

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

Институт \_\_\_\_\_ Неразрушающего контроля \_\_\_\_\_  
 Направление подготовки: \_\_ Приборостроение \_\_\_\_\_  
 Кафедра: \_\_\_\_\_ Точного приборостроения \_\_\_\_\_

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Автоматический прибор ориентации

УДК 681.2:531.383

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4В	Пожарский Тимофей Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПС	Белянин Л.Н.	К. Т. Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Вопросы технологии»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПС	Гормаков А.Н.	К. Т. Н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Чистякова О.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПС	Бориков В. Н.	Д. Т. Н.		

Томск – 2016 г.

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

Институт неразрушающего контроля  
 Направление подготовки (специальность): 12.04.01 - Приборостроение  
 Кафедра точного приборостроения

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой ТПС

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) (Бориков В.Н.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4В	Пожарскому Тимофею Сергеевичу

Тема работы:

Наземный гироскопический прибор ориентации	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p align="center">В соответствии с приложением к заданию.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аналитический обзор схем построения приборов ориентации</li> <li>2. Электрокинематические схемы прибора. Расчет требуемой точности датчиков линейных ускорений и датчиков угловых скоростей</li> <li>3. Поиск алгоритмов обработки информации с датчика угловой скорости, обеспечивающих наивысшую точность ориентации</li> <li>4. Конструирование прибора</li> <li>5. Разработка схемы прибора электрической</li> </ol>

	принципиальной 6. Вопросы технологии 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 8. Социальная ответственность. Заключение
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Чертеж общего вида прибора - 1 листа формата А1. 2. Схема электрическая принципиальная – 1 лист формата А1.

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Чистякова Н.О.
Социальная ответственность	Анищенко Ю.В.
Вопросы технологии	Гормаков А.Н.

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

Аналитический обзор схем построения приборов ориентации

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПС	Белянин Л.Н.	к. т. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4В	Пожарский Тимофей Сергеевич		

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

Институт неразрушающего контроля  
 Направление подготовки Приборостроение  
 Профиль Системы ориентации, стабилизации и навигации  
 Кафедра точного приборостроения  
 Уровень образования магистратура  
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.11.15	Проведение аналитического обзора.	
24.01.16	Аналитический обзор схем построения приборов ориентации	
28.02.16	Разработка электрокинематических схемы прибора. Расчет требуемой точности датчиков линейных ускорений и датчиков угловых скоростей	
20.03.16	Поиск алгоритмов обработки информации с датчика угловой скорости, обеспечивающих наивысшую точность ориентации.	
25.03.16	Конструирование прибора	
03.04.16	Разработка схемы прибора электрической принципиальной	
25.04.16	Вопросы технологии.	
02.05.16	Социальная ответственность.	
15.05.16	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	
23.05.16	Выводы по результатам работы.	
30.05.16	Оформление расчётно – пояснительной записки.	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Белянин Л.Н.	к.т.н		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПС	Бориков В.Н.	д.т.н		

Приложение к заданию  
на выпускную квалификационную работу  
магистранту гр.1БМ4В Пожарскому Т.С.

Исходные данные для разработки автоматического прибора ориентации

1. Назначение, область применения

1.1. Назначение прибора

Прибор входит в состав системы ориентации и навигации горнопроходческого комбайна (ГПК) и предназначен для определения параметров ориентации оптического прибора системы автоматического взаимного визирования.

1.2. Область применения – определение ориентации и местоположения ГПК при строительстве штреков и тоннелей.

1.3. Цель настоящей выпускной квалификационной работы – выполнение I этапа создания прибора, а именно - «Разработка действующего макета автоматического прибора ориентации»

1.4. Макет предназначен для отработки конструкции и экспериментальных исследований динамики и точности определения параметров ориентации прибора системы ориентации и навигации ГПК.

2. Перечень параметров, определяемых с помощью прибора

2.1. Прибор совместно с вычислителем должен определять три угла Эйлера-Крылова, характеризующие ориентацию корпуса прибора и связанной с ним системы координат по отношению к горизонтальной, географически ориентированной системе координат.

2.2. На экран вычислителя системы ориентации и навигации ГПК также должна выводиться информация о режиме работы прибора, температуре динамически настраиваемого гироскопа и напряжении питания прибора.

3. Диапазоны изменения и измерения

3.1. Азимутальный угол  $\Psi$  может изменяться и должен измеряться в диапазоне, град - 0..360.

3.2. Угол продольного крена  $\Theta$  может изменяться и должен измеряться в диапазоне, град минус 15..+15.

3.3. Угол поперечного крена  $\Phi$  может изменяться и должен измеряться в диапазоне, град минус 15..+15.

#### 4. Точность измерения

4.1. Основная погрешность определения углов продольного и поперечного кренов не должна превышать, угл.мин - 3.

4.2. Основная погрешность определения азимутального угла не должна превышать, угл.мин - 2.

#### 5. Условия эксплуатации прибора

5.1. Прибор должен быть рассчитан на эксплуатацию в горных выработках, расположенных на глубинах до 500 м, от поверхности преимущественно при проходке штреков.

5.2. Температура окружающей среды в процессе эксплуатации, °С- от +2 до +40.

5.3. Давление окружающей среды – от 630 до 950 мм рт. ст. на высоте не более 2000 м над уровнем моря и на глубине не более 1500 м ниже уровня моря.

5.4. Влажность – до 98% при температуре +30°C. Возможно присутствие мелких капель воды.

5.5. Прибор подвергается механическим воздействиям в виде вибраций и ударов, основными источниками которых являются работающий комбайн, перегружатель, скребковый конвейер и, иногда, движущиеся вагонетки.

5.6. Допускается остановка (выключение) всего оборудования, являющегося источником вибраций и ударов, для произведения замеров азимута на время, мин, не более - - 10

## 6. Условия эксплуатации действующего макета прибора

6.1. Макет должен быть рассчитан на эксплуатацию в закрытом отапливаемом помещении (цехе или лаборатории) при температуре окружающей среды +10...+30 °С, атмосферном давлении 100±4 кПа и относительной влажности воздуха до 80% при температуре +20 °С.

6.2. Макет при его эксплуатации должен устанавливаться на защищённом от вибрации и ударов основании.

6.3. Окружающая макет среда не содержит паров агрессивных или взрывчатых жидкостей газов и пыли.

## 7. Режим работы макета, быстроедействие

7.1. Должна быть предусмотрена работа макета в следующих режимах:

- подготовка; включающем выход на режим системы термостатирования гироскопа;
- пуск гироскопа;
- работа;
- ожидание.

В процессе разработки режимы работы могут уточняться.

7.2. Время, необходимое для определения углов крена, мин, не более -1.

7.3. Время, необходимое для определения азимутального угла с момента выхода прибора на режим, мин, не более -5.

8. Питающие напряжения, потребляемая макетом мощность.

8.1. Питающее напряжение – по усмотрению разработчика.

8.2. Потребляемая мощность – минимально возможная.

9. Требование к конструкции действующего макета прибора.

9.1. Конструкция макета должна быть рассчитана на единичный тип производства.

9.2. При конструировании макета в максимальной степени использовать детали и узлы серийных отечественных авиационных приборов, а также детали и узлы гироскопического непрерывного инклинометра ИГН 100-100/60-А разработки ТПУ.

9.3. Допускается размещение обслуживающей электроники на отдельном основании.

Руководитель проекта, доцент

Л.Н. Белянин

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ4В	Пожарскому Тимофею Сергеевичу

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Точное приборостроение</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

**Исходные данные к разделу «Вопросы технологии»:**

1. Объект исследования и области его применения	-Объектом разработки является внутренняя рама АПО. - Область применения: входит в состав АПО.
---	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Разработка конструкции и выбор материалов для внутренней рамы АПО;
2. Оценка технологичности процесса изготовления внутренней рамы АПО;
3. Разработка схемы сборки внутренней рамы АПО.
4. Маршрутно – технологическая карта процесса изготовления внутренней рамы АПО.
5. Маршрутно – технологическая карта процесса сборки БЧЭ.
6. Чертеж детали (внутренней рамы АПО).

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Гормаков Анатолий Николаевич	к. т. н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1БМ4В	Пожарский Тимофей Сергеевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНИНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ4В	Пожарскому Тимофею Сергеевичу

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТПС</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностраных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, наблюдение.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Использованная система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведение НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка сравнительной эффективности проекта</i>

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
3. Матрица SWOT
4. Морфологическая матрица
5. Временные показатели проведения научного исследования
6. График проведения и бюджет НИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

**Дата выдачи задания по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Чистякова О.Н.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1БМ4В	Пожарский Тимофей Сергеевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4В	Пожарскому Тимофею Сергеевичу

Институт	ИНК	Кафедра	ТПС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	В данной работе исследуются автоматический прибор ориентации (АПО), построенный на основе акселерометров, гироскопа. АПО используются для определения параметры ориентации и навигации объекта в пространстве.
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b> Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	1.1 Вредные факторы при разработке АПО: - Вредные вещества - Повышенный уровень локальной вибрации - Повышенный уровень шума на рабочем месте - Повышенный уровень электромагнитных излучений 1.2 Опасные факторы при разработке АПО - Термическая опасность - Электробезопасность - Движущиеся части механизмов
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	+Влияние на атмосферу : пайка сопровождается выделением ядовитого дыма и оставлением флюса с гидразином, металлов: олово, свинец
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	-Перечень возможных чрезвычайных ситуациях: +Землетрясение +Пожар +Террористический акт -Наиболее типичная ситуация: пожар
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	- Рабочее место при выполнении работ сидя, общие эргономические требования

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4В	Пожарский Т.С.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа \_\_\_\_\_ 133 с., \_\_\_\_\_ 15 рис., \_\_\_\_\_ 24 табл., \_\_\_\_\_ 32 источника, \_\_\_\_\_ 4 прил.

Ключевые слова: горнопроходческий комбайн, подземный штрек, горизонтальная, географически ориентированная система координат, азимут, угол продольного, поперечного кренов, блок чувствительных элементов, электрокинематическая схема, конструирование.

Объектом исследования является автоматический прибор ориентации.

Цель работы – создание макета прибора, который должен определять три угла Эйлера-Крылова, характеризующие ориентацию корпуса прибора и связанной с ним системы координат по отношению к горизонтальной, географически ориентированной системе координат:

- угол  $\Psi$  – азимутальный угол;
- угол  $\Theta$  - угол продольного крена;
- угол  $\Phi$  - угол поперечного крена.

В процессе исследования проводились: выбор электрокинематической схемы; проектирование 3D модели прибора; определение алгоритмов расчёта углов  $\Psi$ ,  $\Theta$ ,  $\Phi$ ; расчет погрешности чувствительных элементов; разработка технологического процесса сборки БЧЭ; разработка технологического процесса детали «Внутренняя рама»; проектирование схемы электрической принципиальной АПО; рассмотрение вопросов по финансовому менеджменту и социальной ответственности.

Результаты ВКР представлены в виде пояснительной записки, чертежей, схем, конструкторской документации.

Область применения: подземная добыча полезных ископаемых.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, графическая часть выполнена в программах Microsoft Power Paint 5.1, T-FLEX CAD 14, SolidWorks 2015.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

### **Нормативные ссылки**

В работе использованы ссылки на следующий стандарты:

ГОСТ 21488-97 - Прутки прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов.

### **Определения**

В работе использованы следующие термины с соответствующими определениями.

**Горнопроходческий комбайн** - сложная многоприводная горная машина, предназначенная для механизированного разрушения горных пород, погрузки горной массы в транспортные средства (вагонетки, конвейер, перегружатель).

**Автоматический прибор ориентации** - гироскопический прибор, способный в автоматическом режиме определять параметры ориентации его корпуса, такие как:

- $\Psi$  - азимут (угол рыскания);
- $\Theta$  - угол продольного крена (угол тангажа);
- $\Phi$  - угол поперечного крена (угол крена).

**Коллекторный токоподвод** – устройство, предназначенное для передачи энергии и информации между узлами прибора, движущимися относительно друг друга.

**Энкодер (датчик угла поворота)** – устройство, предназначенное для преобразования угла поворота вращающегося объекта (вала) в электрические сигналы в виде цифровых кодов, позволяющие определять угол его поворота.

**Азимут** – в геодезии угол между направлением на Север (в Южном полушарии – на Юг) и направлением на какой – либо удаленный объект.

### **Обозначения и сокращения**

**АПО** – автоматический прибор ориентации;

**БЧЭ** – блок чувствительных элементов;

**ДУС** – датчик угловых скоростей;

**ДГ** – двигатель – генератор;

**ДУ** – датчик угла.

**ИД** – интегро – дифференцирующее звено;

**ТГ** – тахогенератор;

**У** – усилитель;

**ПКН** – преобразователь код-напряжение

**ПКТ** – преобразователь код-ток.

## Содержание

Введение.....	17
1 Аналитический обзор схем построения приборов ориентации.....	18
2 Электрокинематические схемы прибора. Расчет требуемой точности датчиков линейных ускорений и датчиков угловых скоростей.....	27
2.1 Вариант с интегрирующим приводом и двухкомпонентным ДУСом....	32
2.2 Вариант с приводом на основе одноосного индикаторного гиросtabilизатора и однокомпонентного ДУСа.....	33
2.3 Выбор чувствительных элементов .....	36
3 Поиск алгоритмов обработки информации с датчика угловой скорости, обеспечивающих наивысшую точность ориентации .....	47
3.1 Типовые дефекты измерителей преобразователей.....	47
3.2 Погрешности в измерительном канале ДУСа .....	48
4 Конструирование прибора .....	52
4.1 Общие принципы конструирования .....	52
4.2 Конструкция узла энкодера .....	52
4.3 Конструкция рамы с гиродатчиком.....	52
4.4 Питание электромеханических компонентов .....	53
4.5 Вращающий привод.....	54
4.6 Двигатель генератор ДГ-0,1 ТВ.....	54
5 Разработка схемы прибора электрической принципиальной.....	58
5.1 Формулирование требований к обслуживающей электронике.....	58
5.2 Описание электрической схемы прибора.....	59
6 Вопросы технологии .....	61
6.1. Отработка установки как сборочной единицы на технологичность	61
6.3. Разработка технологического процесса сборки БЧЭ.....	64
7 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	66
7.1 . Потенциальные потребители результатов исследования.....	66
7.2. Технология QuaD .....	66

7.3. SWOT-анализ .....	67
7.4. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	69
7.5 Планирование научно-исследовательских работ.....	70
7.6. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования. ....	80
<b>8. Профессиональная социальная безопасность.....</b>	<b>83</b>
8.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований .....	84
8.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	86
8.2 Экологическая безопасность .....	88
8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	88
8.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	90
Заключение .....	93
Список публикаций студента .....	94
Список использованных источников.....	95
Приложение А.....	99
Приложение Б .....	108
Приложение В .....	109
Приложение Г .....	110

**Графический материал:** на отдельных листах.

**ФЮРА.420000.064 ВО** Автоматический прибор ориентации чертеж общего вида.

**ФЮРА.420000.064 ЭЗ** Автоматический прибор ориентации схема электрическая принципиальная.

## Введение

На кафедре ТПС ведутся работы по созданию системы ориентации и навигации горнопроходческого комбайна. Это сложная система, состоящая из двух приборов: автоматического прибора ориентации, который устанавливается на кровле, и системы взаимного оптического визирования. Последняя состоит из двух приборов. Один закрепляется на корпусе автоматического прибора ориентации, другой на ГПК. Взаимодействие между приборами системы автоматического визирования обеспечивается при помощи оптической связи. Для измерения расстояния между ГПК и прибором ориентации используется дальномер, размещенный в общем корпусе с АПО.

