добавлено несколько вариантов исполнения с отличиями в конструкции входных и выходных элементов. Исполнения отличаются по виду выходного элемента (вал или фланец), входного элемента (вал или втулка), а также по конструкции крепёжного фланца.

В конструкции редукторов серии CFS применён компактный выходной подшипник с четырёхточечным контактом, что обеспечивает высокую жёсткость на изгиб. Входной вал также имеет подшипник. Исполнение с входной втулкой предназначено для непосредственной установки редуктора на двигатель. Специальная конструкция деталей редуктора вместе с укороченными вариантами подшипников позволила получить особенно компактный редуктор.

По сравнению с ранее разработанной серией PMG волновые редукторы CSF имеют более высокую производительность, благодаря улучшенной конструкции использованной волновой передачи.



Рисунок 5.1 волновой редуктор Harmonic Drive 13x13x20.5

Параметры редукторов CFS:

Выходной момент в длительном режиме – от 0.07 до 11 Нм

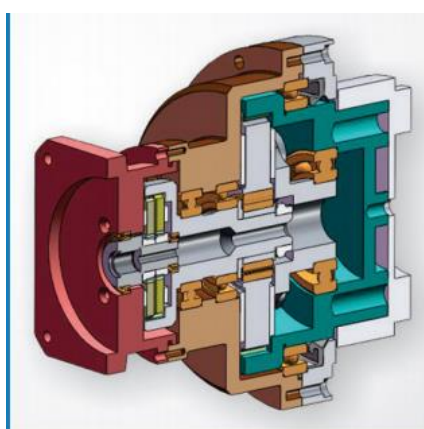
Скорость в длительном режиме – до 6500 об./мин.

Максимальный кратковременный момент – от 0.09 до 28 Нм

Габариты от 13x13x20.5 до 51x51x70

5.2.2 Малогабаритный кинематический волновой редуктор-диод

Принципиально новая модифицированная конструкция кинематического волнового редуктора, обладающего свойствами «диодности». Область применения малогабаритного кинематического волнового редуктора: различные устройства, в которых для фиксации механизма в позиции останова при выключенном приводе требуется установка тормоза.



3D модель редуктора-диода
в разрезе

Рисунок 5.2 Волновой редуктор-диод

Технические характеристики:

Номинальный момент на выход (Nme)	8.
Пусковой момент (Nm)	30.
Номинальная входная скорость	200.
Максимальная входная скорость (pm)	3000.
Ресурс (часы)	≥ 1000.
Диапазон рабочих температур (°C)	-40...+120.

Главные преимущества

Большое передаточное отношение в одной ступени.

Малые габаритные размеры и масса редуктора.

5.2.3 Фирма Darxton

Редуктор волновой безлюфтовый LHS-20 50:1

Передаточное отношение	50:1
Люфт	<0.001°
Номинальный момент	24 Нм
Крутящий момент, max.	53 Нм
Наработка на отказ	15000 часов
Скорость	3500 об/мин
Скорость, пик.	6000 об/мин

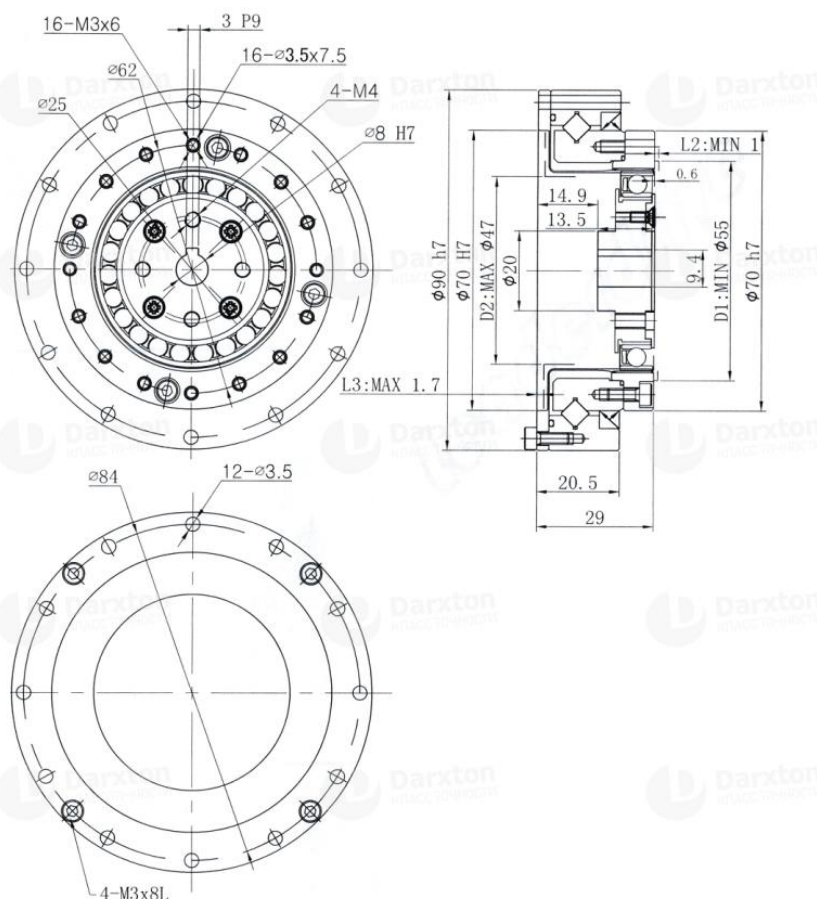


Рисунок 5.3 Редуктор волновой безлюфтовый LHS-20

Самым подходящим редуктором по габаритным размерам, для проектирования забойного гироскопического инклинометра является редуктор фирмы Harmonic Drive с габаритами 13x13x20.5мм. Так же в данной работе не рассматривались планетарные передачи, червячные и зубчатые, т.к. на данный момент на рынке самыми вибро-ударопрочными являются волновые редуктора.

В итоге было решено оставить редуктор, которые поставляется вместе с выбранным двигателем, данный редуктор является волновым, располагается в одном корпусе с двигателем и сможет обеспечить требуемые характеристики для разворота платформы.

5.3 Расчет и конструирование узла разворота платформы с гиродатчиком

5.3.1 Узел разворота платформы с гиродатчиком

Разработка конструкции секции чувствительных элементов начиналась с разработки конструкции платформы, на которой закреплены ТВГ. В ходе обзора датчиков был найден блок фирмы «Медикон», представленный на рисунке 5.4. Было принято решение взять за основу данный блок ТВГ, изменив конструкцию самой платформы для крепления в разрабатываемом приборе.

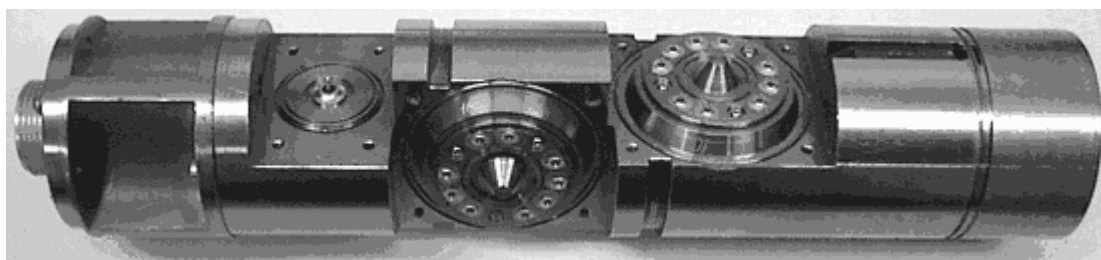


Рисунок 5.4 Платформа с ТВГ

Так как платформа должна поворачиваться относительно корпуса на 180° , в ней предусмотрены посадочные диаметры под подшипники на самой платформе и крышке. Жесткие требования по соосности гиродатчика с корпусом делают невозможным применение шарикоподшипниковых опор только с одной стороны, вследствие перекоса оси вращения относительно корпуса. Поэтому подшипники должны быть установлены по обе стороны. Из конструктивных соображений были выбраны подшипники сверхлегкой серии 7000804 ГОСТ 520-89. Большим преимуществом такого типа подшипников является их большой диаметр в сочетании с малой высотой, что при большом количестве шариков дает меньший перекос оси вращения, в сравнении с другими типами подшипников. Основные параметры подшипника 7000804 ГОСТ 520-89 приведены в таблице 5.5, рисунок 5.2 [8, с. 20].