На кафедре в рамках указанного направления поставлена задача, спроектировать макет автоматического прибора ориентации. Особенность этой задачи состоит в том, что предполагается получить погрешность в определении азимута 1-2 угл. минуты при отсутствии жестких требований к виртикализации прибора.

Передо мной стоит задача создать универсальный макет, в котором могли бы быть реализованы две предложенные схемы.

Т.к. конструирование макета происходит в рамках учебной программы, возникают некоторые трудности для его реализации в соответствии с ТЗ, а именно, для того чтобы достичь необходимой точности определения параметров ориентации и навигации, в составе макета необходимо использовать прецизионную технику, детали и узлы для макета подбираются от серийных авиационных приборов, некоторые детали должны подвергаться точной механической обработке.

Основная задача построения макета это добиться необходимой точности в условиях лаборатории с использованием доступных узлов и деталей. Макет должен позволять произвести исследования как по одной схеме, так и по другой, в результате чего путем сравнения будет определена лучшая схема прибора.

## 1 Аналитический обзор схем построения приборов ориентации

Наземные гироскопические компасы со среднеквадратичной погрешностью единицы угловых минут – десятки угловых секунд производятся в России и за рубежом и эксплуатируются уже в течение нескольких десятков лет. Выпускаются такие приборы и в искробезопасном исполнении для маркшейдерских служб. Однако, это, как правило, громоздкие, тяжелые приборы, которые перед измерением требуют их точной вертикализации, а процесс измерения заключается в длительном наблюдении за прецессионными колебаниями маятникового гироскопа с последующими вычислениями.

Современный уровень развития техники предъявляет все более высокие требования к навигационным приборам, в частности к гирокомпасам. Основными из этих требований являются:

- высокая точность прибора (погрешность определения азимута - единицы угловых секунд);
- малое время готовности, минут - 5-10;
- минимальное время необходимое для одноразового определения азимута;
- полевые условия эксплуатации, т.е. температура окружающей среды от минус 40 до плюс 50 градусов С, относительная влажность до 98% при температуре +25° С;
- высокие надежность и ресурс работы (до 50000 часов);
- работа прибора в автоматическом режиме с использованием новейших вычислительных средств;
- малые габариты и вес, удобство при эксплуатации.

Выполнение вышеперечисленных, подчас противоречивых, требований представляет собой сложную научно-техническую задачу.

В настоящее время широко используются принципы аналитического гирокомпасирования.

Анализ известных технических решений показал следующее.

Известен гироскоп [1], в котором использован поплавковый интегрирующий гироскоп в качестве датчика угловой скорости Земли и два устройства для приведения гироскопа в исходное положение. Гироскоп располагается на основании (платформе), которая посредством двух карданных колец с опорами и датчиками по осям соединяется с неподвижным корпусом. В этом гироскопе используется принцип позиционного гироскопирования, в котором ось чувствительности гироскопа, закрепленного на платформе, устанавливается в плоскости меридиана, а об азимуте судят по сигналам датчика угла (индикатора), который указывает относительное положение платформы относительно корпуса. Недостатком такого гироскопа является сложность конструкции, увеличенные габариты и масса из-за наличия карданных колец с датчиками по осям и обслуживающих их электронных устройств. Недостатком является и ухудшение точности определения азимута из-за дополнительных угловых погрешностей, обусловленных большим количеством конструктивных стыков (карданные кольца, опоры и т.д.) между осью чувствительности и корпусом, а также трудностью обеспечения стабильной температуры на всех элементах кинематически сложной конструкции, особенно в условиях эксплуатации, при колебаниях окружающей температуры.

Принцип действия гироскопического компаса основан на использовании свойства гироскопа, работающего в режиме датчика угловой скорости, реагировать на абсолютную угловую скорость поворота основания, на котором установлен ДУС, в проекции на его ось чувствительности (рис.1.1).

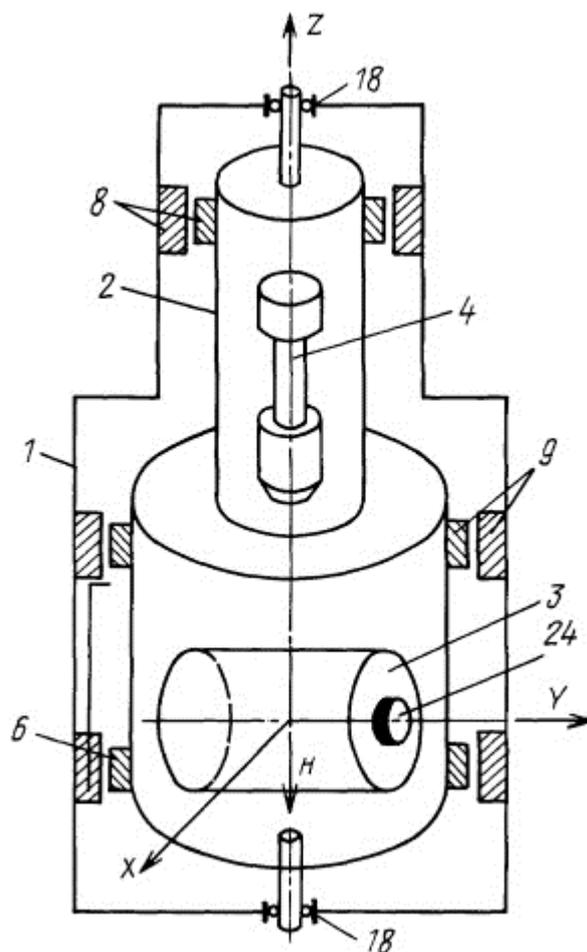


Рисунок 1.1. Электрокинематическая схема прибора.

Автоматический гироскоп устроен, следующим образом [2].

В корпусе 1 установлен с возможностью разворота вокруг вертикальной оси блок чувствительных элементов (БЧЭ) 2 в составе датчика угловой скорости 3 и двухкоординатного датчика горизонта 4, размещенных на основании БЧЭ 5. Гироскоп имеет систему разворота БЧЭ, в которую входят задатчик, содержащий поворотный трансформатор 6 и устройство управления (входит в блок сервисной электроники БСЭ 7), а также привод - безредукторный двигатель постоянного тока 8 и многополюсный индукционный датчик угла 9.

Будучи установленным на неподвижное относительно Земли основание, ДУС будет чувствовать угловую скорость вращения Земли в той мере, в какой величина угловой скорости Земли будет проектироваться на ось чувствительности ДУСа, т.е. измеренная величина угловой скорости в данном

случае будет зависеть от ориентации оси чувствительности ДУСа по отношению к вектору угловой скорости вращения Земли. Если, например, расположить ДУС на неподвижном относительно Земли основании так, что его ось чувствительности будет располагаться в горизонтальной плоскости, а главная ось - ось кинетического момента - вертикально, т.е. будет совпадать с направлением вертикальной составляющей угловой скорости вращения Земли в данном месте, то ДУС будет чувствовать только проекцию горизонтальной составляющей угловой скорости вращения Земли на ось чувствительности. Если, например, ось направлена на север, то измеренная величина угловой скорости  $\omega_{и}$  и будет соответствовать горизонтальной составляющей угловой скорости вращения Земли  $\Omega_{г}$ , а если будет отклонена, например, к востоку на угол  $A$ , то измеренная величина угловой скорости  $\omega_{и}$  будет соответствовать проекции  $\Omega_{г}$  на ось чувствительности, т.е.

$$\omega_{и} = \Omega_{г} \times \cos A = \Omega_{з} \times \cos \varphi \times \cos A$$

где  $\varphi$ - географическая широта места расположения ДУСа.

Отсюда следует, что если ось чувствительности ДУСа направить по дирекционному направлению, азимут которого не известен и его требуется определить, то можно, произведя измерения показаний ДУСа  $\omega_{и}$  и зная географическую широту места испытаний  $\varphi$ , решить задачу определения азимута  $A$  выбранного направления в виде

$$A = \arccos \frac{\omega_{и}}{\Omega_{з} \times \cos \varphi}.$$

Таким образом можно определить азимутальный угол любого требуемого направления с точностью до знака.

Для устранения неопределенности в знаке желательно было бы иметь две оси чувствительности, ортогональных друг к другу и располагаемых при измерениях в горизонтальной плоскости, как, например, это имеет место при использовании ДНГ. Тогда по соотношению знаков  $\cos A$  и  $\sin A$  можно однозначно определить, в каком из квадрантов располагается дирекционное направление. Однако, как упоминалось выше, в качестве чувствительного

элемента в гироскопе используется поплавковый гироскоп, имеющий одну ось чувствительности. Поэтому по одной ориентации оси чувствительности гироскопа, совмещаемой перед измерениями  $\omega_{и}$  и с дирекционным направлением, определить квадрант, в котором находится это направление, не представляется возможным. Для получения однозначного ответа на этот вопрос в рассматриваемом автоматическом гироскопе предусмотрено производить предварительное, достаточно грубое, измерение проекции угловой скорости Земли не менее чем в четырех ориентациях оси чувствительности, развернутых в горизонтальной плоскости друг относительно друга на угол  $\pi/2$  с приходом в исходное положение, т.е. предусмотрено пять измерений  $\omega_{и}$  в пяти точках ( $i=1, 2, 3, 4, 5$ ). При этом дирекционное направление может находиться в любом из четырех квадрантов, а знак значения  $\cos A$  будет меняться с положительного на отрицательный при переходе ориентации дирекционного направления из II квадранта в III и с отрицательного на положительный - при переходе из IV квадранта в I. Поэтому для окончательного устранения неопределенности ориентации оси чувствительности необходимо привлечь информацию о знаках измеренных значений  $\omega_{и}$  в четырех точках ( $i=1, 2, 3, 4$ ) и по их сочетанию определить номер квадранта, в котором располагается ось чувствительности ДУСа.

Для обеспечения требуемой точности определения азимута необходимо принудительно ориентировать ось чувствительности ДУСа в оптимальное направление запад-восток, т.е. в зону углов  $90^\circ$  и  $270^\circ$ , и точные измерения проводить в оптимальной ориентации. Разворот из исходного положения в оптимальную ориентацию производится автоматически по результатам определения грубого значения исходного положения. Погрешность углов разворота не должна превышать  $0,5-1,0$  угл.сек, что обеспечивается предварительной паспортизацией углов многополюсного датчика угла при изготовлении прибора.

Для исключения погрешности, обусловленной наличием в измеренном сигнале проекции вертикальной составляющей угловой скорости Земли

вследствие наклона оси чувствительности ДУСа относительно горизонтальной плоскости, а также проявлением в этом случае ухода гироскопа от разбалансировки, необходимо иметь в гирокомпасе измерители наклона основания (датчики горизонта), обеспечивающие непрерывное измерение углов не горизонтальности основания БЧЭ.

Также известны наземные гирокомпасы (ГК) разных типов [3], применяемые для автономного определения азимутов направлений на неподвижном основании, недостатком которых является повышенная масса и габариты, повышенное время определения азимута.

Среди наземных ГК умеренной точности известны наземные ГК, выполненные по схеме датчика угловой скорости (ДУС) [3], измеряющего проекцию угловой скорости вращения Земли на ось чувствительности прибора, свободные от недостатков, указанных выше, но обладающие недостаточной точностью.

Известны наземные ГК, выполненные по схеме ДУС [3, 4], в которых для повышения точности и сокращения времени определения угла курса используются ДУС, выполненные на гироскопических чувствительных элементах с вертикальной ориентацией вектора кинетического момента.

В качестве гироскопических чувствительных элементов в указанных наземных ГК применяются динамически настраиваемые гироскопы (ДНГ), для наиболее полного использования возможностей которых в указанной ориентации их измерительных осей применяются специальные методики определения угла курса [4].

Недостатком схем известных наземных ГК с вертикальной ориентацией вектора кинетического момента гироскопического чувствительного элемента является повышенная трудоемкость операторского обслуживания, повышенное время определения азимутов в полевых условиях, связанные с отсутствием возможности автоматического ввода и обработки угла заданного ориентирного направления в измерительно-вычислительные устройства ГК.

Предлагаемый автоматический гирокомпас (рис.1.1) содержит гироблок 1, оптическое визирное устройство 2, треногу 3 с устройством горизонтирования 4, автономный источник питания 5. Гироблок 1 включает измерительно-вычислительное устройство 6, гиروزел 7, датчики наклона 8, гироскопический чувствительный элемент 9 с измерительными осями 10.

Гиروزел 7 установлен с возможностью вращения относительно гироблока 1. Измерительные оси 10 гироскопического чувствительного элемента 9 перпендикулярны оси вращения гиروزла 7 и подключены к измерительно-вычислительному устройству 6.

При подготовке гирокомпаса к работе к гироблоку 1 подключается автономный источник питания 5, с помощью которого осуществляется питание гирокомпаса, сам гироблок 1 фиксируется с помощью треноги 3 на поверхности Земли.

Датчики наклонов 8 используются для горизонтирования гироблока 1 с помощью устройства горизонтирования 4. В частной реализации сигналы с датчиков наклонов 8 могут также использоваться для выработки поправки к определяемому углу азимута, так как это осуществляется в схемах известных наземных ГК [4, 5].