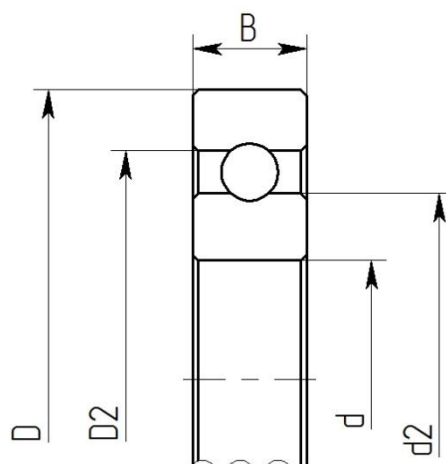


Рисунок 5.5 Размеры подшипника 7000804 ГОСТ 520-89

Таблица 5.1- Основные параметры подшипника 7000804 ГОСТ 520-89

Размеры кольца				
d , мм	D , мм	$D2$, мм	$d2$, мм	B , мм
45	55	51,7	48.7	5

Исходя из большого температурного диапазона, подшипники имеют посадку с небольшим зазором. Осевой люфт в опорах подвеса очевидно не должен быть больше чем люфт у подшипников. Люфт выбирается подбором прокладки поз. 26 выполненной из материала Л60 ГОСТ 15527-70. Набор прокладок должен быть толщиной от 0.05 до 1 мм. С одной стороны подшипник наружным кольцом садиться в корпус поз. 7, с другой в крышку поз. 9. Смазка подшипников консистентная - ЦИАТИМ -221С ВТУ НП18-58 в объёме трёх шариков подшипника [8, с.42].

Известно большое количество схем механических упоров. Из конструктивных соображений было принято решение выбрать упоры в виде упорных винтов, закрепляемых после регулировки гайками. Гайка и винт изготавливаются из материала БрБ2.5 ГОСТ 18175-78.

5.3.2 Расчет пружины

Как говорилось ранее, для обеспечения постоянного поджатия платформы к корпусу во время измерений связь платформы с исполнительным органом осуществляется через упругий элемент поз.28.

Упругий элемент (пружину) возможно выполнить в двух исполнениях, первый – в виде плоской пружины. Второй - в виде спирали Архимеда. При рассмотрении обоих вариантов важной характеристикой является угол деформации упругого элемента. На рисунке 5.6 приведена сравнительная характеристика углов деформации φ плоской пружины и спирали. Точка в 90° соответствует моменту подхода платформы к упору. Так как исполнительный орган продолжает вращение, то упругий элемент деформируется до обеспечения необходимого момента поджатия платформы к упору, соответствующего углу $\alpha 1$, далее двигатель отключается.

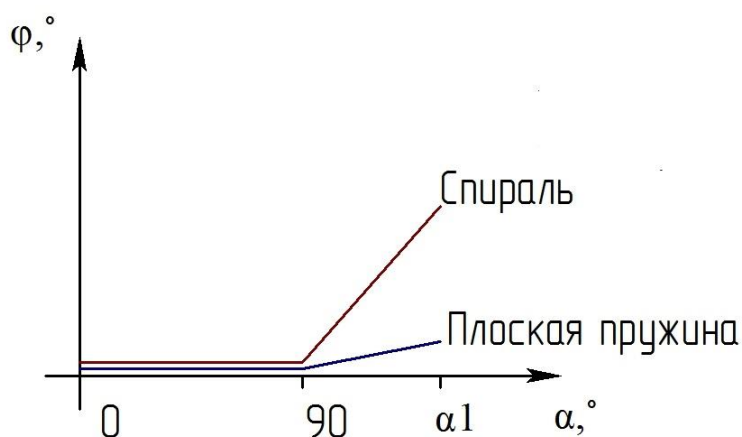


Рисунок 5.6 Сравнительная характеристика угла деформации φ упругого элемента от угла поворота платформы α .

Как видно, для обеспечения одинакового момента поджатия угол деформации спирали значительно больше угла деформации плоской пружины. Тем более при малых диаметрах конструкции плоская пружина не обеспечит большого угла деформации, что в свою очередь предъявляет очень высокие требования к точности концевых выключателей двигателя.

Большими преимуществами применения пружины в виде спирали Архимеда является её большой угол деформации и удобство использования в

конструкциях с малым диаметром. В переходной втулке имеется углубление для расположения пружины. Спираль также играет роль муфты и позволяет передавать вращение с выходного вала редуктора на платформу даже при наличии смещения осей и их перекосов.

Момент, развиваемый пружиной, зависящий от угла закрутки, определяется согласно зависимости [9, с.68]

$$M = \frac{E \cdot b \cdot \varphi \cdot h^3}{12 \cdot L}, \quad (5.1)$$

где M – момент, развиваемый пружиной, Н·м;

E – модуль упругости, Па;

b – ширина спирали, м;

φ – угол закрутки спирали, рад;

h – толщина пружины, м;

L – длина пружины, м.

Длину пружины можно вычислить исходя из выражения для определения длины дуги Архимедовой спирали [10, с.780]:

$$L_i = \frac{a}{4 \cdot \pi} \cdot \left(\varphi_i \cdot \sqrt{1 + \varphi_i^2} \right) + \ln \left(\sqrt{1 + \varphi_i^2} \right), \quad (5.2)$$

где L_i – длина дуги Архимедовой спирали, м;

a – смещение точки по лучу при повороте на один оборот, м;

φ_i – угол до которого вычисляется длина дуги, рад.

Искомая длина спирали определяется как разность между длиной дуги до точки 2, в месте крепления наружного кольца спирали и длиной до точки 1 в месте крепления внутреннего кольца (рисунок 2.5).

$$L = L_1 - L_2 \quad (5.3)$$

Смещение точки по лучу при повороте на один оборот определяется как

$$a = \frac{R}{n}, \quad (5.4)$$

где R – внешний радиус спирали, м;

n – Количество оборотов спирали (для рисунка 5.7).

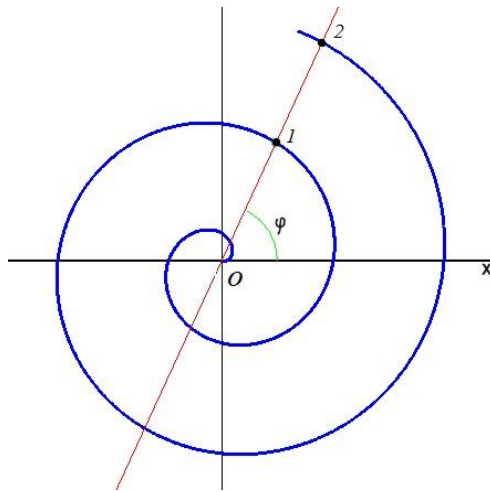


Рисунок 5.7 Архимедова спираль

Внешний радиус спирали R задается равным 8 мм, количество оборотов спирали n задается равным 3 исходя из конструктивных соображений.

Следовательно

$$a = \frac{0,10}{3} = 0.00333 \text{ м.}$$

Согласно рекомендациям, приведенным в [11, с.256] внутренний радиус r спирали берется как:

$$r = \frac{R}{3} = \frac{0,10}{3} = 0.00333 \text{ м.} \quad (5.5)$$

Определяется угол, через который спираль будет иметь радиус r до точки 1:

$$\varphi_1 = \frac{r \cdot 2\pi}{a} = \frac{R/3 \cdot 2\pi}{R/3} = 2\pi. \quad (5.6)$$

Угол φ_2 до точки 2 находится как:

$$\varphi_2 = 2\pi \cdot n = 6\pi. \quad (5.7)$$

Определяются длины дуг спирали L_1 и L_2 до точек 1 и 2 соответственно по формуле 2.2:

$$L_1 = \frac{0.00333}{4 \cdot \pi} \cdot \left(2\pi \cdot \sqrt{1 + 2\pi^2} \right) + \ln \left(\sqrt{1 + 2\pi^2} \right) = 0.018 \text{ м;}$$

$$L_2 = \frac{0.00333}{4 \cdot \pi} \cdot \left(6\pi \cdot \sqrt{1 + 6\pi^2} \right) + \ln \left(\sqrt{1 + 6\pi^2} \right) = 0.137 \text{ м.}$$

Искомая длина L пружины определяется по формуле 2.3:

$$L = 0.137 - 0.018 = 0.109 \text{ м.}$$

В качестве материала выбрана бериллиевая бронза БрБ2.5 ГОСТ 18175-78, предназначенная для использования в изготовлении пружин и ответственных деталей. Этот материал обладает высоким модулем упругости E , который равен $12 \cdot 10^{10}$ Па, сравнимый только со сталями. Заданное усилие поджатия в 4 Н будет обеспечено крутящим моментом в пределах 0.09-0.1 Н·м. Ширина пружины b должна быть не более 5 мм из конструктивных соображений. Угол закрутки пружины φ принимается равным $\pi/6$. Методом подбора толщины ленты h из известных стандартных прокатов был подобран момент, развиваемый пружиной по формуле 2.1, получаемый при толщине ленты h в 0.65 мм:

$$M = \frac{12 \cdot 10^6 \cdot 0.005 \cdot (\pi/6) \cdot (0.65 \cdot 10^{-3})^3}{12 \cdot 0.067} = 0.094 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

В результате рассмотрения различных способов крепления спиральной пружины поз. 28, приведенных в [12, с.61] было принято решение внутренний конец спирали закрепить свободно в пазу втулки поз. 22, другой конец жестко связать с крышкой поз. 8 с помощью заклепки поз. 21 (рисунок 5.8).

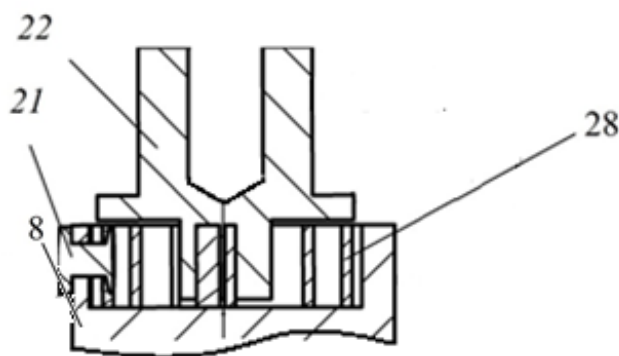


Рисунок 5.8 Крепление спиральной пружины

5.3.3 Выбор двигателя с редуктором

В качестве исполнительного органа, вращающего платформу с гиродатчиком, было принято решение применить шаговый двигатель, как наиболее удобный по управлению.

ее удобный по управлению.

Расчет двигателя начинается с определения момента нагрузки на валу редуктора, представляющего собой момент трения в шарикоподшипниках. Различают момент сил трения в шарикоподшипниках на момента на преодоление сил сопротивления при перекатывании шариков из состояния покоя и момента сил трения между сепаратором и шариками во время движения. В радиальных однорядных шарикоподшипниках при малых скоростях вращения моментом трения между сепаратором и шариками во время движения можно пренебречь. Следовательно, момент трения определяют по формуле [13, с.110]

$$M_{\text{тпш}} = 1.22 \cdot k \cdot F_H \left(\frac{D_s}{d_s} + 1 \right), \quad (5.8)$$

где $k = 0.01 \cdot 10^{-3}$ – коэффициент трения качения, м [6, с.12];

F_H – осевая нагрузка на шарикоподшипник, Н;

D_s – диаметр до центров шариков, м;

$d_s = 0.002$ м – диаметр шариков из таблицы 2.1.

Поскольку скважинный прибор будет находиться преимущественно в вертикальных скважинах, осевая нагрузка F_H на шарикоподшипник определяется массой платформы с гиродатчиком. Расчетная масса платформы с гиродатчиком вычисленная с помощью T-Flex составляет 0.5 кг, следовательно, осевая нагрузка F_H приблизительно равна 2 Н.

Диаметр D_s до центра шариков находится из таблицы 2.1 как:

$$D_s = \frac{D2 + d2}{2} = \frac{27.7 + 24.7}{2} \cdot 10^{-3} = 0.026 \text{ м.} \quad (5.9)$$

Рассчитывается момент трения

$$M_{\text{тпш}} = 1.22 \cdot 0.01 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \left(\frac{0.026}{0.002} + 1 \right) = 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Поскольку заданный момент поджатия платформы к упору на корпусе величиной 0.1 Н·м во много раз больше момента трения подшипниках, то последним пренебрегаем.

Необходимо также учитывать закон перемещения тела связанного с исполнительным органом через упругий элемент при наличии сухого трения. Очевидно, что при включении двигателя, в момент трогания платформы, спираль будет деформироваться до тех пор, пока не преодолется момент сил сухого трения подшипников $M_{\text{тпш}}$. Угол, на который деформируется спираль, исходя из момента трения в подшипниках, выражается из формулы 2.1:

$$\varphi_3 = \frac{M_{\text{тпш}} \cdot 12 \cdot L \cdot 180}{\pi \cdot E \cdot b \cdot h^3} = \frac{2.5 \cdot 10^{-4} \cdot 12 \cdot 0.067 \cdot 180}{\pi \cdot 12 \cdot 10^{10} \cdot 0.005 \cdot 0.00065} = 0.1^\circ. \quad (5.10)$$

Так как трение покоя меньше трения скольжения то характер движения платформы будет носить колебательный характер в пределах 0.1°. Эта колебательность сгладится вязким трением в подшипниках и не повлияет на работу синхронного двигателя гиродатчика.

Для плавного поворота платформы необходимо вводить сложный закон управления двигателем. Это возможно изменением частоты вращения двигателя. При подходе к упору платформа должна обладать минимальной скоростью. Отключение двигателя после достаточного усилия поджатия платформы к упору происходит по оптическим датчикам, расположенных в стойке, перекрытием шторкой на втулке. Схема включения двигателя приведена на рисунке 5.9.

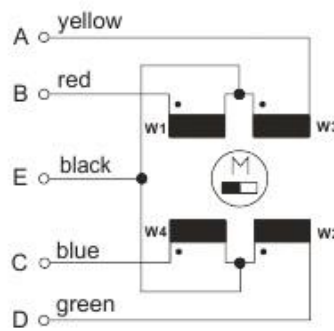


Рисунок 5.9 Схема включения двигателя

5.3.4 Оптические выключатели

Анализ элементной базы показал, что оптический датчик, рассчитанный для работы при максимальной температуре $+120^{\circ}$ возможно строить на светодиоде SE1450-002L и фотодиоде SD1420-002L в отдельных корпусах [15]. Диоды работают в инфракрасном диапазоне, садятся на эпоксидный клей Этал 1450 в стойку. На рисунке 2.10 стойка показана в разрезе.

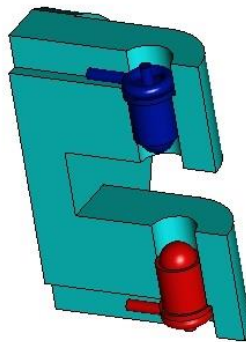


Рисунок 5.10 Стойка с оптопарой

Общий вид светодиода SE1450-002L и фотодиода SD1420-002L приведен на рисунке 5.10. Эксплуатационные характеристики светодиода SE1450-002L приведены в таблице 5.2, фотодиода SD1420-002L – в таблице 5.3.

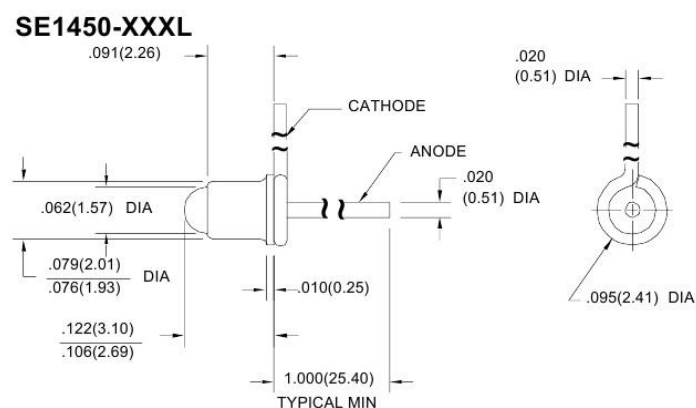


Рисунок 5.10 Общий вид светодиода SE1450-002L
и фотодиода SD1420-002L

Таблица 5.2 Эксплуатационные характеристики светодиода SE1450-002L

Параметр	Величина
Прямое падение напряжения, В	1.6
Выходная мощность, мВт	0.35
Длина волны, нм	935
Температурный диапазон, °С	-55...+125
Угол ориентации луча, °	24

Таблица 5.3 Эксплуатационные характеристики фотодиода SD1420-002L

Параметр	Величина
Световой ток, мкА	5
Темновой ток, нА	5
Температурный диапазон, °С	-55...+125
Угол ориентации луча, °	24

5.4 Описание работы прибора

В момент, когда буровой раствор перестаёт подаваться в буровую колонну, напряжение с генератора становится равным нулю. В данном приборе

использован принцип двойного гирокомпасирования. Изначально производится съём показателей с датчиков ТВГ в одном положении платформы, затем платформа разворачивается на 180 градусов и снова происходит съём информации. После чего берётся среднее значение по модулю от замеров, всё это делается для уменьшения погрешности смещения нуля. С датчиков, закреплённых на корпусе жёстко съём информации происходит один раз. После произведения замеров, информация обрабатывается и передаётся на поверхность.

6 Вопросы технологии

Технологическая подготовка производства является продолжением работ по проектированию изделия. Она представляет собой совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства, комплекс научных, проектно-конструкторских, технологических, организационных и хозяйственных работ по запуску новых изделий в производство или освоению новых технологий.

Технологическая подготовка производства начинается с проверки чертежей отдельных деталей и сборочных единиц в обеспечении их максимальной технологичности и заключается в проектировании рациональных и прогрессивных способов изготовления изделий, обеспечении точности технологических маршрутов при максимальном использовании оборудования и производственных площадей.

Целью данного раздела ВКР является определение сборочного состава забойного гироскопического инклинометра, разработка технологического процесса сборки прибора, разработка технологического процесса изготовления консольного крепления, выбор оборудования, оснастки, приспособлений, вспомогательных материалов и инструментов. Произведена оценка технологичности забойного гироскопического инклинометра как сборочной единицы и детали - основание. Оформлены карты технологического процесса сборки и механической обработки корпуса.

6.1 Определение сборочного состава изделия

Система вибро- и ударозащиты забойного гироскопического инклинометра состоит из двух виброизоляторов типа ДКА-32-0,8/30-01, защищающих блок ЧЭ от вибраций по осям ОХп, ОУп, ОZп, а так же от поперечных и продольных ударов. Система торсионов, изготовленных из стали 45ХН2МФА-Ш, работающих на изгиб при скручивающем ударе. В Системе вибро- и ударозащиты имеются и предохранительные кольца, которые

рассчитаны на защиту блока ЧЭ от абсолютно упругого удара с корпусом при экстремальных перегрузках, до 1000 единиц.