В последнем случае информация с выходов датчиков наклонов 8 может поступать на входы измерительно-вычислительного устройства 6, в котором по измеренным сигналам с датчиков наклонов 8 может рассчитываться поправка к определяемому углу азимута.

Для уменьшения ошибки определения азимута ГК обеспечивается параллельность осей чувствительности датчиков наклонов 8 плоскости, содержащей измерительные оси 10 гироскопического чувствительного элемента 9.

Для удобства эксплуатации и обеспечения точности ввода заданного ориентирного направления в предлагаемом автоматическом ГК ось вращения оптического визирного устройства 2 располагается параллельно либо совмещается с осью вращения гиروزла 7.

В частной реализации в качестве гироскопического чувствительного элемента 9 в предлагаемом ГК может применяться динамически настраиваемый гироскоп, имеющий две ортогональные измерительные оси 10, образованные каждая соответствующим датчиком угла 11 и датчиком момента 12 (рис.1.2).

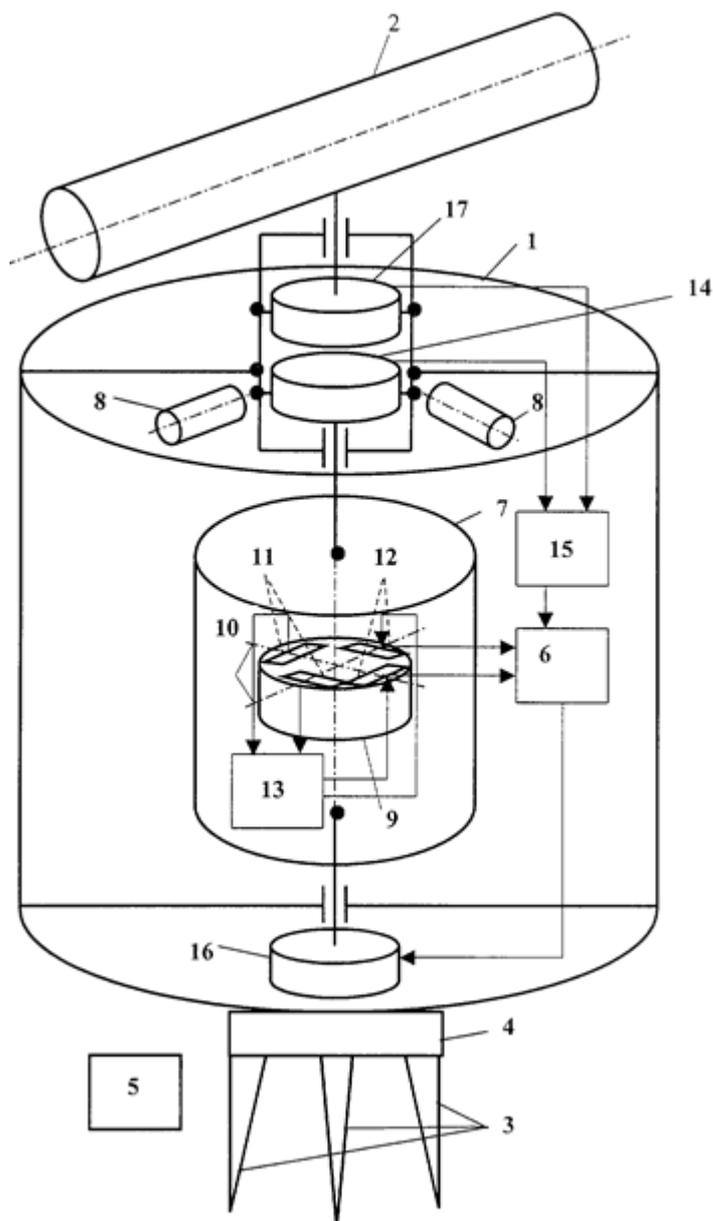


Рисунок 1.2. Электрокинематическая схема прибора.

В частной реализации для обеспечения работы ДНГ в режиме ДУС по двум измерительным осям 10, гиروزел 7, дополнительно может содержать усилительное устройство 13, на входы которого поступают сигналы с выходов датчиков углов 11, ДНГ 9, и после усиления с соответствующих выходов - на

датчики момента 12 ДНГ 9, замыкая цепи обратной связи гироскопического чувствительного элемента.

При работе ГК после горизонтирования гироблока 1 с помощью устройства горизонтирования 4 на соответствующих выходах усилительного устройства 13 вырабатываются сигналы, пропорциональные проекциям горизонтальной составляющей угловой скорости вращения Земли на измерительные оси 10 ДНГ 9:  $U_{y\ i} = U \cos \varphi \times \sin \alpha$ ;  $U_{x\ i} = U \cos \varphi \times \cos \alpha$ , где  $U$  - угловая скорость вращения Земли;  $\varphi$  - широта;  $\alpha$  - угол, определяющий угловое положение измерительных осей 10 гироскопического чувствительного элемента 9 относительно направления на Север,  $i$  - индекс положения измерительных осей 10 гироскопического чувствительного элемента 9 в азимуте.

Сигналы  $U_{y\ i}$ ,  $U_{x\ i}$  с выходов измерительных осей 10 ДНГ 9 поступают на входы измерительно-вычислительного устройства 6.

Сигналы с измерительных осей 10 гироскопического чувствительного элемента 9 непосредственно содержат информацию об определяемом азимутальном направлении, а именно, о проекциях горизонтальной составляющей угловой скорости вращения Земли на измерительные оси 10 в указанных положениях.

Искомый азимут может быть рассчитан по известному однопозиционному алгоритму:  $\alpha = \arctg(U_{y\ i} / U_{x\ i})$  или с использованием более сложных алгоритмов [5], например,  $\alpha = \arctg((U_{y\ 0} - U_{y\ 180}) / (U_{x\ 0} - U_{x\ 180}))$ ;  $\alpha = \arctg((U_{x\ 0} - U_{x\ 180}) / (2U_{x\ 90} - U_{x\ 0} - U_{x\ 180}))$ , где  $U_{x\ 0}$ ,  $U_{y\ 0}$ ,  $U_{x\ 90}$ ,  $U_{x\ 180}$ ,  $U_{y\ 180}$  - сигналы с измерительных осей 10 ДНГ 9 в исходном положении гиروزла 7 и положениях, развернутых относительно исходного соответственно на  $90^\circ$  и  $180^\circ$ .

Для всех рассмотренных электрокинематических схем оказалось обязательным требование по вертикализации прибора. В данной работе представлены две новые электрокинематические схемы прибора ориентации не требующие вертикализации.

## 2 Электрокинематические схемы прибора. Расчет требуемой точности датчиков линейных ускорений и датчиков угловых скоростей

Основной частью прибора является одноосная платформа П (рис.2.2), на которой установлен гироскопический ДУС. Ось чувствительности датчика совпадает с осью  $OX_{\Pi}$  и перпендикулярна оси подвеса платформы  $OZ_{Г0}$ . При вращении платформы относительно корпуса, ось чувствительности датчика будет менять ориентацию, оставаясь при этом в плоскости  $OX_{Г0}Y_{Г0}$ . В дальнейшем будем называть эту плоскость, экваториальной плоскостью прибора.

По оси подвеса платформы установлен датчик угла ДУ и интегрирующий привод. Двигатель – генератор ДГ с понижающим редуктором, сумматором и усилителем У образуют интегрирующий привод. Данная система обеспечивает плавное движение платформы П вокруг оси подвеса с постоянной скоростью, величина и направление которой характеризуется сигналом, поданным с вычислителя в виде напряжения  $U_{\text{уп}}$ . Так же стоит отметить, что именно плавность движения платформы позволит минимизировать погрешности ДУСа. Двигатель – генератор ДГ является комбинированной электрической машиной, который сочетает в себе исполнительный двигатель ИД и тахогенератор ТГ, причем роторы двигателя и тахогенератора расположены на одном валу.

На корпусе прибора закреплены два датчика линейных акселерометров, оси чувствительности которых лежат в одной плоскости, перпендикулярной оси подвеса прибора и направлены параллельно осям  $OX_{Г0}$  и  $OY_{Г0}$ . Сигналы с датчиков поступают на вычислитель. В вычислитель также поступает информация с датчика угла ДУ (энкодера) и датчика угловой скорости. Кроме того, перед началом работы в вычислитель вводится значение широты  $\varphi_0$  места расположения прибора. Предполагается, что вычислитель будет расположен вне корпуса прибора, выполнен в виде отдельного прибора и связан с данным прибором с помощью модемной связи, информация с чувствительных элементов подается через каналы связи.

Выходные параметры, определяемые гироскопическим прибором, являются углы Эйлера – Крылова  $\Psi$ ,  $\Phi$  и  $\Theta$ . Геометрический смысл этих углов представлен на (рис.2.1). Вычислитель производит вычисления по заданным алгоритмам, а также осуществляет общее управление прибором, в том числе вырабатывает необходимое напряжение управления  $U_{уп}$  для интегрирующего привода.

Принцип работы прибора заключается в следующем.

Прибор закрепляется на кровле штрека. Ось  $OX_{го}$  при установке прибора должна быть направлена ориентировочно по направлению продольной оси штрека на ГПК. Азимут и угол наклона прямой, соединяющей гироскопический прибор и ГПК в итоге должен определяться при помощи АПО. Ось  $OZ_{го}$  прибора может быть отклонена от вертикали на небольшой угол (до 10-20). Поскольку прибор неподвижен относительно Земли, то он будет вместе с Землей участвовать в её суточном вращении. Вектор угловой скорости вращения Земли  $\omega_3$  будет давать проекцию на экваториальную плоскость прибора, обозначим  $\omega_3$ . Датчик угловой скорости будет измерять составляющую  $\omega_{хп}$ , представляющую собой проекцию вектора  $\omega_3$  на ось чувствительности ДУСа  $OX_{п}$ . Отметим, что при неизменном относительно Земли положении прибора вектор  $\omega_3$  также будет оставаться неизменным, а измеряемая ДУСом составляющая будет зависеть от угла  $\varepsilon$  (рис.2.2). Если вращать платформу, то угловая скорость  $\omega_{хп}$  будет изменяться в функции от угла  $\varepsilon$  по гармоническому закону. При этом дважды за один оборот эта скорость будет обращаться в нуль. Если бы ось  $OZ_{го}$  была строго вертикальна, то проекция  $\omega_3$  совпадала бы с плоскостью географического меридиана, и тогда скорость  $\omega_{хп}$  обращалась бы в нуль при тех значениях угла  $\varepsilon$  при которых ось  $OX_{п}$  направлена либо на Восток, либо на Запад. При наклонах оси  $OZ_{го}$  значения углов  $\varepsilon$ , при которых скорость  $\omega_{хп}$  обращается в нуль, изменяются. Существует функциональная зависимость между значениями угла  $\varepsilon$ , при которых скорость  $\omega_{хп}$  обращается в нуль, углами наклона платформы  $\Phi$  и  $\Theta$ . Зная значения углов  $\varepsilon$ , при которых  $\omega_{хп}=0$ , углов наклона прибора  $\Phi$  и  $\Theta$  а также широты места  $\varphi_0$ , можно вычислить угол  $\Psi$ .

Углы  $\Phi$  и  $\Theta$  вычисляются по показаниям с датчиков акселерометров с учетом широты  $\varphi_0$ .

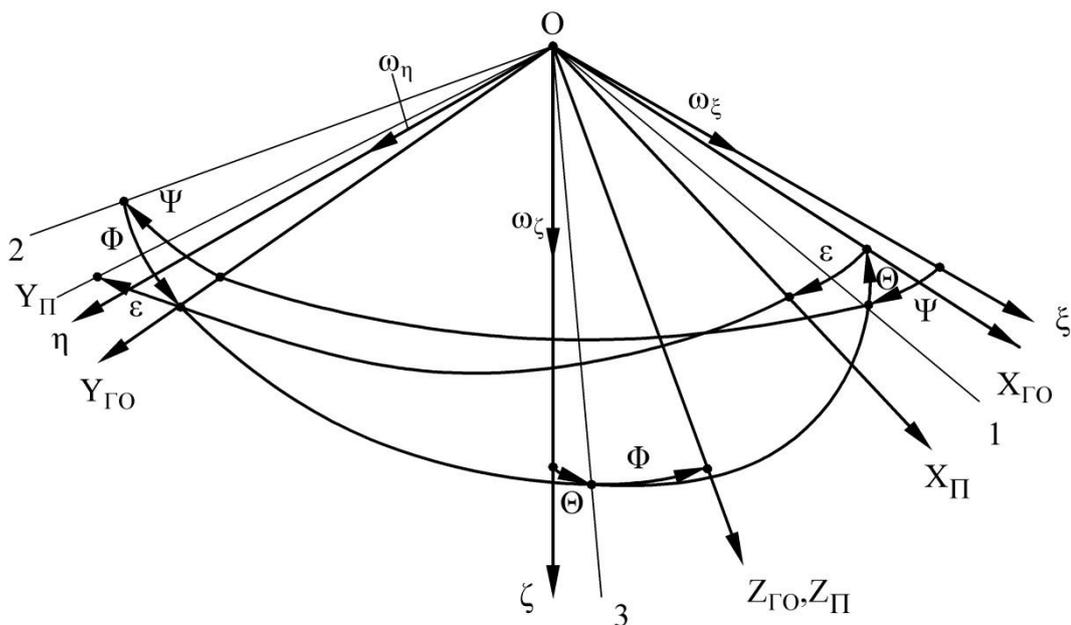


Рис.2.1. Расположение осей координат

На рис.2.1. обозначено:

$O\xi\eta\zeta$  – горизонтальная, географически ориентированная опорная система координат;

$OX_{го}Y_{го}Z_{го}$  – система координат, связанная с корпусом прибора;

$OX_{п}Y_{п}Z_{п}$  – система координат, связанная с платформой и датчиком угловой скорости, ось чувствительности которого совпадает с осью  $OX_{п}$ ;

$\varepsilon$  – угол поворота платформы П и датчика угловой скорости ДУС вокруг оси  $OZ_{го}$  относительно корпуса прибора КП;

$\omega_{хп}$  – проекция абсолютной угловой скорости вращения платформы на ось  $OX_{п}$ , измеренная датчиком угловой скорости;

$a_x, a_y$  – проекции кажущегося линейного ускорения, измеряемые датчиками акселерометров  $A_x$  и  $A_y$  соответственно;

$\varphi_0$  – широта места установки прибора;

$\Psi$  – истинный азимут оси  $OX_{го}$ ;

$\Theta$  – угол наклона оси  $OX_{го}$  по отношению к плоскости горизонта.

После выхода на режим датчика угловой скорости вычислитель подает на интегрирующий привод напряжение  $U_{упр}$ , вызывающее медленное вращение платформы в одну сторону. Угловая скорость  $\omega_{хп}$  будет изменяться в зависимости от угла  $\varepsilon$  по гармоническому закону. Вычислитель следит за изменением скорости  $\omega_{хп}$  и в моменты, когда скорость обращается в нуль, снимает показания с датчика угла.

Достаточно наблюдать за скоростью  $\omega_{хп}$  в течение одного оборота, чтобы была возможность вычислить азимут  $\Psi$ . Однако, для повышения точности, целесообразно наблюдать за изменением  $\omega_{хп}$  и определять соответствующие углы  $\varepsilon$  в течение нескольких оборотов. Затем значения угла  $\varepsilon$  усреднить. Таким образом, будут уменьшены ошибки компаса, вызванные случайными погрешностями ДУСа. Точность определения азимута тем самым увеличится, а если после вращения в одну сторону все наблюдения повторить при вращении в другую сторону, а окончательное значение угла  $\Psi$  определить как среднее из двух серий наблюдений, то за счет такого алгоритма обработки результатов точность возрастет. При этом будет скомпенсировано влияние на точность систематической погрешности ДУСа.

Если применить вместо однокомпонентного двухкомпонентный ДУС осей чувствительности которого направлены соответственно по осям  $Ox_{п}Oy_{п}$ , то при сохранении изложенного принципа работы точность может быть повышена еще больше. Одновременно наличие двух каналов позволяют производить самодиагностику ДУСа путем сравнения сигналов по каждому из каналов.

По категории сложности прибор относится к прецизионным гироскопическим устройствам. При изготовлении прибора должна быть обеспечена точная геометрия подвеса платформы, самой платформы, точная соосность полуосей платформы, а также точная установка датчиков акселерометров на корпусе. Гироскопический датчик угловой скорости, датчики акселерометров, энкодер и двигатель - генератор – покупные элементы. Редуктор интегрирующего привода не должен иметь люфт.

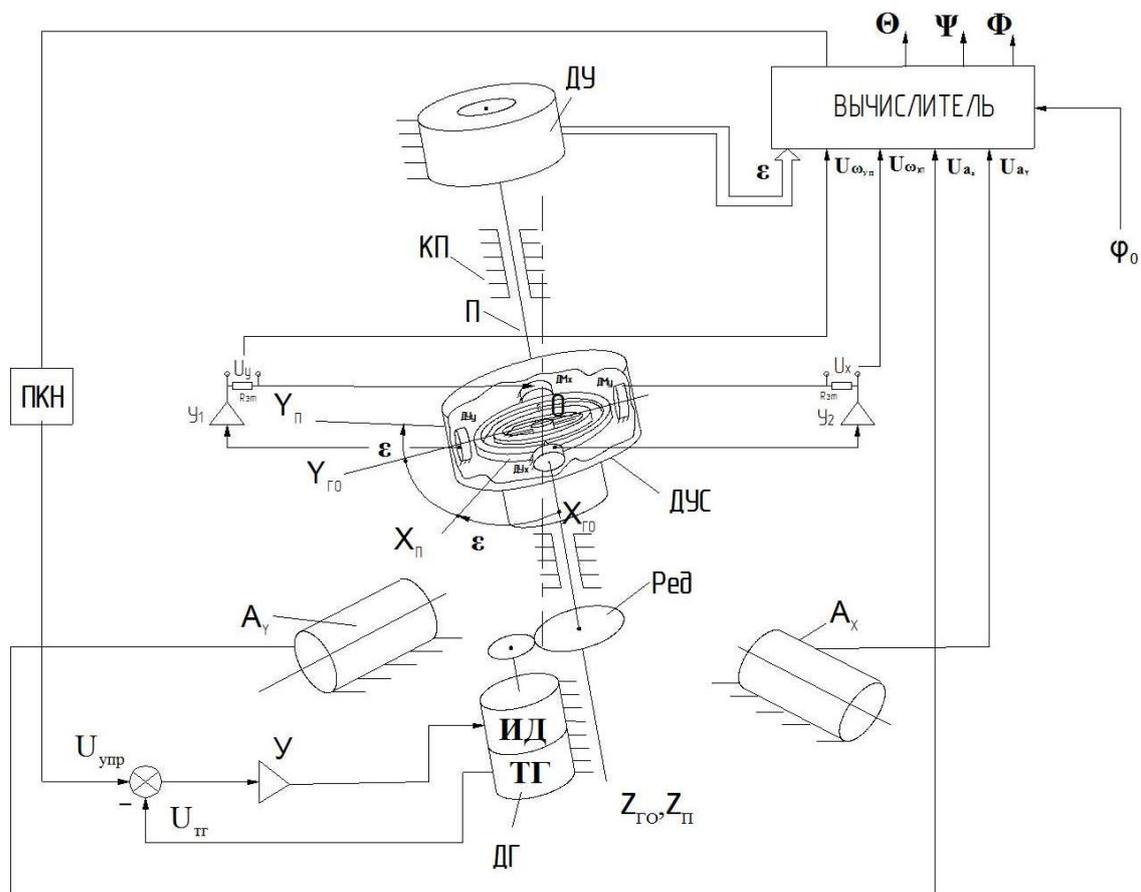


Рис.2.2. Первый вариант электрокинематической схемы АПО.

На рис. 2.2 обозначено:

КП - корпус прибора;

П – платформа;

ДУС – датчик угловой скорости, на основе гироскопа;

ДУ – датчик угла (энкодер);

ДГ – двигатель - генератор;

ИД – исполнительный двигатель;

ТГ – тахогенератор;

У – усилитель;

$A_x, A_y$  – датчики линейных акселерометров, оси чувствительности которых направлены параллельно осям  $Ox_{го}$  и  $Oy_{го}$ ;

$Ox_{го}y_{го}z_{го}$  – система координат, связанная с корпусом АПО;

$Ox_{п}y_{п}z_{п}$  – система координат, связанная с платформой и датчиком угловой скорости, ось чувствительности которого совпадает с осью  $Ox_{п}$ ;

$\varepsilon$  – угол поворота платформы П и датчика угловой скорости ДУС вокруг оси  $OZ_{го}$  относительно корпуса прибора КП;

$U\omega_{xp}, U\omega_{yp}$  – напряжения, характеризующие величины проекции абсолютной угловой скорости вращения платформы на оси  $OX_{п}, OY_{п}$  соответственно, измеренная датчиком угловой скорости;

$Ua_x, Ua_y$  – напряжения, характеризующие величины проекции кажущегося линейного ускорения, измеряемые датчиками акселерометров на оси  $A_x$  и  $A_y$  соответственно;

$\varphi_0$  – широта места установки АПО прибора;

$\Psi$  – истинный азимут оси  $OX_{го}$ ;

$\Theta$  – угол наклона оси  $OX_{го}$  по отношению к плоскости горизонта;

$\Phi$  – угол наклона оси  $OY_{го}$  по отношению к плоскости горизонта;

$ДУ_x$  – датчик угла по оси  $OX_{го}$  ДНГ;

$ДУ_y$  – датчик угла по оси  $OY_{го}$  ДНГ;

$ДМ_x$  – датчик момента по оси  $OX_{го}$  ДНГ;

$ДМ_y$  – датчик угла по оси  $OY_{го}$  ДНГ;

$У_x$  – усилитель по оси  $OX_{го}$ ;

$У_y$  – усилитель по оси  $OY_{го}$ ;

$U_x$  – сигнал с датчика угла  $ДУ_x$ ;

$U_y$  – сигнал с датчика угла  $ДУ_y$ ;

Ред – редуктор;

ПКН – преобразователь код-напряжение;

$R_{эт}$  – эталонное сопротивление.

## **2.1 Вариант с интегрирующим приводом и двухкомпонентным ДУСом**

Интегрирующий привод (интегрирующая следящая система) - следящая система непрерывного действия, применяемая для регулирования скорости вращения, а также в качестве электромеханического интегратора вычислительных устройств[6].

В нашей системе интегрирующий привод состоит из усилителя УС, электродвигателя ДГ, редуктора РЕД и тахогенератора ТГ (рис.2.3). С тахогенератора снимается напряжение, прямо пропорциональное угловой скорости вращения вала двигателя. Входное напряжение  $U_{упр}$  сравнивается с выходным напряжением тахогенератора  $U_{тг}$  и сигнал, прямо пропорциональный разности этих напряжений  $U_{упр} - U_{тг}$ , попадает на вход усилителя.

Выходной сигнал  $K_{ус}(U_{упр} - U_{тг})$  усилителя управляет двигателем ДВ.

Интегрирующий привод обеспечивает достаточную точность интегрирования при большом коэффициенте усиления прямой цепи.

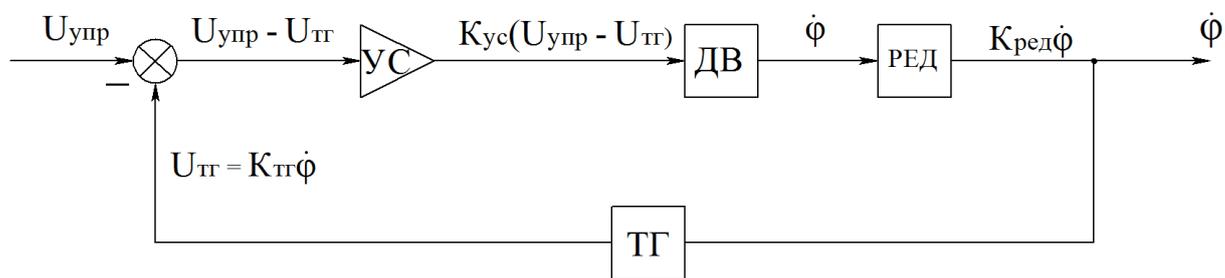


Рис.2.3 Структурная схема интегрирующего привода

В данной схеме информация об угловой скорости снимается с двух взаимно перпендикулярных осей чувствительности ДУСа, а вращение платформы осуществляется с помощью двигателя - генератора с редуктором. Плавность хода обеспечивается применением интегрирующего привода и разрезной шестерни последней ступени редуктора (последняя на схеме не указана).

Вариант кинематической схемы с интегрирующим приводом и двухкомпонентным ДУСом (ось вращения ротора гиродатчика совпадает с осью вращения платформы) представлена на (рис. 2.2) [7,8].

## 2.2 Вариант с приводом на основе одноосного индикаторного гиросtabilизатора и однокомпонентного ДУСа

Другой вариант - это построение системы на основе одноосного гиросtabilизатора индикаторного типа. В качестве чувствительного элемента гиросtabilизатора используется трехстепенный астатический гироскоп или динамически настраиваемый гироскоп. Свойство трехстепенного гироскопа сохранять заданное направление оси собственного вращения в инерциальном пространстве используется для измерения угловых отклонений платформы от требуемого положения и формирования стабилизирующего момента. Гироскоп устанавливается на платформе так, чтобы одна из его осей (наружная или внутренняя) была параллельна оси стабилизации. В такой схеме одна ось чувствительности измеряет угловую скорость, другая устанавливается параллельно оси подвеса платформы[9,10].

В виде тока сигнал с вычислителя поступает на преобразователь ПКТ далее сигнал в виде тока  $I_{упр}$  поступает на датчик момента  $DM_x$  по оси  $Ox_p$ . Вокруг оси  $Oy_{го}$  возникнет угловая скорость прецессии. С датчика угла  $DU_y$  поступает сигнал  $U_{ду}$  который после усиления подается на обмотку управления исполнительного двигателя ИД. Последний обеспечивает плавное вращение платформы с постоянной скоростью, пропорциональной току  $I_{упр}$ .

Электрокинематическая схема автоматического прибора ориентации (ось вращения ротора перпендикулярна оси вращения платформы) представлена на (Рис.2.4).

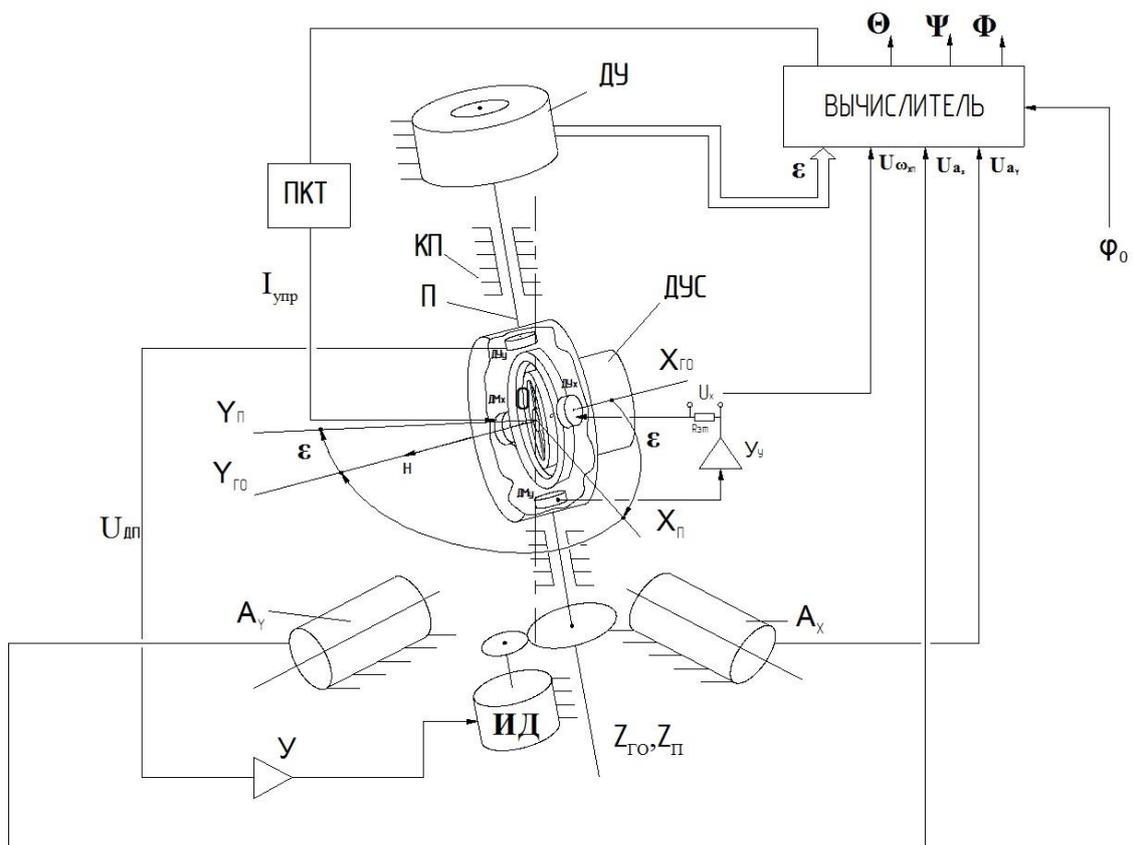


Рис.2.4 Второй вариант электрокинематическая схемы АПО.