Центр масс находится в центре блока ЧЭ. Сборочный состав блока ЧЭ не рассматривается, т.к. не является целью данной работы.

6.2 Разработка технологического процесса сборки

В качестве базовой детали выбираем корпус поз.4. Подразумевается, что блок ЧЭ поз.2 идет в сборе с крышкой блока ЧЭ поз.4 и системой торсионов поз.5. Далее на блок ЧЭ поз.2 одеваются в пазы предохранительные кольца поз.3, затем сшиваются стальной проволокой. Блок ЧЭ поз.2 вставляется в корпус поз.1. В упоры торсионов поз.8 вклеиваются вкладыши поз.9. В корпус поз.1 с обеих сторон вставляются упоры торсионов поз.8. и ввинчиваются в корпус поз.1, с помощью винтов с потайными головками. В крышку блока ЧЭ поз.4 ввинчивается виброизолятор поз.6. На виброизолятор поз.6 и, одновременно, в корпус поз.1 ввинчивается крышка корпуса поз.7 до упора. В технологическую выемку на крышке корпуса поз.7 накручивается контр.гайка. Через технологическое отверстие на крышке корпуса поз.7 выводится шлейф с разъёмным соединением. Все резьбовые соединения посадить на герметик «Трибопласт-6». Данный узел заходит по направляющим в блок электроники и крепится с помощью 7 винтов со спец.головками.

6.3 Оценка сборочной единицы на технологичность

Технологичность конструкции оценивается количественными характеристиками, называемыми показателями технологичности. Расчетные показатели технологичности сравнивают с базовыми показателями технологичности. Конструкция считается технологичной, если значения показателей технологичности соответствуют или превосходят значения базовых показателей.

1. Коэффициент точности обработки:

$$K_{m.o.} = 1 - \frac{D_{m.ч}}{D} = 0,675$$

где $D_{m.ч}$ – число точных деталей по 7 качеству и точнее,
 D – общее число деталей

2. Коэффициент прогрессивности формообразования:

$$K_{\phi} = \frac{D_{np}}{D} = \frac{0}{8} = 0$$

где D_{np} – число деталей, полученных прогрессивными формообразованиями (литье, штамповка, прессование пластмасс в пресс-формы)

Поз.2

3. Коэффициент сложности обработки:

$$K_{c.o} = 1 - \frac{D_m}{D} = 1 - \frac{5}{8} = 0,375$$

где D_m – число деталей, требующих обработки со снятием стружки

Поз.5

4. Коэффициент повторяемости деталей и узлов:

$$K_{пов.д} = 1 - \frac{D_m + E_m}{D + E} = 1,25$$

где D_m – число типоразмеров деталей;

E_m – число типоразмеров узлов;

E – число узлов.

5. Коэффициент сборности изделия:

$$K_{сб.} = \frac{E}{D + E} = 0$$

6. Коэффициент сложности сборки:

$$K_{c.сб} = 1 - \frac{E_{m.сл}}{E} = 1,$$

где $E_{m.сл}$ – число типоразмеров узлов в изделии, требующих регулировки или совместной обработки с последующей разборкой и сборкой.

7. Коэффициент использования материала:

$$K_m = \frac{M}{M_m},$$

где M – масса изделия;

M_m – масса заготовки.

$$K_m = \frac{3.3}{4.9} = 0,67$$

Технологичность изделия оценивается комплексным показателем технологичности, определяемым на основе базовых показателей:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i},$$

где K_i – расчетный базовый показатель соответствующего класса блоков;

φ_i – коэффициент весовой значимости показателя;

i – порядковый номер показателя в ранжированной последовательности;

n – число базовых показателей, определяемых на данной стадии разработки изделия.

$$K = \frac{0,4375 \times 1 + 0 \times 1 + 0,875 \times 0,75 + 0,5 \times 0,5 + 0,125 \times 0,31 + 0 \times 0,187 + 0,75 \times 0,11}{1 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,31 + 0,187 + 0,11} = \frac{1,845}{3,875} = 0,47$$

Уровень технологичности разрабатываемого изделия при известном нормативном комплексном показателе согласно ГОСТ 14.202-73, оценивают отношением достигнутого комплексного показателя к нормативному K_n . Это

отношение должно удовлетворять условию $\frac{K}{K_n} \geq 1$. Для электромеханических блоков

$$K_n = 0.45.$$

$$\frac{0.47}{0.45} = 1.06$$

$$1.06 \geq 1$$

Таким образом, для единичного производства условие технологичности выполняется.

7 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

7.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевым рынком выполненной работы является компании занимающиеся производством и продажей горно шахтного оборудования.

Сегментом этого рынка являются мелкие и средние коммерческие организации имеющие отношение к производству приборов ориентации. Значимыми критериями для данного сегмента рынка, являются размер предприятия и выпускаемая продукция.

7.2 Технология QuaD

Технология QuaD(QUalityADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 7.1 -Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средне-взвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Надежность	20%	100	100	1	20
2. Унифицированность	5%	50	100	0,5	2,5
3. Уровень материалоемкости разработки	10%	20	100	0,2	2
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	10%	70	100	0,7	7
5. Ремонтопригодность	10%	90	100	0,9	9
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
6. Конкурентоспособность продукта	10%	80	100	0,8	8
7. Уровень проникновения на рынок	10%	50	100	0,5	8

8.Перспективност ь рынка	10%	50	100	0,5	5
9. Цена	10%	30	100	0,3	3
10.Финансовая эффективность научнойразра- ботки	5%	70	100	0,7	3,5
Итого	100%	610	1000	6,1	68

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (7.1)$$

Где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, что перспективность проделанного исследования выше среднего.

7.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны, плазменного метода переработки и методов-конкурентов проведем SWOT–анализ.

Таблица 7.2 - Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С2. Наличие опытного руководителя</p> <p>С3. Использование современного оборудования</p> <p>С4. Наличие современного программного продукта</p> <p>С5. Актуальность проекта</p>	<p>Сл1. Развитие новых технологий</p> <p>Сл2. Сложность реализации идеи в техническом плане</p> <p>Сл3. Отсутствие квалифицированного персонала.</p>
<p>В1. Сотрудничество с зарубежными профессорами в этой области</p> <p>В2. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В4.Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>- Возможно, создать партнерские отношения с рядом ведущих вузов для совместных исследования в области горно шахтного оборудования;</p> <p>-При наличии вышеперечисленных достоинств мы имеем большой потенциал для получения деталей с высокими эксплуатационными свойствами.</p>	<p>-Использование современных технологий и разработок;</p> <p>- Сотрудничество с зарубежными профессорами и повышение квалификации персонала.</p>
<p>У1. Появление новых технологий</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства .</p> <p>У3.Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p>	<p>- Повышение квалификации персонала т.к. тема актуальна и есть современное оборудование.</p>	<p>- Расширение области применения за счет развития новых технологий.</p>

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 7.3, 7.4, 7.5, 7.6.

Таблица 7.3 -Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+	+
	B4	0	-	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C2C3C4C5, B2B4C1C2C3C4C5, B3C1C2C3C4C5, B3C3C4C5.

Таблица 7.4 -Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	+	-	+
	B3	+	0	-
	B4	+	0	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B2Сл1Сл3, B3B4Сл1.

Таблица 7.5 Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	+	-	-	-	-
	У3	-	-	-	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: У1С4С5, У4С3С4.

Таблица 7.6 Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	-	+	-
	У3	-	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл1Сл2Сл3.

Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 7.9 Морфологическая матрица методов для наземного гироскопического прибора ориентации

	1	2	3	4
А. Электрический сигнал	Ток	Напряжение	Частота	Фаза
Б. Источник питания	Сеть	Аккумулятор	Батарейки	
В. Способ монтажа элементов	Поверхностный монтаж	Пайка на весу	Вставка в панели	Пайка в отверстия
Г. Корпус	Сталь	Дюраль	Пластик	Дерево
Д. Управление	Автоматическое	Ручное	Комбинированное	

Е. Первичный преобразователь	Цифровой	Аналоговый	Комбинированный	
------------------------------	----------	------------	-----------------	--

В ходе анализа данной матрицы, наиболее удачными вариантами являются:

1. А1Б3В1Г1Д3Е3 – является самым дешёвым вариантом исполнения, т.к. монтаж элементов происходит на «весу», используются дешёвые материалы для корпуса. Также в роли источника питания выступают обычные батарейки типа 10А, что значительно снижает цену на данное устройство.

2. А3Б2В3Г2Д1Е1 - считается компактным вариантом устройства. Т.к. для изготовления будут применены SMD-компоненты, которые занимают очень малое количество пространства на плате и в корпусе.

3. А2Б1В4Г3Д2Е2 - самый универсальный способ изготовления прибора. В нём применяются стандартные электронные компоненты и будет использоваться сеть в качестве источника питания.