На рис. 2.4 обозначено:

КП - корпус прибора;

П – платформа;

ДУС – датчик угловой скорости, на основе гироскопа;

ДУ – датчик угла (энкодер);

ДГ – двигатель - генератор;

ИД – исполнительный двигатель;

ТГ – тахогенератор;

У – усилитель;

$A_x, A_y$  – датчики линейных акселерометров, оси чувствительности которых направлены параллельно осям  $OX_{го}$  и  $OY_{го}$ ;

$OX_{го}Y_{го}Z_{го}$  – система координат, связанная с корпусом АПО;

$OX_{п}Y_{п}Z_{п}$  – система координат, связанная с платформой и датчиком угловой скорости, ось чувствительности которого совпадает с осью  $OX_{п}$ ;

$\varepsilon$  – угол поворота платформы П и датчика угловой скорости ДУС вокруг оси  $OZ_{го}$  относительно корпуса прибора КП;

$U\omega_{хп}, U\omega_{уп}$  – напряжения, характеризующие величины проекции абсолютной угловой скорости вращения платформы на оси  $OX_{п}, OY_{п}$  соответственно, измеренная датчиком угловой скорости;

$Ua_x, Ua_y$  – напряжения, характеризующие величины проекции кажущегося линейного ускорения, измеряемые датчиками акселерометров на оси  $A_x$  и  $A_y$  соответственно;

$\varphi_0$  – широта места установки АПО прибора;

$\Psi$  – истинный азимут оси  $OX_{го}$ ;

$\Theta$  – угол наклона оси  $OX_{го}$  по отношению к плоскости горизонта;

У – усилитель;

ДУ<sub>x</sub> – датчик угла по оси  $OX_{го}$  ДНГ;

ДУ<sub>y</sub> – датчик угла по оси  $OY_{го}$  ДНГ;

ДМ<sub>x</sub> – датчик момента по оси  $OX_{го}$  ДНГ;

ДМ<sub>y</sub> – датчик угла по оси  $OY_{го}$  ДНГ;

У<sub>y</sub> – усилитель по оси  $OY_{го}$ ;

U<sub>y</sub> – сигнал с датчика угла ДУ<sub>y</sub>;

I<sub>упр</sub> – сигнал управления с вычислителя;

U<sub>дп</sub> – сигнал с датчика момента ДМ<sub>y</sub> на моментный двигатель МД;

Ред – редуктор;

ПКТ – преобразователь код-ток.

Рэт – эталонное сопротивление.

### 2.3 Выбор чувствительных элементов

Датчик акселерометра ДА-11 для которого рассчитаны максимальные погрешности выбран по нескольким причинам:

Датчик удовлетворяет требованиям ТЗ. А именно, обеспечивает необходимую точность измерения, устойчив к механическим воздействиям, виброустойчив во всем диапазоне частот.

Напряжение питания для датчика угла ДУСа (на основе ГВК-6) и датчика акселерометра 10В 19,2 кГц. Подбор таких элементов не случаен т.к. применение такого рода датчиков упростит разработку плат питающих напряжений.

На кафедре ТПС есть опыт использования датчика акселерометра ДА-11 и гиродатчика ГВК-6. Также имеются платы обслуживающей электроники. Акселерометр ДА - 11, его основные характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1. Акселерометр ДА - 11, его основные характеристики.

Наименование параметра	Значение
1. Диапазон измерения, g	$\pm 10$
2. Порог чувствительности составляет, g	$5 \cdot 10^{-6}$
3. Составляющие погрешности акселерометра, определяющие точность измерения в диапазоне до 1g,:	
- смещение характеристики, не более, g	$\pm 5,8 \cdot 10^{-4}$
- вариация показаний, не более, g	$\pm 1 \cdot 10^{-4}$
- коэффициент квадратичной нелинейности, не более, 1/g	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$
- коэффициент кубической нелинейности, не более 1/g <sup>2</sup>	$\pm 3 \cdot 10^{-6}$
4. Составляющие температурной погрешности измерения ускорения:	0,1
-температурный коэффициент смещения характеристики g/°C	$\pm 9 \cdot 10^{-6}$
-температурный коэффициент крутизны характеристики g/°C	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$
5. Датчик акселерометра ДА-11 виброустойчив в	

диапазоне частот от 5 до 2000 Гц с максимальным ускорением вибрации, м/с <sup>2</sup>	65
6. Датчик акселерометра работоспособен в диапазоне температур, °С	-20..+85°С
7. Датчик акселерометра ударопрочен при ускорении до, м/с <sup>2</sup> с длительностью импульса 25 мс и частотой 40-80 ударов в минуту	200
8. Датчик акселерометра обеспечивает работоспособность при максимальном ускорении 20g, при этом потребляемые токи составляют:	30
-датчик акселерометра от источника переменного тока, В; кГц; мА (статор датчика угла);	2.5;19,2;40
от источника переменного тока, В; Гц; мА (электромагнит);	18;400;33

### 2.3.1 Погрешность определения параметров ориентации при использовании датчика акселерометров ДА-11

Под параметрами ориентации, которые определяются по сигналам с акселерометров, подразумевается углы  $\Theta$  и  $\Phi$ . Так как значения этих величин входят в алгоритм определения азимута, то точность определения азимута будет зависеть от точности определения следующих величин.

Ускорение силы тяжести у поверхности Земли зависит от широты, времени суток и других факторов. Приблизительно оно может быть вычислено (в м/с<sup>2</sup>) по эмпирической формуле[12]:

$$g = 9,780327 \cdot (1 + 0,0053024 \cdot \sin^2\varphi - 0,0000058 \cdot \sin^2 2\varphi) - 3,086 \cdot 10^{-6} \cdot h. \quad (2.1)$$

$\varphi$  – широта места (константа, «зашитая» в память вычислителя);

$h$  – альтитуда места (высота над уровнем моря).

Зададимся:  $\varphi = 50^\circ$ ,  $h = 500\text{м}$ .

$$g = 9,780327 \cdot (1 + 0,0053024 \cdot \sin^2 50^\circ - 0,0000058 \cdot \sin^2 2 \cdot 50^\circ) - 3,086 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 9,80915 \text{ м/с}^2.$$

Допустим, что параметры, переданные маркшейдерской службой оказались с ошибками.

Рассчитаем максимальную погрешность из-за не точного знания широты места  $\varphi$ . По формуле

$$\varphi = 51^\circ, h = 500\text{м};$$

$$g = 9,780327 \cdot (1 + 0,0053024 \cdot \sin^2 \varphi - 0,0000058 \cdot \sin^2 2\varphi) - 3,086 \cdot 10^{-6} \cdot h = 9,81003 \text{ м/с}^2.$$

Максимальную погрешность от  $h$ .

$$\varphi = 50^\circ, h = 550\text{м};$$

$$g = 9,780327 \cdot (1 + 0,0053024 \cdot \sin^2 \varphi - 0,0000058 \cdot \sin^2 2\varphi) - 3,086 \cdot 10^{-6} \cdot h = 9,80899 \text{ м/с}^2.$$

$$\Delta g(\varphi) = 9,80915 - 9,81003 = |0,00088| \text{ м/с}^2;$$

$$\Delta g(h) = 9,80915 - 9,80899 = |0,00016| \text{ м/с}^2.$$

Из расчетов видно, что погрешностями  $\Delta g(\varphi)$  и  $\Delta g(h)$  из-за их мизерности можно пренебречь.

Для определения  $\Theta$  и  $\Phi$  – углов крена и тангажа соответственно, воспользуемся алгоритмами вычисления углов ориентации объекта относительно плоскости горизонта [13,с.65]. Выбираем система с двумя акселерометрами:

$$\Theta^* = \arctg \frac{|a_x|}{\sqrt{g^2 - a_x^2}}, \quad (2.2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения в месте размещения прибора;

$a_x$  – проекция вектора  $\bar{a}$  кажущегося ускорения на ось  $OX$ , измеренная акселерометром  $A_x$ .

$$\Phi^* = \arctg \frac{a_Y}{\sqrt{g^2 - a_X^2 - a_Y^2}}, \quad (2.3)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения в месте размещения прибора;

$a_Y$  – проекция вектора  $\bar{a}$  кажущегося ускорения на ось ОХ, измеренная акселерометром  $A_Y$ .

Определим характеристики акселерометров и погрешность вносимую ими:

Для расчета погрешности методом численного эксперимента необходимо рассчитать проекции ускорения силы тяжести на оси чувствительности датчиков для каждого варианта начальных значений  $\Theta$ ,  $\Phi$ . Рассчитаем например, если  $\Theta = 15^\circ$ ,  $\Phi = 10^\circ$ ,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

$$a_X = g \cdot \sin\Theta = 9,8 \cdot \sin(15^\circ) = 2,5284 \text{ м/с}^2; \quad (2.4)$$

$$a_Y = -g \cdot \cos\Theta \cdot \sin\Phi = -9,8 \cdot \cos(15^\circ) \cdot \sin(10^\circ) = -1,6432 \text{ м/с}^2.$$

К этим показаниям нужно прибавить максимальную погрешность акселерометра, она равна  $0,0062 \text{ м/с}^2$ . Максимальная погрешность складывается из отклонения реального значения крутизны выходной характеристики, отклонения реального значения нулевого сигнала и нелинейности, числовые значения которых приведены в технических характеристиках акселерометра. Тогда

$$a_X = 2,5284 + 0,0062 = 2,5346 \text{ м/с}^2;$$

$$a_Y = -1,6432 + 0,0062 = -1,637 \text{ м/с}^2.$$

Вычислим  $\Theta^*$ ,  $\Phi^*$  (главные значения) используя параметры, в которых учтена погрешность датчиков, по формулам (3.6), (3.7):

$$\Theta^* = \arcsin \frac{|a_X|}{g} = \arcsin \frac{2,5346}{9,8} = 14,987^\circ;$$

$$\Phi^* = \arccos \frac{\sqrt{g^2 - a_X^2 - a_Y^2}}{\sqrt{g^2 - a_X^2}} = \arccos \frac{\sqrt{86,9472}}{\sqrt{89,6472}} = 10,0025^\circ.$$

$\Phi^* = \Phi$  - главное значение угла.

Погрешность будет вычисляться путем нахождения разницы начального (заданного) значения и главного, с учетом погрешностей и заданных алгоритмов вычисления.

$$\Delta\Theta = \Theta^* - \Theta = 14,987 - 15 = -0,013^\circ (0,78 \text{ угл. мин.}); \quad (2.5)$$

$$\Delta\Phi = \Phi^* - \Phi = 10,0025 - 10 = 0,0025^\circ (0,15 \text{ угл. мин.}); \quad (2.6)$$

Максимальная погрешность определения углов  $\Theta$  и  $\Phi$  не выходит за пределы, что указаны в ТЗ. Угл. мин., не более -1

### **2.3.2 Требования к гироскопическому датчику угловой скорости и оценка точности определения азимута**

Требования к гироскопическому датчику угловой скорости на данном этапе оценить сложно, поскольку трудно оценить влияние различных вредных факторов, присутствующих в реальной конструкции (помехи электрического происхождения, влияние вибрации от работающего гиromотора и интегрирующего привода, нестабильности параметров звеньев, запаздывание и пр.) Поэтому приведем лишь некоторые оценки.

Представим себе, что прибор установлен на экваторе ( $\varphi_0 = 0$ ) строго вертикально ( $\Theta = 0, \Phi = 0$ ). Определим, с какой точностью необходимо измерить угловую скорость вблизи её нулевого значения, чтобы погрешность определения угла  $\varepsilon$  не превысила 1 угл. минуту.

$$\omega = \Omega_3 \cdot \sin 1^\circ = 15,04 \cdot 0,00029 \text{ град./час} = 0,00436 \text{ град./час.} \quad (2.7)$$

При увеличении широты  $\varphi_0$  требования к гироскопу возрастают еще больше. Ошибка в определении угла наклона в плоскости Восток-Запад также вызывает погрешность в определении азимута. Так, на широте  $45^\circ$  погрешность в определении наклона в 1 угл. минуту дает погрешность в определении азимута также в 1 угл. минуту.

Чтобы обеспечить такую точность необходимо применять ДУС навигационного класса.

### 2.3.3 Выбор чувствительного элемента для компасной части макета

У кафедры ТПС есть большой опыт использования ДУСа ГВК – 6 [14]. Из динамически настраиваемых гироскопов это один из лучших по точностным характеристиками. Основные технические данные гиродатчика ГВК - 6 приведены в таблице 2.