7.3.1 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 7.10 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы технического задания	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент

исследования	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Проведение теоретических расчетов и обоснований	
	8	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Студент
	10	Выбор и расчет конструкции	
	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации, графического материала)	Научный руководитель, студент

Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.1)$$

где: $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.2)$$

где: T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

7.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}}, \quad (5.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5.4)$$

где: $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (таблица 11).

После заполнения таблицы 11 строим календарный план-график (таблица 12). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 7.11 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполните ли	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ожи}$, чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Составление и утверждение темы технического задания	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководит ель	2	2	2	3	3	3
Подбор и изучение материалов по теме	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Рук.-студ.	1	1	1	2	2	2
Проведение патентных исследований	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Студ.-рук.	1	1	1	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководит ель	1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководит ель	2	2	2	3	3	3

Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Студент	10	10	10	15	15	15
Проведение теоретических расчетов и обоснований	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студ.-рук.	3	4	4	5	6	6
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	3	5	5	5	7	7	3,8	5,8	5,8	Студент	4	6	6	6	9	9
Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	1	2	3	3	4	5	1,8	2,8	3,8	Студент	2	3	4	3	5	6
Выбор и расчет конструкции	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Студент	2	3	3	3	5	5
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической)	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студ.-рук.	2	2	2	3	3	3

документации)																
Составление пояснительной записки (эксплуатационно- технической документации, графического материала)	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студент	3	3	3	4	4	4

Таблица 7.12 - Календарный план-график проведения ВКР по теме

№	Вид работ	Исполнитель и	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				Март			апрель			май									
				1	2	3	1	2	3	1	2	3							
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	3																
2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	2	 															
3	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	2		 														
4	Выбор направления исследований	Руководитель	2																
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3																
6	Изучение литературы по теме	Студент	15																
7	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студ.-рук.	5				 												

7.3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи}, \quad (7.15)$$

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

$N_{расхи}$ – 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.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 7.13 - Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество			Цена за ед.,руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Бумага	лист	150	100	130	2	2	2	345	230	169
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Ручка	шт.	1	1	1	20	20	20	23	23	23
Доп. литература	шт.	2	1	1	400	350	330	920	402,5	379,5
Тетрадь	шт.	1	1	1	10	10	10	11,5	11,5	11,5
Итого								2852	2219,5	2135,5

*Расчет затрат на специальное оборудование для научных
(экспериментальных) работ*

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 7.14 -Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования,			Общая стоимость оборудования,		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Программный комплекс САПР	1	-	-	273,604	-	-	314,6446	-	-
Итого								314,6446		

Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в Таблице 7.15.

Таблица 15 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.- дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	2	2		3,6			8	8	8
2.	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	1	1	1	4,4			5	5	5
3.	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	1	1	1	4,4			5	5	5
4.	Выбор направления исследований	Руководитель	1	2	2	3,6			4	8	8
5.	Календарное планирование работ	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
6.	Изучение литературы по теме	Студент	10	10	10	0,8			8,9	8,9	8,9
7.	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студ.-рук.	3	4	4	4,4			14,8	19,7	19,7
8.	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Студент	4	6	6	0,8			3,6	5,4	5,4
9.	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Студент	2	3	4	0,8			1,8	2,7	3,6
10.	Выбор и расчет конструкции	Студент	2	3	3	0,8			1,8	2,7	2,7
11.	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студ.-рук.	2	2	2	4,4			9,8	9,8	9,8

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоёмкость, чел.- дн.			Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего зарботная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
12.	Составление пояснительной записки (эксплуатационно- технической документации, графического материала)	Студент	3	3	3	0,8			2,7	2,7	2,7
Итого									79,7	84,2	85,1

Проведем расчет зарботной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7.16)$$

где: $Z_{осн}$ – основная зарботная плата;

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

Максимальная основная зарботная плата руководителя (доктора наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей.

Расчет дополнительной зарботной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (7.17)$$

где: $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарботной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 53760 рублей, студента – 35504 рублей.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (7.18)$$

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

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 с 2014 года вводится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 16 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная			Дополнительная		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	48000	57000	57000	5760	6840	6840
Студент-дипломник	31700	27200	28100	3804	3264	3372
Коэффициент	0,271					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{нр}, \quad (5.9)$$

где: $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны: $Z_{\text{накл}}=3745306,5 \cdot 0,16=599249,2$ руб.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 7.17 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты	2852	2219,5	2135,5	Пункт 3.3.1
Затраты на специальное оборудование для научных	314644,6	314644,6	314644,6	Пункт 3.3.2
Затраты по основной	79700	84200	85100	Пункт 3.3.3
Затраты по дополнительной	9564	10104	10212	Пункт 3.3.3
Отчисления во внебюджетны	24190,5	25556,4	25829,5	Пункт 3.3.4
Накладные расходы	599249,2	747532,7	392182,64	16 %
Бюджет затрат НИИ	1027348,3	1182047,7	827968,74	Сумма ст. 1- 6

7.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (7.10)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{1027348,3}{1182047,7} = 0,87; I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{1182047,7}{1182047,7} = 1; I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{827968,74}{1182047,7} = 0,7.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (5.11)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 18).

Таблица 7.18 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Надежность	0,2	5	5	4
2. Универсальность	0,2	4	4	5
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4	5
4. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребите-лей)	0,20	5	5	4
5. Ремонтпригодность	0,1	5	5	5
6. Материалоемкость	0,15	4	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,15	3,8

$$I_{p-\text{исп1}} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,5;$$

$$I_{p-\text{исп2}} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,5;$$

$$I_{p-\text{исп3}} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 = 4,55.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}}, \quad (5.12)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{0,87} = 5,17; I_{исп2} = \frac{4,5}{1} = 4,5; I_{исп3} = \frac{4,55}{0,7} = 6,5.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.мах}} \quad (5.13)$$

Таблица 7.19 - Сравнительная эффективность разработки

№п /п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,87	1	0,7
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,5	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	5,17	4,5	6,5
4	Сравнительная эффективность вариантов ис-полнения	0,79	0,69	1

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

8 Социальная ответственность

8.1 Описание рабочего места

Отклонения показателей микроклимата

Проходя по выработкам, атмосферный воздух изменяет свой состав:

- Уменьшается содержание кислорода (O_2).
- Увеличивается содержание азота N_2 и Углекислого газа (CO_2).
- Выделяются другие вредные и ядовитые газы (угарный газ, окислы азота, сероводород и др.).

В соответствии с ПБ должны быть соблюдены следующие нормы чистоты воздуха:

- Кислорода - не менее 20%;
- Оксида углерода (CO) - не более 0,0017% (1%-смерть!, взрывается при 13,5-70%);
- Окислов азота - не более 0,00025%;
- Двуокись углерода (CO_2);
- Сероводород (H_2S) - не более 0,00071%, образуется при разложении органических веществ и горении угля, имеет запах тухлых яиц;
- Сернистый газ (SO) - не более 0,00038%, сильный раздражающий запах, тяжелее воздуха, образуется при взрывных работах, пожарах, ядовит (0,05 - !);
- Окислы азота (NO_2) - не более 0,0026, тёмно-бурый цвет и резкий запах, тяжелее воздуха;
- Аммиак - до 0,002, ядовит, резкий запах;
- Водород (H_2) - горит и взрывается при концентрации 4-96%.
Температура воспламенения на 100-200 градусов ниже, чем у метана;
- Компрессорные газы - продукты разложения смазочных масел компрессоров. Для предотвращения их образования необходимо устанавливать фильтры и маслоотстойники.

Охлаждающее действие воздушной среды

Представляет собой совокупное воздействие на человеческий организм температуры, скорости воздуха, влажности. Для определения пользуются кататермометром, который представляет собой спиртовой термометр с уширением в верхней части и спиртовым резервуаром в нижней.

8.2 Электрическое освещение рабочего места.

Около 80% информации человек получает посредством зрения. Качество этой информации во многом зависит от освещения.

Действие света на организм человека многообразно. Уровень освещенности оказывает влияние на психические функции и физиологические процессы в организме человека. Хорошее освещение действует тонизирующе, стимулирует активность, предупреждает развитие утомления, повышает работоспособность.

Неправильное организованное освещение рабочих мест и рабочей зоны не только утомляет зрение, но и вызывает утомление всего организма в целом. Недостаточное освещение, слепящие источники света и резкие тени от оборудования и других предметов притупляют внимание, вызывают ухудшение или потерю ориентации работающего, что может быть причиной травматизма. Установлено, что неудовлетворительное освещение является причиной примерно 5% несчастных случаев на производстве. При недостаточной освещенности сокращается время ясного видения — время, в течение которого глаз человека сохраняет способность различать рассматриваемый объект.

Важное значение для безопасности труда имеет процесс зрительной адаптации, т.е. приспособлена к изменяющимся уровням освещенности. Световая адаптация при переходе к большей яркости происходит довольно быстро — в течение нескольких минут, приспособление к более низким уровням освещенности (темновая адаптация) — значительно медленнее, течение 30 минут и более. В процессе адаптации расширяется или сужается зрачок, поэтому частые переходы от одних уровней освещенности к другим

приводят к развитию зрительного утомления. Излишняя яркость вызывает временное ослепление. Неравномерное освещение, требующее частой переадаптации глаз, может привести к профессиональным заболеваниям. Так что далеко не всегда действие света на организм человека положительное.

Рациональное освещение производственных помещений и рабочих мест способствует лучшему выполнению работающим своих обязанностей обеспечению комфортных условий труда. В нормальных документах по ОТ сформулированы основные требования к производственному освещению: достаточная освещенность рабочих поверхностей; равномерное распределение яркости; отсутствие резких теней; спектр светового потока должен быть близок к естественному; постоянство освещенности во времени.

Для освещения применяют:

- сетевое освещение:
- стационарное действует в течении всего срока службы выработки;
- полустационарное переносится по мере продвижения забоя;
- местное освещение применяется на передвижных машинах.
- аккумуляторные переносные светильники:
- ручные - аккумулятор составляет единое целое с лампой;

Применяются светильники РН, РП и РВ исполнения.

Для питания электросветильников, применяемых в очистных забоях и ламп, встроенных в машины используется напряжение не более 127В, остальных выработок - 220В.

Освещение способствует снижению травматизма и повышению производительности труда (до 25%).

Нормы освещённости в основных выработках:

- | | |
|---|-------------|
| •очистой комплексно-механизированный забой, | E = 5 лк; |
| •проходческий забой, | E = 10 лк; |
| •откаточные и вентиляционные штреки, | E = 1 лк; |
| •стрелочные переводы, | E = 2-5 лк; |
| •машинные камеры (ЦПП, РПП, водоотлив), | E = 10 лк. |

8.3 Превышение уровней шума

Длительное воздействие интенсивного шума может привести к профессиональной патологии, называемой шумовой болезнью. Шумовая болезнь-это общее заболевание организма с преимущественным поражением органа слуха, центральной нервной, сердечно-сосудистой и других систем. Воздействие шума на организм человека в условиях химического производства нередко сопровождается другими неблагоприятными факторами производственной среды (вибрация, повышенная температура, загазованность и др.). Комбинированное действие этих факторов усиливает вредное влияние шума на организм человека.

Уровни шума на рабочих местах и в рабочих зонах не должны превышать предельно-допустимых значений.

Рабочие места (зоны и виды работ) Предельно допустимые уровни шума, дБ

Выработки, производственные помещения, территория поверхности 80

Кабины наблюдений и дистанционного управления:

- без резервной связи по телефону
- с резервной связью по телефону 65

Высококвалифицированные работы, требующие внимания и сосредоточенности 60

Оборудование с повышенным уровнем шума должно устанавливаться в местах, где шум не мешает производственному процессу.

$$L = 10 \log (I / I_0) = 20 \log (P / P_0), \text{ дБ}$$

где: I - интенсивность шума, I_0 - интенсивность звука на пороге слышимости (10-12), Вт/м²

$$\text{Болевой порог } L_b = 140 \text{ дБ}$$

Вибрация

$L_1 = 20 \log (V / V_0), \text{ дБ}, V_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$ - виброскорость, соответствующая давлению $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$

$L_2 = 20 \log (a / a_0), \text{ дБ}, a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ – виброускорение

Уровень шума не должен превышать 85 дБ соответствующий ГОСТ 12.1.003 – 83, что выполняется.

8.4 Причина профзаболеваний. Меры борьбы с пылью

Вдыхаемые с воздухом мелкие частички пыли могут вызвать заболевание лёгких - пневмокониоз.

При нормальном состоянии носоглотки и дыхательных путей, до 90% вдыхаемой пыли задерживается, но крупные пылевые частицы сильно травмируют слизистую оболочку.

Под влиянием пыли происходит перерождение лёгочной ткани. При попадании в лёгкие породной пыли, содержащей SiO_2 , образуется кремниевая кислота H_2SiO_3 , ускоряющая разрушение.

Пневмокониоз развивается достаточно медленно (до 10-15 лет). Возможность возникновения заболевания зависит от массы вдыхаемой пыли и содержания в ней SiO_2 . Наиболее опасна пыль 0,1-0,2 мкм.

ПДК для пыли, при содержании в ней SiO_2 :

- $\text{SiO}_2 > 70\%$ - 1 мг/м³;
- $\text{SiO}_2 = (10-70)\%$ - 2 мг/ м³;
- $\text{SiO}_2 = (5-10)\%$ - 4 мг/ м³;
- SiO_2 до 5% - 10 мг/ м³ (6 мг/ м³ - антрацитовая пыль)

Активных средств лечения пневмокониоза не существует, поэтому основная работа ведётся в направлении профилактики и ранней диагностики.

Меры профилактики пневмокониоза

- медосмотры;
- лечебно-профилактические мероприятия;
- уменьшение пылеобразования, пылеподавление (инженерно-технические мероприятия);
- противопылевые респираторы.

Согласно ПБ, на каждом забое должен быть проект комплексного обеспыливания, утверждённый техническим директором.

Инженерно-технические мероприятия делятся на три группы:

1. Снижение или устранение пылеобразования;
 2. Подавление и улавливание пыли;
 3. Вынос летучей пыли из выработок и обеспыливание воздушного потока.
- запрещается подача свежей струи воздуха по стволам;
 - не допускается подача свежего воздуха по наклонным стволам и выработкам;
 - при прочих равных условиях следует отдавать предпочтение технологиям, уменьшающим пылеобразование;
 - разработка и применение технологий ведения очистных работ без постоянного присутствия людей в лаве;
 - предварительное увлажнение в массиве;
 - пневмогидроорошение: применение водовоздушной смеси (туманообразователи - могут образовывать облако длиной до 50-70 метров);
 - подавление пыли пеной;
 - воздушные эжекторы: водяной факел, вырываясь из форсунки создаёт тягу воздуха (эжекцию), образуется тонкодисперсионная смесь;
 - пылеулавливание: на очистных и проходческих комбайнах и бурении скважин;
 - обеспыливающее проветривание: при скорости струи, достаточной для выноса пыли от места образования, но при этом осевшая пыль не взмётывается. Оптимальная по пылевому фактору скорость струи в подготовительных забоях 0,4-0,6 м/с, в очистных 1,5-3 м/с (max 4 м/с min 0,25 м/с)

8.5 Пожарная безопасность

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033 – 81 понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и

развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Взрыва пылегазовых смесей

Виды воспламенения:

1. Медленное горение (0,3-0,6 м/с)
2. Вспышка (до 10 м/с)
3. Взрывное горение (до сотен метров)
4. Детонация (километры в секунду)

Вспышка переходит во взрыв постепенно, скорость фронта пламени и давление ударной волны нарастает постоянно. Взрыв - воспламенение, сопровождающееся ударной волной. Взрывы газа в шахте сопровождаются прямым и обратным ударами. Различают первичное (взрыв) и вторичное (досжигание) пламя.

Взрыв газоздушных смесей

- метановоздушная смесь при $t \sim 600^\circ\text{C}$ воспламеняется через 10 секунд;
- при $\sim 1000^\circ\text{C}$ - через доли секунд;
- при $t \sim 1300^\circ\text{C}$ - практически мгновенно взрывается.

Пределы взрываемости смеси горючих газов характеризуются треугольником взрываемости.

- $\text{H} = 4-74\%$ - водород (400°C);
- $\text{CO} = 12,5-75\%$ - угарный газ;
- $\text{CH}_4 = 5-15\%$ - метан ($600-650^\circ\text{C}$);
- $\text{CH}_4 = 6\%$ - наиболее взрывоопасная концентрация;
- $\text{CH}_4 = 9,5\%$ - максимальный взрыв.

Степень взрываемости пылевоздушной смеси зависит от:

- размеров пылинок (дисперсность);
- химического и минерального состава пыли (пыль, при содержании в ней негорючих компонентов от 60-70% не взрывчата);
- количества летающей пыли (10-600 гр/м³);
- наличия в атмосфере горючих газов (например, при СН₄=0, нижний предел взрываемости пыли 40 гр/м³; при СН₄=0,5% - 30 гр/м³; при СН₄=2% - 10 гр/м³);
- влажности пыли (при влажности 20-25%, пыль, как правило, не взрывается).

8.6 Защита в чрезвычайных ситуациях и план ликвидации аварий

Чрезвычайная ситуация — обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Пожары

Пожары - пожары возникающие непосредственно в горных выработках, массиве полезных ископаемых и отработанном пространстве. К пожарам относятся и пожары в зданиях, на складах, которые могут распространиться на выработки, или отравить в них атмосферу газообразными продуктами горения.

По причинам возникновения, пожары подразделяются:

- эндогенные (самовозгорание);
- экзогенные (от внешнего источника).

В зависимости от места возникновения рудничные пожары бывают:

- поверхностные;

•подземные.