Таблица 2 Основные технические данные гиродатчика ГВК - 6

1. Напряжения питания, В	
1.1 Двигателя - переменное двухфазное прямоугольной формы частотой 480Гц±0,02%	
при разгоне (форсированный режим)	18±2,7
в рабочем режиме	10±1,0
1.2 Датчика угла - переменное синусоидальной формы частотой 19,2 кГц±0,1%	
1.3 Обогревательных элементов - переменное синусоидальной формы частотой 400Гц±5%	
115±3	
2. Потребляемая мощность	
2.1 двигателя, не более	
в форсированном режиме	20
в рабочем режиме	3
2.2 обогрева	
80	
3. Потребляемый ток датчиком угла, мА, не более	
70	
4. Резонансная частота, Гц	
240±0,15	
5. Постоянная времени, с, не менее	
50	
6. Параметры скорости дрейфа:	
6.1 Систематическая составляющая, °/ч, в пределах	
в вертикальном положении	±3
в горизонтальном положении	±6
6.2 Изменение систематической составляющей скорости дрейфа от запуска к запуску, °/ч, в пределах:	

в вертикальном положении	$\pm 0,01$
в горизонтальном положении	$\pm 0,015$
6.3 Случайная составляющая, $^{\circ}/ч$ , в пределах:	
в вертикальном положении	$\pm 0,01$
в горизонтальном положении	$\pm 0,02$
6.4 Среднеквадратическое отклонение скорости дрейфа, $^{\circ}/ч$ , не более:	
в вертикальном положении	0,01
в горизонтальном положении	0,015
6.5 Составляющая от осевого дисбаланса, $^{\circ}/(ч \times g)$ , в пределах	$\pm 1$
6.6 Нестабильность скорости дрейфа, пропорциональной ускорению, $^{\circ}/(ч \times g)$ , в пределах	$\pm 0,03$
6.7 Квадратурная составляющая, $^{\circ}/(ч \times g)$ , в пределах	$\pm 3$
6.8 Составляющая от поступательной вибрации с частотой вращения, $^{\circ}/(ч \times g)$ , в пределах	$\pm 0,8$
7. Температурный коэффициент скорости дрейфа, $^{\circ}/(ч \times g)$ , в пределах	
в вертикальном положении	$\pm 0,01$
в горизонтальном положении	$\pm 0,02$
8. Крутизна датчиков угла, мВ/угл. мин., в пределах	$4,5 \pm 1$
9. Модуляция выходного сигнала датчика угла, угл. сек., не более	6
10. Крутизна датчика момента, $^{\circ}/(ч \times mA)$ , в пределах	
основной канал	$85 \pm 20$
компенсационный канал	$32 \pm 8$
11. Нестабильность и нелинейность крутизны датчика момента (основной канал), %, в пределах	$\pm 0,03$
12. Не выставка осей датчиков момента относительно осей гироскопа, угл. мин., в пределах	$\pm 1,0$
13. Не выставка датчиков угла относительно оси вращения, угл. сек. в пределах	12

14. Максимальная входная угловая скорость, °/с	1,2
15. Рабочая температура, °С	75±0,5
16. Время готовности при работе системы термостатирования, мин, не более	
при температуре окружающей среды от (-60)°С до (-30)°С	11
при температуре окружающей среды свыше (-30)°С до (+60)°С	8
17. Габаритные размеры, мм	Ø54/ Н=44
18. Масса, г, не более	270±20

### 2.3.4 Расчет требуемой точности ДУС

Будем считать что ДУС идеальный, собственная погрешность ДУСа  $\Delta_{\text{ДУС}} = 0$ .

Рассчитаем погрешность определения азимута с учетом погрешности, вносимой датчиками акселерометров.

Формула для расчета главного угла  $\Psi^*$  [7].

$$\Psi^* = \arccos \left[ \operatorname{tg} \varphi_0 \frac{-\sin \Theta \cdot \cos \varepsilon + \sin \Phi \cdot \cos \Theta \cdot \sin \varepsilon}{-\cos \Theta \cdot \cos \varepsilon - \sin \Phi \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \Phi} \cos \left( \operatorname{arctg} \frac{\cos \Theta \cdot \sin \varepsilon}{-\cos \Theta \cdot \cos \varepsilon - \sin \Phi \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \Phi} \right) \right] + \operatorname{arctg} \frac{\cos \Theta \cdot \sin \varepsilon}{-\cos \Theta \cdot \cos \varepsilon - \sin \Theta \cdot \sin \Phi \cdot \sin \varepsilon} \quad 2.8$$

Пусть:  $\varphi_0 = 50$ ;  $\Phi = 5^\circ$ ;  $\Theta = 5^\circ$ ;  $\varepsilon = 10^\circ$

$$\Psi^* = 146^\circ 50' 56''$$

Погрешность, обусловленная неточностью измерения угла  $\Phi$ :

Пусть:  $\Phi = 5^\circ + \Delta\Phi = 5,013^\circ$ ;

$$\Psi^* = 146^\circ 49' 25''$$

Погрешность не выходит за пределы указанные в ТЗ.

Погрешность вносимая неточностью измерения угла  $\Theta$ :

$\Theta = 5^\circ + \Delta\Theta = 5,0025^\circ$ ;

$$\Psi^* = 146^\circ 49' 36''$$

Погрешность не выходит за пределы указанные в ТЗ.

Систематическая составляющая погрешности гиродатчика ГВК-6 (таблица 2) превышает расчетную (формула 2.1). Из этого следует вывод, что

данный ДУС не способен определять параметры ориентации с точностью указанной в ТЗ. В связи с этим предлагаются методы частичной компенсации погрешности ДУС представленные в следующем разделе.

### 2.3.5 Выбор датчик угла (энкодера)

В проектируемом приборе датчик углового положения должен обладать высокой точностью и быстродействием. В проектируемом приборе алгоритмы обработки информации и способы борьбы с погрешностями датчиков зависят от точности определения углов поворота платформы поэтому, а так как специфика задачи стоит в определении угла с погрешностью 1-2 угл. мин. Погрешность за счет энкодера должна быть минимальной. Поэтому в качестве датчика угла выбираем инкрементный угловой фотоэлектрический преобразователь перемещений ( инкрементный энкодер) ЛИР-190 С.

Так как энкодер имеет инерционность, информация о повороте платформы будет передаваться с запаздыванием. Это будет вызывать накопление ошибки в определении азимута  $\Psi$ . Чтобы уменьшить ошибку будем вращать платформу со скоростью ( $< 1$  об/мин.).

Рассчитать погрешность, вносимую энкодером в определении величины  $\varepsilon$  на данном этапе определить сложно, известно только что она будет складываться из:

$$\Delta\varepsilon = \Delta_{ст} + \Delta_{дин} + \Delta_{дус} , \text{ где}$$

$\Delta_{ст}$  –статическая погрешность энкодера, указанная в технической характеристике.

$\Delta_{дин}$  – погрешность, обусловленная инертностью системы;

$\Delta_{дус}$  – погрешность вносимая ДУСом.

Технические характеристики энкодера приведены в таблице 3.

Таблица 3 Технические характеристики энкодера ЛИР-190 С

Разрешающая способность преобразователя	до 1800000 дискрет/оборот
Диаметр корпуса, мм	90

Особенность конструкции	Цельный вал
Модификация преобразователя	С
Конструктивное исполнение	3
Напряжение питания, В	+5
Ток потребления не более, мА	100
Выходной сигнал	ПИ (TTL)
Количество штрихов на измерительном лимбе	18000
Коэффициенты интерполяции	5
Интервал рабочих температур °С	от 0 до +70
Класс точности	3 класс ±2,5"
Степень защиты от внешних воздействий	IP66
Масса (без кабеля), кг	0,95
Максимальная скорость вращения вала, об./мин.	4000
Вибрационное ускорение в диапазоне частот (55...2000) Гц, м/с <sup>2</sup>	≤ 100
Момент трогания ротора (20°С), Н·м	≤ 0,05
Ударное ускорение, м/с <sup>2</sup>	≤ 300 м/с <sup>2</sup>
Момент инерции ротора, кг·м <sup>2</sup>	6,0x10 <sup>-5</sup> кг·м <sup>2</sup>
Допустимое осевое смещение вала, мм	± 0,1
Допустимое радиальное смещение вала, мм	± 0,1

### 3 Поиск алгоритмов обработки информации с датчика угловой скорости, обеспечивающих наивысшую точность ориентации

Особенность решаемой задачи состоит в том, чтобы обеспечить высокую (с погрешностью не превышающую 1-2 угл. мин.) точность определения углов, характеризующих ориентацию прибора по отношению к опорной системе координат (СК). С этой целью использован высокоточный двухкомпонентный ДУС на основе динамически настраиваемого гироскопа (ДНГ), а также датчики акселерометров навигационного класса. Разработаны алгоритмы обработки информации с датчиков прибора, обеспечивающие наивысшую точность определения углов. Разработка алгоритмов велась в стремлении исключить влияние типовых дефектов статических характеристик датчиков на точность определения параметров ориентации.

#### 3.1 Типовые дефекты измерителей преобразователей

Типовые дефекты: смещение нуля, изменение крутизны характеристики, нелинейность характеристики (рис.3.1). Из трех дефектов «нелинейность характеристики» в малой степени характерна для приборов компенсационного типа (в цепи обратной связи таких приборов включен элемент с линейными характеристиками). Примером такого устройства может служить двухкомпонентный датчик угловой скорости на основе ДНГ.

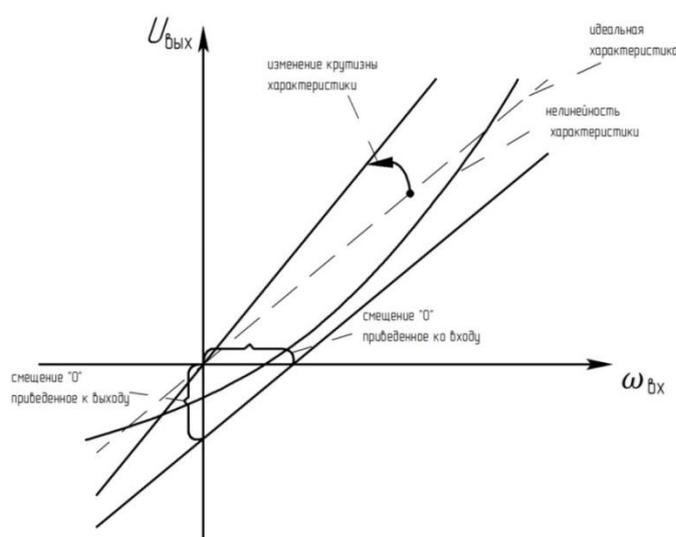


Рисунок 3.1 Типовые дефекты измерителей преобразователей.

### 3.2 Погрешности в измерительном канале ДУСа

Рассмотрим канал измерения угловой скорости. Представим что все звенья образующие цепь обратной связи, являются линейными и безынерционными. Как видно, динамические процессы в измерительном канале соответствуют таковым для апериодического звена первого порядка (рис.3.2).

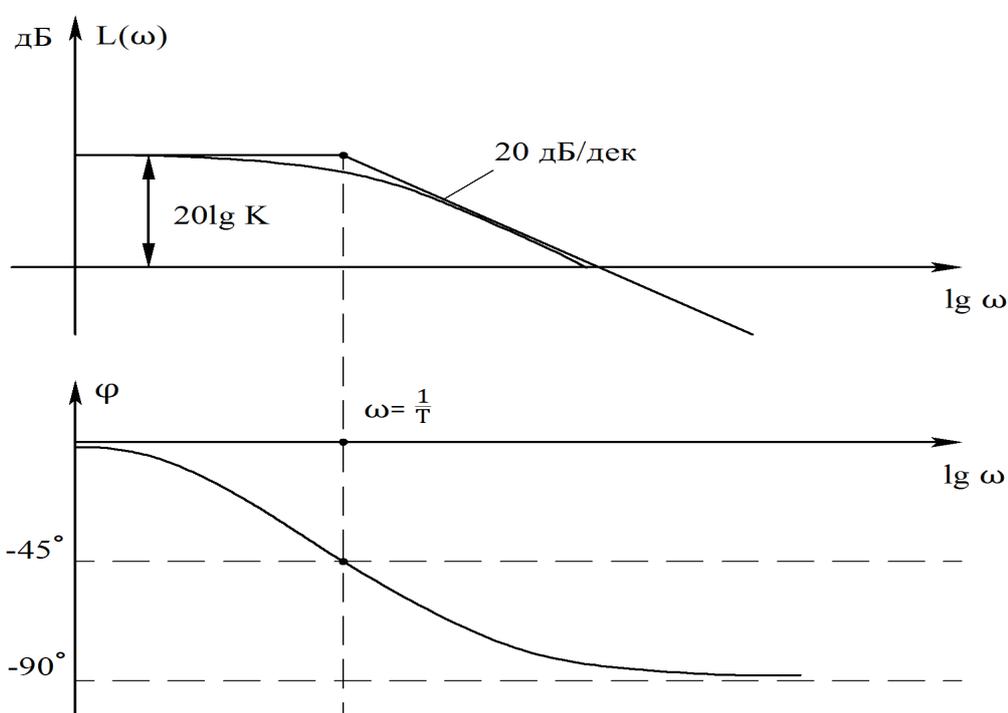


Рис. 3.2 АЧХ и ФЧХ сигнала с ДУС.

$$\Delta\varphi = -\arctg qT$$

$q$  – частота измерения измеряемой угловой скорости

Предлагаются 3 алгоритма:

1. Определение азимутального угла основано на анализе выходных сигналов с двухкомпонентного ДУСа при медленном постоянном вращении платформы по отношению к корпусу (рис.3.3). Определяется угловое положение платформы в те моменты времени, когда сигналы с выходов ДУСа равны нулю. Среднее положение между нулевыми точками и есть проекция искомого вектора, (направление на Север или Юг). Так как ДУС содержит две оси чувствительности, то результаты измерения по одной оси будут отличаться от результатов измерения по другой на  $90^\circ$ . Путем усреднения результатов

измерения с осей чувствительности можно повысить точность определения азимута. Точность определения азимута также можно повысить путем вращения платформы в одну сторону и в противоположную, а также увеличив количество оборотов платформы.

Метод позволяет исключить из результата ошибки, вызванные смещением нуля и отклонением чувствительности прибора от номинального значения от пуска к пуску.

Недостаток алгоритма: не работоспособен, если величина смещения нуля больше или равна амплитуде угловой скорости, измеряемой ДУСом.