Подземные пожары являются одной из наиболее опасных аварий при забое. Их особенностью является плохая доступность для активного тушения непосредственным воздействием. Наличие за очагами пожаров, по ходу вентиляционной струи, высокой температуры, дыма и других продуктов горения не позволяет организовать тушение горячей выработки с двух сторон. Под действием огня выходит из строя и теряет свою несущую способность крепь горной выработки, что приводит к обрушению пород кровли, ещё больше осложняющему аварию.

Пожары в шахтах и рудниках, опасных по газу и пыли, могут привести к взрыву газо-пылевой смеси в ходе ведения аварийно-спасательных работ.

Наиболее опасны экзогенные пожары. Они быстро активизируются и за короткое время могут отравить атмосферу выработок на большом протяжении.

Тушение подземных пожаров

Осуществляется следующими способами:

1. Активный - непосредственное воздействие на очаг пожара огнегасительными средствами (водой, пеной, песком и т.п.), или разборкой очагов с заливкой горячей массы водой. Этот способ обычно применяют при всех пожарах, в начале их возникновения. Тушение пожара активным способом производят, как правило, со стороны свежей струи воздуха, одновременно принимают меры по преграждению распространения огня по исходящей струе (водяной завесы, удаление крепи, устройство завалов и т.п.).

- Пенно-воздушный способ: поперёк выработки натягивают матерчатую сетку, на неё наносится пенообразующая жидкость, образующая в ячейках сетки тонкие плёнки, срываемые затем воздушным потоком с образованием пены.

- Тушение инертной парогазовой смесью: в выработке устанавливается генератор парогазовой смеси ("керосинка"). Производительность генератора должна равняться воздушному потоку (весь воздух заменяется смесью).

2. Пассивный - изоляцией пожарного участка перемычками с засыпкой (при необходимости) провалов, тампонированием трещин целика и вмещающих пород. К изоляции прибегают, когда пожар нельзя ликвидировать непосредственным тушением из-за недоступности очагов горения непосредственному воздействию активными средствами.

3. Комбинированный - непосредственное тушение в комплексе с изоляцией пожарных участков, затоплением их водой, или заполнением инертными газами. Способ используют, когда пожар принял значительные размеры и непосредственное тушение не даёт должного эффекта, или когда невозможно ликвидировать пожар только путём изоляции.

Виды контроля воздуха

- Отбор проб воздуха для газоаналитических лабораторий ВГСЧ. Согласно ПБ шахт I и II категорий, пробы воздуха отбираются не реже одного раза в месяц. На шахтах III категории и сверхкатегорных - два раза в месяц.
- Выполняемый надзором ВТБ и эксплуатационных участков;
- При помощи аппаратуры АГЗ.

Контроль вентиляции предусматривает:

- Проверку количества воздуха поступающего в г.в., его распределения по участкам и подготовительным забоям.
- Определение скоростей движения воздуха и соответствия их требованиям безопасности.
- Проверку качественного состава воздуха для обеспечения санитарно - гигиенических требований и безопасного ведения работ.
- Проведение депрессионных съёмов.

Определение содержания метана

Концентрация метана контролируется во всех выработках, где он может выделяться или скапливаться. Сменный ИТР участка замеряет концентрацию метана у забоев, в исходящих струях подготовительных и очистных выработок

III категории, сверхкатегорийных, опасных по внезапным выбросам газа - не менее трёх раз в смену. (сначала измеряется метан, затем СО).

Интерферометр типа ШИ основан на принципе смещения интерференционной картины с разностью показателей преломления когерентных лучей света, пропускаемых через чистый (эталонный) воздух и воздух с определённой примесью метана.

План согласованных действий рабочих, администрации, спасателей составляется главным инженером на каждое полугодие, согласовывается с техническим инспектором и руководителем спасательной части. Утверждается техническим директором объединения.

При изменении схемы проветривания или выходов, в течении суток в план должны быть внесены изменения.

В ПЛА учитываются все возможные случаи аварии и определяются, для каждого случая, наиболее эффективные средства борьбы.

План состоит из оперативной части и приложений, распределяющих обязанности по бюрократам. Ответственным руководителем по ликвидации аварии является главный инженер.

В оперативной части предусматриваются организационные и технические мероприятия, обеспечивающие спасение людей и ликвидацию аварии. К этим мероприятиям относятся:

- обеспечение наилучшего проветривания шахты на время вывода людей;
- определение путей вывода людей;
- разработка заданий для спасателей;
- определение порядка электроснабжения аварийного участка.

К оперативной части должны быть приложены графические материалы:

- план выработок с указанием расположения оборудования пожарной защиты и мест установки телефонов;
- план поверхности забоя;
- схема электроснабжения;
- план буровой (Рисунок 8.1).

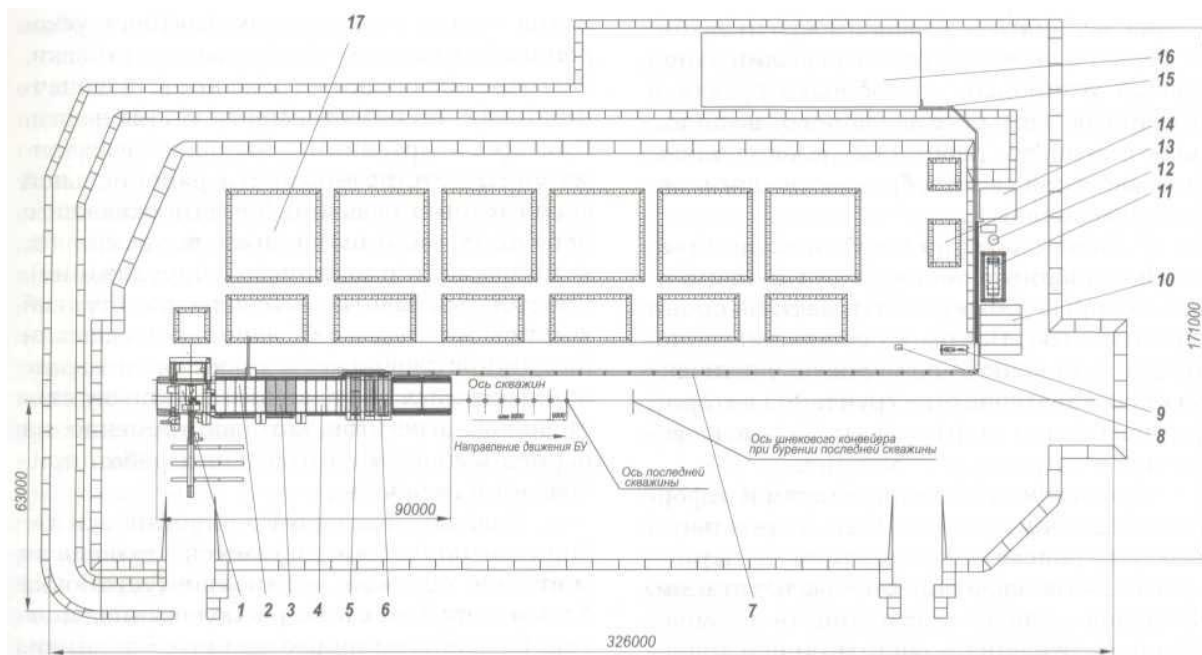


Рисунок 8.1 - План буровой

1- вышечно- лебедочный блок; 2- блок очистки циркуляционной системы; 3- блок растворных модулей; 4- блок насосных модулей; 5- компрессорный блок; 6- модуль тиристорный; 7- коммуникации; 8- блок ГСМ для ДЭС; 9- энергоблок; 10- блок дополнительных емкостей; 11- водонефтяная емкость; 12- водяная скважина; 13- водоем пожарный; 14- котельная; 15- коммуникации жилого городка; 16- жилой городок; 17- амбары шламовые

Кустовая площадка должна выполняться горизонтально. Допускается уклон кустовой площадки в зоне А по ходу движения буровой установки в пределах 10 мм - на 2 м. Технологические площадки выполняются с уклоном в сторону амбара, обеспечивающим водосток. Планировку площадки на горизонтальность в зоне А для установки оборудования и разметку оси вышки рекомендуется проводить с помощью нивелира. По окончании отсыпки куста необходимо сделать обваловку.

8.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К общей части нормативно-правовых основ охраны труда относятся: Трудовой кодекс Российской Федерации, Федеральный закон «Об основах

охраны труда в Российской Федерации», указы Президента, постановления Правительства РФ, постановления Министерства здравоохранения и социального развития, постановления и приказы других министерств межотраслевой компетенции.

Надзор и контроль за соблюдением законодательства о труде и соответствующих нормативных актов осуществляется:

- Государственными органами и инспекциями (Госгортехнадзор).
- Профсоюзами.
- Ведомствами.

Высший надзор осуществляется генпрокурором РФ.

К специальным государственным органам относятся:

- Госсанэпиднадзор РФ - контролирует проведение санитарно-гигиенических и противоэпидемиологических мероприятий; комплекс мер, направленных на предупреждение и снижение заболеваемости.

- Госгортехнадзор РФ - осуществляет надзор за соблюдением правил по безопасному ведению работ в т.ч. и в угольной промышленности. Контроль за соблюдением ПБ, ТБ осуществляется через управление округов (Печёрский и т.п.).