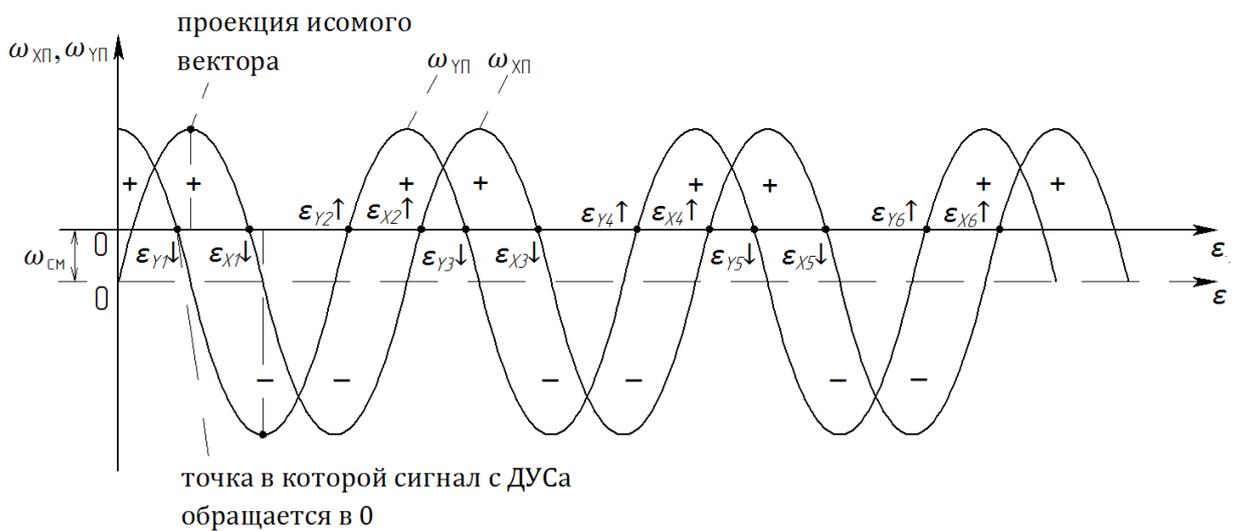


Рис.3.3 Схема движения платформы.

Алгоритм вычисления главного значения угла характеризующего положение платформы относительно корпуса прибора.

$$\vec{\epsilon}_{sin} = \frac{(\vec{\epsilon}_{X6} - \vec{\epsilon}_{X5}) + (\vec{\epsilon}_{X4} - \vec{\epsilon}_{X3}) + (\vec{\epsilon}_{X2} - \vec{\epsilon}_{X1})}{6};$$

$$\vec{\epsilon}_{cos} = \frac{(\vec{\epsilon}_{Y6} - \vec{\epsilon}_{Y5}) + (\vec{\epsilon}_{Y4} - \vec{\epsilon}_{Y3}) + (\vec{\epsilon}_{Y2} - \vec{\epsilon}_{Y1})}{6} + 90^\circ + \Delta;$$

$$\tilde{\epsilon}_{sin} = \frac{(\tilde{\epsilon}_{X6} - \tilde{\epsilon}_{X5}) + (\tilde{\epsilon}_{X4} - \tilde{\epsilon}_{X3}) + (\tilde{\epsilon}_{X2} - \tilde{\epsilon}_{X1})}{6};$$

$$\tilde{\epsilon}_{cos} = \frac{(\tilde{\epsilon}_{Y6} - \tilde{\epsilon}_{Y5}) + (\tilde{\epsilon}_{Y4} - \tilde{\epsilon}_{Y3}) + (\tilde{\epsilon}_{Y2} - \tilde{\epsilon}_{Y1})}{6} + 90^\circ + \Delta;$$

$$\hat{\epsilon} = \frac{\vec{\epsilon}_{sin} + \vec{\epsilon}_{cos}}{2}; \quad \hat{\tilde{\epsilon}} = \frac{\tilde{\epsilon}_{sin} + \tilde{\epsilon}_{cos}}{2};$$

$$\varepsilon = \frac{\vec{\varepsilon} + \hat{\varepsilon}}{2}$$

2. Определение азимутального угла основано на анализе значений измеренной угловой скорости на выходах двухкомпонентного ДУСа в четырех положениях платформы (при разворотах платформы строго на 90° градусов) (рис.3.4). В этом случае при соответствующей обработке информации с каналов ДУСа можно исключить влияние смещения нуля. Кроме того, появляется возможность производить взаимное тестирование каналов ДУСа. Привод должен обеспечивать поворот платформы в четыре фиксированные угловые положения следующие друг за другом строго через 90°. Частично компенсируются ошибки из-за присутствующих помех в выходных сигналах ДУСа (внутренние вибрации, вызываемые шумом подшипников; помехи наводимые в обслуживающей электронике). Датчик измеряет модуль того же вектора, но с противоположным знаком.

Данный алгоритм не имеет недостатки первого алгоритма.

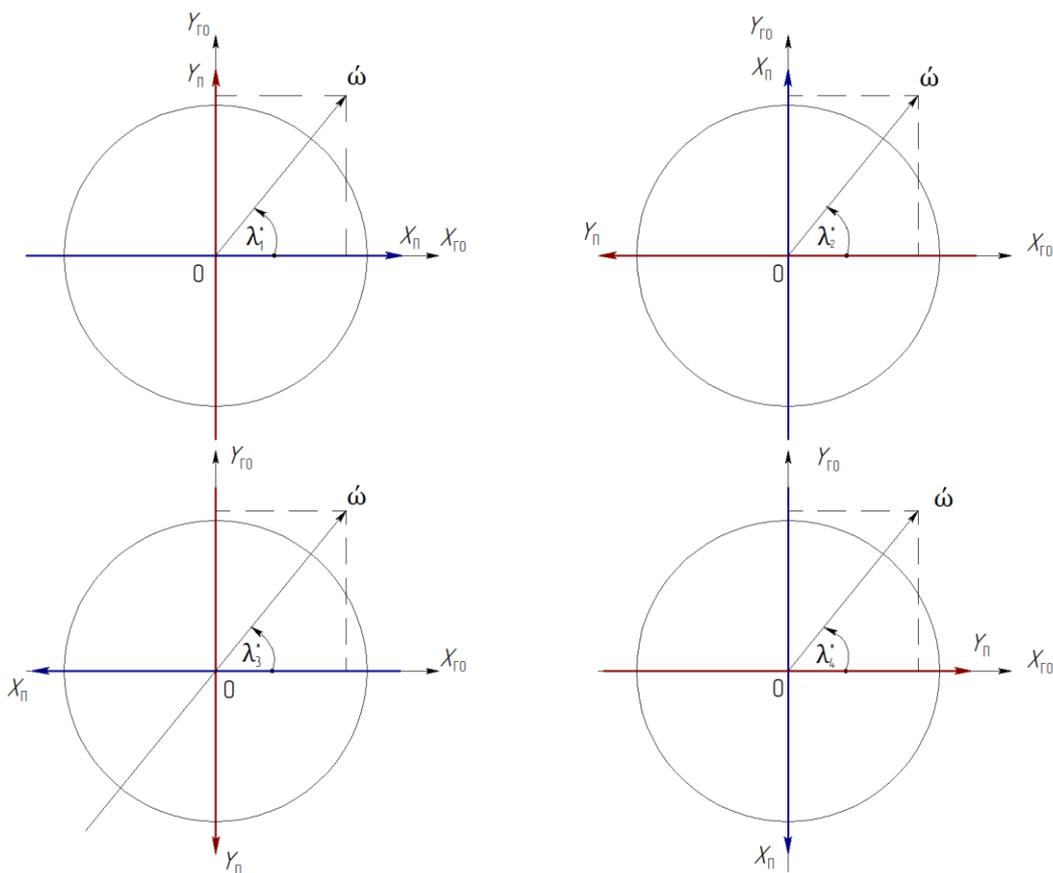


Рис.3.4 Схема движения платформы.

Алгоритм вычисления главного значения угла  $\lambda^*$  характеризующего положение платформы относительно корпуса прибора.

$$\lambda_1^* = \operatorname{arctg} \frac{U_{Y1} - U_{Y3}}{U_{X1} - U_{X3}}; \quad \lambda_2^* = \operatorname{arctg} \frac{U_{X2} - U_{X4}}{U_{Y2} - U_{Y4}};$$

$$\lambda_3^* = \operatorname{arctg} \frac{U_{Y3} - U_{Y1}}{U_{X3} - U_{X1}}; \quad \lambda_4^* = \operatorname{arctg} \frac{U_{X4} - U_{X2}}{U_{Y4} - U_{Y2}}$$

Также имея две измерительные оси не сложно перейти к главному значению угла, для этого необходимо определить знак проекции угловой скорости вращения земли на оси  $OX_{п}$ ,  $OY_{п}$ . На рисунке показан вариант когда вектор угловой скорости вращения земли лежит в I квадранте.

3 Определение азимутального угла основано на вычислении функции невязки при фиксированных положениях платформы. Такая идея использована в гироинклинометре ИГН 73-100/80 разработки и производства ОАО «Арзамасский приборостроительный завод». Там предлагается определять поворота платформы как произведение ее скорость вращения на время. Очевидно, что такой способ не очень точен.

В нашем случае в качестве измерителя угла используется энкодер высокой точности.

Окончательный выбор рабочего варианта алгоритма будет осуществлён, после проведения экспериментальных исследований прибора, действующий макет которого в настоящее время находится в разработке.

## **4 Конструирование прибора**

### **4.1 Общие принципы конструирования**

Разработка конструкции производилась с целью реализации электрокинематических схем прибора представленных на (рис.2.2, 2.4)

В качестве основы для создания макета выбрана конструкция авиационной малогабаритной гировертекали МГВ-1СК. В частности, у данного прибора заимствованы корпус с крышкой, наружная рама с опорами подвеса и токопередающее устройство. Корпус представляет собой литейный сплав внутри которого расположена внутренняя рама (подвес), закрепленная с помощью шарикоподшипников, такая конструкция позволяет раме вращаться. На внутренней раме предусмотрен посадочный диаметр под шестерню и коллекторный токоподвод. Также на кафедре ТПС имеются некоторые чувствительные элементы для макета, такие как ГВК-6 (динамически-настраиваемый гироскоп), ДА-11 (датчики акселерометров). В качестве двигателя - генератора ДГ-0,1ТВ.

### **4.2 Конструкция узла энкодера**

Датчик угла (энкодер) устанавливается в верхней части прибора на промежуточную раму. Связывается с полуосью платформы с помощью соединительной муфты сильфонного типа. Применение муфты необходимо для компенсации не соосности полуоси подвеса и выходной оси энкодера.

### **4.3 Конструкция рамы с гиродатчиком**

Так как в приборе используется ДУС на основе ДНГ, для его нормальной работы нужно обеспечить необходимый тепловой режим. Для этой цели на ДНГ имеется две нагревательных обмотки. Из чертежа общего вида можно заметить, что ДУС устанавливается в специальную оправку, которая в свою

очередь устанавливается на платформу, выполненную из дюралюминия Д-16, который обладает большой теплоемкостью. Чтобы сократить время нагрева и не допустить передачи тепла на раму подвеса, которая устанавливается в корпус на шарикоподшипниковые опоры. Применен фторопластовый изолятор, выполненный в виде стаканчика в который устанавливается ДУС вместе с оправкой, крепление оправки к платформе происходит при помощи специальных втулок. Опоры обеспечивают строгую перпендикулярность установки.

Решение применять фторопластовый изолятора было, принято основываясь на опыте создания гироскопа, который разрабатывался, на кафедре ТПС в котором применялся то же ДНГ.

Решением применять в качестве заготовки для платформы дюралюминия Д-16, было основано на том, что, во-первых из имеющихся прутков подходящего диаметра он был в наличии, во-вторых этот материал легко обрабатывается.

#### 4.4 Питание электромеханических компонентов

Так как в корпусе прибора установлена вращающаяся платформа питание для электрических элементов целесообразно передавать через коллекторный токоподвод. Имеется коллекторный токоподвод ГК-4. При применении такого рода элементов необходимо отделять цепи с высоким номиналом во избежание явления электромагнитной индукции.

Технические характеристики ГК-4 приведены в таблице 4.

Таблица 4 Технические характеристики ГК-4.

Количество коммутируемых цепей	Переходное сопротивление, Ом	Мин. и макс. ток через контакты, мкА, А	Максимальная скорость коллектора, об/мин.	Момент трения, г/см
36	0,2	0,1-2	60	50

При конструировании очень важно соблюсти перпендикулярность и параллельность осей чувствительности чувствительных элементов. Это ось подвеса платформы должна быть строго перпендикулярна осям чувствительности акселерометров.

Для электрокинетической схемы с интегрирующим приводом (п.2) ось вращения ротора ДУСа должна быть строго параллельна оси подвеса платформы и перпендикулярна осям чувствительности акселерометров.

Для электрокинетической схемы, привод которой реализован на основе принципа действия одноосного гиросtabilизатора (п.2.2) ось стабилизации должна быть параллельна оси подвеса платформы и перпендикулярна осям чувствительности акселерометров[15,16].

#### **4.5 Вращающий привод**

Для обеспечения плавного движения платформы с малой угловой скоростью рассматривалось несколько вариантов. Это и применение двух двигателей расположенных друг относительно друга на  $180^\circ$  так, чтобы моменты, создаваемые ими, были направлены на встречу друг другу, таким образом, создается искусственный натяг, и если увеличить момент на одном из двигателей, то вращение шестерни будет происходить без люфта. Также рассматривались варианты с разрезной шестерней, где используется две одинаковые шестерни, зубья которых смещены относительно друга-друга за счет пружин, устанавливаемых в специальные пазы. Таким образом, в зубчатом зацеплении между трибкой редуктора и разрезной шестерню будет отсутствовать люфт, подбор двигателя для этого варианта в следующей главе. Следующий вариант это использование системы построенной на принципе работы одноосного гиросtabilизатора (п.2.2).

#### **4.6 Двигатель генератор ДГ-0,1 ТВ**

В приборе для обеспечения плавности хода с постоянной скоростью применяется интегрирующий привод, частью которого является двигатель генератор ДГ-0,1ТВ с 3х ступенчатым редуктором (рис.3.1). Чем ниже скорость вращения платформы, тем точнее определения угла азимута  $\Psi$ . Рассчитаем, с какой скоростью двигатель-генератор в паре с редуктором обеспечит вращение в номинальном режиме работы.

Результаты расчета:

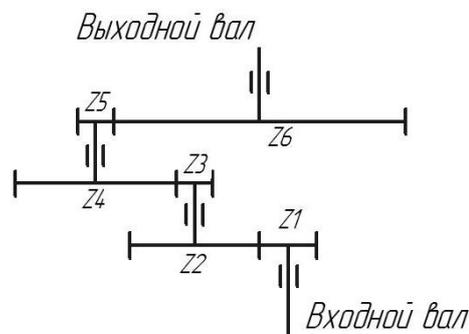


Рис.4.1 Схема редуктора.