По требованию трудового законодательства запрещает использование труда женщин и подростков. Каждому работнику выдаётся на сутки 1 литр молока. Работа производится посменно на протяжении вахты, не более 22 календарных дней. В ночное время работы не останавливаются. Обязательно применение СИЗ, робы, каски, специальной обуви, перчаток х/б, защитных очков на месторождении.

Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, - не более 36 часов в неделю в порядке, установленном Правительством Российской Федерации с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений.

Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, где установлена сокращенная продолжительность рабочего

времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать:

при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов;

при 30-часовой рабочей неделе и менее - 6 часов.

Коллективным договором может быть предусмотрено увеличение продолжительности ежедневной работы (смены) по сравнению с продолжительностью ежедневной работы (смены), установленной частью второй настоящей статьи для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, при условии соблюдения предельной еженедельной продолжительности рабочего времени (часть первая статьи 92 настоящего Кодекса) и гигиенических нормативов условий труда, установленных федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

8.8 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Так как при забое может произойти выброс вредных веществ, целесообразно пользоваться средствами индивидуальной защиты. Такими как: Респиратор «Пульс-К», Респиратор Ф-62Ш, Респиратор «Лепесток-200»

Контроль условий труда на предприятиях осуществляют специально созданные службы охраны труда совместно с комитетом профсоюзов. Данный контроль заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в целом по предприятию несут директор и главный инженер.

Ведомственные службы охраны труда совместно с комитетами профсоюзов разрабатывают инструкции по безопасности труда для различных профессий с учетом специфики работы, а также проводят инструктажи и обучение всех работающих правилам безопасной работы.

Заключение

В результате разработки было выяснено, что, при измерении трёх горизонтальных составляющих вектора вращения Земли, определение азимута на зенитном угле равном 90 градусов является возможным.

Для датчиков подобного типа (ТВГ) присуще значительные ошибки от пуска к пуску, которые необходимо компенсировать в любом случае. В предложенной схеме с этой целью применена поворотная платформа, которая съедает внутреннее пространство. Наряду с поворотной платформой возникает проблема реализации необходимой системы термостатирования. Нужно обеспечить хороший тепловой контакт между датчиками и основанием прибора, к которому будет крепиться исполнительный орган системы. Данный вопрос требует отдельной тщательной проработки, а хорошим решением было бы разместить всю платформу в сосуде, наполненном диэлектрической жидкостью. К сожалению данное решение также приводит к увеличению минимально возможного диаметра.

Отдельно стоит сказать, что примененная платформа с ТВГ фирмы «Медикон» имеет нестандартное исполнение, отличное от предлагаемого варианта производителем. Конкретно, сам датчик решено не размещать на демпфере, а разместить его в едином блоке с другими датчиками, а вопрос гашения колебаний решить по отношению ко всему блоку. Также изменен способ его крепления, и хотя данный вопрос не был согласован с фирмой производителем, автор убежден, что реализовать подобный способ будет возможно.

Подытожив, можно сказать, что данная работа дала необходимые результаты, которые могут служить отправной точкой для более детального конструирования забойного гироскопического инклинометра.

Список публикаций

Статья «К вопросу о количественных параметрах в русском и английском языках (на примере пословиц и поговорок)» // Коммуникативные аспекты языка и культуры : сборник материалов XII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, г. Томск, 16-18 мая 2012 г. в 3 ч. /

Статья «Разработка и исследование системы термостатирования» //Современные техника и технологии: сборник трудов XVII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, апреля 2012 г.

Статья «Система вибро- и ударозащиты забойного героскопического инкленометра» в сборнике научных трудов V-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» (2015г.).

Список использованных источников

1. Фрейман Э.В. «Непрерывный инклинометр с расширенным диапазоном измерения на основе одноосного гироскопического стабилизатора» Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Казань 2003. – С. 9–12.
2. ФГУП Ижевский механический завод [Электронный ресурс] / Инклинометры гироскопические ИГМ-73-100/60 М и ИГМ-42-85/60 Электрон, дан. – 2012 – Режим доступа: <http://www.baikalinc.ru/ru/company/288.html> , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
3. ОАО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро» [Электронный ресурс] / Динамически настраиваемы гироскопы, электрон. дан. – 2013 – Режим доступа: http://www.rpkb.ru/index.php_page_id=13.html , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
4. ОАО «Ангстрем» [Электронный ресурс] / ТВГ-1БА Аналоговый гироскоп предварительная спецификация, электрон. дан. – 2013 – Режим доступа: http://www.angstrem.ru/download/datasheet/gyro_tvlg-1ba-analog_ru.pdf , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
5. ЗАО «НПП «Медикон» [Электронный ресурс] / Гироскопия, электрон. дан. – 2013 – Режим доступа: <http://www.medicon-miass.ru/giroscofia> , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
6. ОАО АНПП «Темп-Авиа» [Электронный ресурс] / Каталог продукции предприятия ОАО «АНПП «ТЕМП-АВИА», электрон. дан. – 2013 – Режим доступа: <http://www.temp-avia.ru/catalog/detail/> , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
7. ОАО «Раменский приборостроительный завод» [Электронный ресурс] / Продукция / Базовые элементы / Акселерометры, электрон. дан. – 2013 – Режим доступа: http://www.rpz.ru/products/basic_block/akselerometry/ , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
8. Исаченко В.А. «Инклинометрия скважин». – М.: «Недра», 1987. – 216 с.

9. Phytron, Inc. [Электронный ресурс] / Home / Products / Stepper Motor ZSS: 200-step, 2-phase hybrid; 19 – 56 mm, электрон. дан. – 2013 – Режим доступа: http://www.phytron-elektronik.de/antrieb/index.php?Set_ID=160&PID=1&PHPSESSID=3055b8ef43777c67de4bc1874e942749 , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
10. Гальперин Е.И. Поляризационный метод сейсмических исследований – М: Недра, 1977. – С. 344
11. Белянин Л.Н. Скважинная гироскопическая система ориентации трехкомпонентного сейсмического зонда // Гироскопия и навигация.-2003. №1. – С. 19-30.
12. Лебедев К.А., Карстен В.В. и другие. Разработка аппаратуры вертикального сейсмопрофилирования с гироскопическим ориентированием //Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях» - Томск, 19-21 ноября 2003 г. / Под ред. Л.Я. Ерофеева. - Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2003. - С. 107-111.
13. [Электронный ресурс].- Режим доступа: www.prk.perm.ru, свободный. – Загл. с экрана.
14. Сёмкин И.М. Алгоритмы обработки информации в системе ориентации сейсмоприемников. // Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012 (в печати).
15. Барбин Е.С. Сёмкин И.М. Концепция построения скважинной системы ориентации сейсмоприемников. // Современные техника и технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. –с. 154-156.

16. Барбин Е.С. Устройство разворота платформы с гиродатчиком // Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. (в печати).
17. Сломьянский Г.А. , Агапов А.В. Родионов Е.М. Румянцев С. И. Тимофеева А.Д. Детали и узлы гироскопических приборов. Атлас конструкции. М.: Машиностроение, 1975.- 364 с.
18. Курендаш Р.С. Конструирование пружин. - М.: МАШГИЗ, 1958.- 107с
19. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – 12-е изд. - М.: «Наука», 1977.-873с.
20. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т. 3. - 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестоковой. – М.: Машиностроение, 2001.-864с.:ил.
21. Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. –М.: Машиностроение, 1980. – 326с., ил. – (Б-ка расчетчика).
22. Бабаева Н.Ф и др. Расчет и проектирование элементов гироскопических устройств. – М.: Машиностроение, 1967. – 480с.
23. [Электронный ресурс].- Режим доступа: phytron.com, свободный. – Загл. с экрана.
24. [Электронный ресурс].- Режим доступа: honeywell.com, свободный. – Загл. с экрана.
25. [Электронный ресурс].- Режим доступа: splav.org, свободный. – Загл. с экрана.
26. [Электронный ресурс].- Режим доступа: chipdip.ru, свободный. – Загл. с экрана.
27. Барбин Е.С. Скважинная система ориентации сейсмоприемников ч.II. // Материалы всероссийской научно-практической конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» Национальный

исследовательский Томский политехнический университет. Институт неразрушающего контроля. г. Томск, 2012 г. (в печати)

28. [Электронный ресурс].- Режим доступа: analog.com, свободный. – Загл. с экрана.

29. [Электронный ресурс].- Режим доступа: sse.uu.se, свободный. – Загл. с экрана.

30. Динамически настраиваемый гироскоп ГВК-6 Техническое описание, характеристики, методы испытаний, указания по эксплуатации.-г.Раменское.: изд-во Раменского проектно-конструкторского бюро. 1984 г.

31. [Электронный ресурс].- Режим доступа: erkon-nn.ru, свободный. – Загл. с экрана.

32. [Электронный ресурс].- Режим доступа: murata.com, свободный. – Загл. с экрана.

33. Анухин В.И. Допуски и посадки. Выбор и расчет, указание на чертежах: Учеб пособие. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. 219с.