Где,

$Z1=14; Z2=34; Z3=8; Z4=60; Z5=10; Z6=272$ , число зубьев шестерен.

$$u = \frac{z_6}{z_5} \times \frac{z_4}{z_3} \times \frac{z_2}{z_1}, \text{ передаточное число редуктора [6].} \quad (3.1)$$

Технические характеристики двигателя ДГ0,1ТВ приведены в таблице 5.

Таблица 5 Технические характеристики.

Тип	Пусковой момент, Г×см, не менее	Скорость холостого хода, об/мин, не менее	Крутизна выходного сигнала генератора, В на 1000 об/мин, не менее	Потребляемые токи, мА, не более			Напряжение, В		Частота, Гц
				Возбужд. двиг.	Управл. двиг.	Возбужд. генерат.	В цепи возбужд.	В цепи управл.	
ДГ-0,1ТВ	2,6	7600	0,1	80	70	80	36±10%	до 30	400 ±8

$$u = \frac{z_6}{z_5} \times \frac{z_4}{z_3} \times \frac{z_2}{z_1} = \frac{272}{10} \times \frac{60}{8} \times \frac{34}{14} = 490, \text{ общее передаточное число.}$$

Момент на валу третьей ступени равен:

$$M_{вр3} = u \times M_{пуск} = 490 \times 2,6 = 1274 \text{ Гс} \times \text{см.} \quad (3.2)$$

Для зубчатого колеса с числом зубьев  $Z_6=272$  и модулем зуба  $m=0,5$  определим диаметр:

$$d = Z_6 \times m = 272 \times 0,5 = 136 \text{ мм} = 13,6 \text{ см.} \quad (3.3)$$

Рассчитаем усилие, которое будет действовать на зубья в зубчатом зацеплении третьей ступени, где оно будет максимальным:

$$F_{зст} = \frac{M_{врз}}{d/2} = \frac{1274 \times 2}{13,6} = 187,3 \text{ Гс.} \quad (3.4)$$

Определим скорость вращения выходного вала:

$$\omega_{вых} = \frac{\omega_{xx}}{u} = \frac{7600}{490} \approx 15 \text{ об/мин.} \quad (3.5)$$

Вывод: Скорость на выходном валу (скорость с которой будет вращаться платформа) при использовании данного редуктора больше предполагаемой ( $\leq 1$  об/мин).

Для двигателя – генератора ДГ-0,1ТВ также предусмотрен режим при пониженном напряжении потребления. Скорость на выходном валу (скорость с которой будет вращаться платформа) в этом режиме по предварительной оценке может уменьшиться в 7-10 раз.

Момент трения платформы

В системе Solid Works 2015, в которой проектировался макет, для каждой детали можно задать материал благодаря чему, можно получить информацию как о массе одной детали, так и отдельных узлов. Определим момент трения платформы.

Максимальные, длительно действующие силы  $F_{rmax}=10$  Н,  $F_{Amax}=15$  Н.

Для переменного типового режима нагружения II коэффициент эквивалентности  $K_E=0,56$ .

Т.к. прибор не требует точной вертикализации вычислим эквивалентные нагрузки, приводя переменный режим нагружения к эквивалентному постоянному:

$$F_r = K_E \times F_{rmax} = 0,56 \times 10 = 5,6 \text{ Н;}$$

$$F_A = K_E \times F_{Amax} = 0,56 \times 15 = 8,4 \text{ Н;}$$

Приближенно оценить момент трения  $M_{тр}$  при действии результирующей нагрузки можно по формуле ,

$$F_{рез} = \sqrt{F_r^2 + F_A^2} = \sqrt{5,6^2 + 8,4^2} = 10 \text{ Н};$$

$$M_{трпл} = \frac{f_{тр} \times F_{рез} \times d}{2} = \frac{0,0030 \times 10 \times 34}{2} = 0,51 \text{ Н} \times \text{мм}.$$

где  $f_{тр}$  - приведенный коэффициент трения,  $F_{рез}$  - результирующая нагрузка на подшипник,  $d$  – диаметр отверстия подшипника.

С учетом трения в коллекторном токоподводе суммарный момент трения равен

$$M_{тр} = M_{трпл} + M_{тркол} + M_{трду} = 0,00051 + 0,005 + 0,005 = 0,01051 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Из расчетов видно, что момента на валу редуктора в номинальном режиме достаточно, чтобы привести платформу в движение.

## **5 Разработка схемы прибора электрической принципиальной**

### **5.1 Формулирование требований к обслуживающей электроники**

В соответствии с электрокинематической схемой гиродатчик ГВК-6, два датчика акселерометров ДА-11 интегрирующий привод с двигателем генератором ДГ0,1ТВ, энкодер ЛИР-190С. Все перечисленные элементы и узлы требуют специальной обслуживающей электроники.

Гиродатчик ГВК -6 требует для питания гиродвигателя два напряжения прямоугольной формы «меандр» сдвинутый по фазе на 90. Амплитуда напряжений должна составлять 19 В 480 Гц первые 80 сек. и 11В в процессе работы. Для питания датчиков углов гиродатчика необходимо гармоническое напряжение частотой 19,2 КГц с действующим значением 2,5 В.

Нагревательная обмотка может запитываться как напряжением переменного тока, так и постоянного номиналом 70 В. Конкретная величина значений определяется самой системой.

Датчики акселерометров требуют для работы напряжение действующим значением 2,5 В, частотой 19,2 КГц для запитывания обмоток возбуждения датчиков угла. Напряжение на обмотку управления подаваемое с выхода усилителя преобразователя акселерометра зависит от величины измеряемого ускорения.

Двигатель генератор интегрирующего привода для работы требует напряжение 40В 480Гц этим же напряжением запитывается обмотка тахогенератора. Напряжение на управляемой обмотке зависит от требуемой скорости вращения двигателя.

Энкодер - напряжение питания +5 В относительно общего провода.

Усилители – преобразователи ДУСов, акселерометров требуют двухполярного напряжения +15 В относительно общего провода, - 15 В относительно общего провода.

Разработать платы обслуживающей электроники в сжатые сроки не представляется возможным, поэтому было принято решение при создании

макета в максимальной степени использовать электронные платы обслуживающей электроники из гироскопического инклинометра ИГН 100-100/60А разработанного на кафедре ТПУ ТПС. Такие платы имеются в наличии на кафедре.

## 5.2 Описание электрической схемы прибора

Электрическая схема прибора представлена в приложении

На схеме изображено

Плата А1 трехступенный динамически настраиваемый гироскоп включающий в себя двухфазный гиромотор, два датчика момента и два датчика угла, обмотки нагревания системы термостатирования. Плата А2 усилитель преобразователь для первого измерительного канала ДУСа (УПДУС1), плата А3 для второго измерительного канала ДУСа (УПДУС2). Также платы А2, А3 имеют звенья коррекции КДМ А1 и КДМ А2 для датчиков моментов гиродатчика соответственно. Плата А4 электроника системы термостатирования обеспечивает нагрев от источника постоянного тока +70 В до температуры статирования и дальнейшее ее поддерживание. Платы А5, А6 платы усилителей преобразователей датчиков акселерометров. Компоновки плат А 3, А 6 с целью экономии места не показаны, они идентичны компоновкам А 2, А 5 соответственно. Плата А7 плата генератора напряжения ГН1 формирует питающие напряжения для датчиков угла ДУСа и УПДУС1, УПДУС2. Плата А8 вырабатывает питающее напряжение для гиромотора. Плата М1 двигатель - генератор входящий в состав интегрирующего привода. Плата включает в себя двигатель, генератор. Плата А9 интегрирующий привод, включающий в себя усилитель и сумматор. Управляющий сигнал на интегрирующий привод поступает в виде кода с вычислителя после преобразователя код – напряжение (ПКН) преобразуется в пропорциональный сигнал в виде постоянного напряжения, далее через модулятор (МОД) преобразуется в переменное напряжение.

Платы обслуживающей электроники в свою очередь тоже необходимо запитывать. С этой целью планируется использовать первичный источник питания от того же гироинклинометра разработанного на кафедре ТПС. Напряжения питания первичного источника 200 В постоянного напряжения.

## 6 Вопросы технологии

Блок чувствительного элемента основная составная часть АПО. Блок включает в себя такой чувствительный элемент как: гиродатчик ГВК-6. Схема сборочного состава блока чувствительных элементов представлена на рис.(6.1).

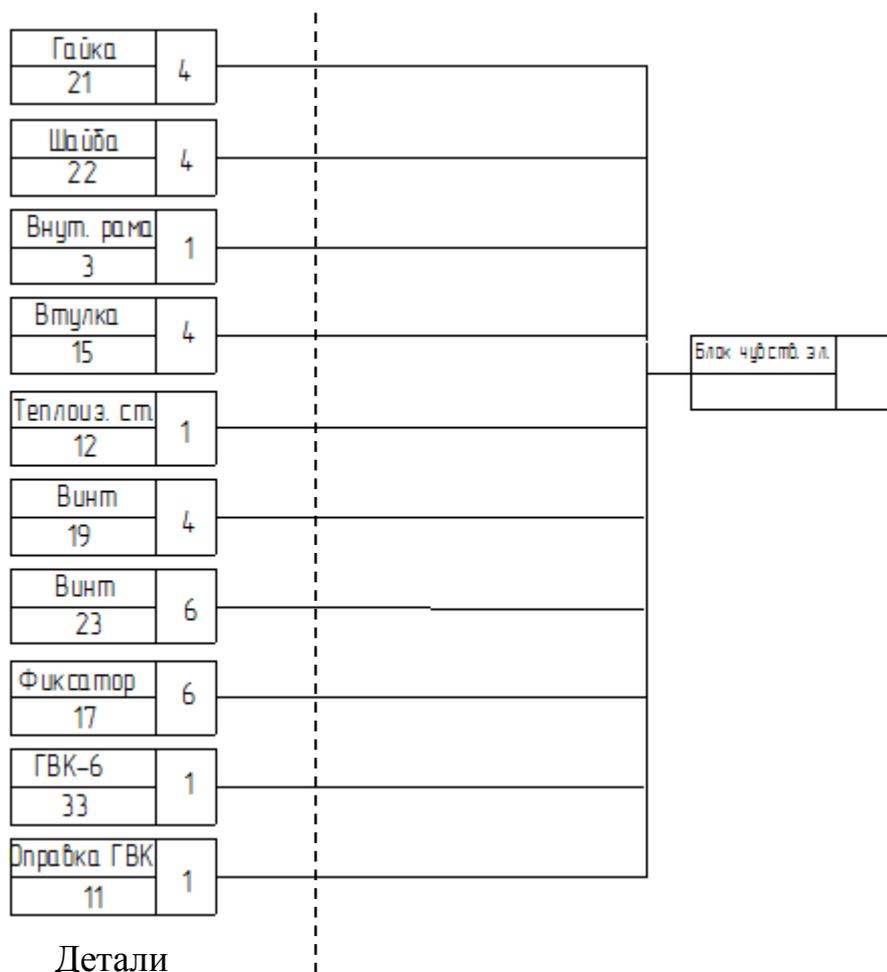


Рис.6.1. Схема сборочного состава блока чувствительных элементов

### 6.1. Отработка установки как сборочной единицы на технологичность

Блок чувствительных элементов относится к электромеханическим блокам, для которых установлен перечень из семи следующих основных показателей:

1 . Коэффициент точности обработки

$$K_{m.o.} = 1 - \frac{D_{m.ч}}{D}, \quad (6.1.1)$$

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

$D$  – общее число деталей равно 9 шт.

$$K_{т.о.} = 1 - \frac{0}{9} = 1.$$

2. Коэффициент прогрессивности формообразования

$$K_{\phi} = \frac{D_{np}}{D}, \quad (6.1.2)$$

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

$$K_{\phi} = \frac{0}{9} = 0.$$

3. Коэффициент сложности обработки:

$$K_{с.о} = 1 - \frac{D_m}{D}, \quad (6.1.3)$$

где  $D_m$  – число деталей заимствованных и стандартных, требующих обработки со снятием стружки

$$K_{с.о.} = 1 - \frac{1}{9} = 0,99.$$

4. Коэффициент повторяемости деталей и узлов:

$$K_{н.о} = 1 - \frac{D_m + E_m}{D + E}, \quad (6.1.4)$$

где  $D_m$  – число типоразмеров деталей;

$E_m$  – число типоразмеров узлов;

$E$  – число узлов.

$$K_{п.д.} = 1 - \frac{1+1}{9+1} = 0,98.$$

5. Коэффициент сборности изделия:

$$K_{сб} = \frac{E}{D+E}; \quad (6.1.5)$$

$$K_{сб} = \frac{1}{9+1} = 0,1.$$

6. Коэффициент сложности сборки:

$$K_{с.сб} = 1 - \frac{E_{м.сл}}{E}. \quad (6.1.6)$$

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

$$K_{c.cб.} = 1 - \frac{1}{9} = 0,99.$$

7. Коэффициент использования материала:

$$K_m \approx 75\%.$$

8. Комплексным показателем технологичности, определяемым на основе базовых показателей:

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

где:  $\kappa_i$  – расчетный базовый показатель соответствующего класса блоков.

$\varphi_i$  – коэффициент весовой значимости показателя.

$I$  – порядковый номер показателя в ранжированной последовательности.

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

$$K = \frac{1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 + 0,75 \cdot 0,99 + 0,5 \cdot 0,98 + 0,1 \cdot 0,31 + 0,99 \cdot 0,187 + 0,75 \cdot 0,11}{1 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,31 + 0,187 + 0,11} = 0,65$$

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  $K_n = 0,45$ .

$$\frac{0,4}{0,45} = 1,4$$

Т.е. для единичного производства условия технологичности выполняется.

## 6.2 Анализ блока чувствительного элемента с позиции технологичности сборки

Блок выполнен в виде отдельного корпуса, в который устанавливается чувствительный элемент. При этом есть возможность разделения блока на сборочные единицы. Также можно регулировать чувствительный элемент, как в сборе с блоком, так и отдельно от него. Монтаж сборочных единиц происходит с помощью резьбовых соединений. Это позволяет исключить трудоемкие подгоночные операции, а так же надежную фиксацию, допускающую неоднократную установку и съем деталей.

Существует возможность для замены изношенных или неисправных деталей или сборочных единиц без полной разборки: все компоненты легкодоступны, расположены на расстоянии друг от друга, что обеспечивает удобство работы с ними.

Для сокращения затрат на изготовления некоторые детали блока чувствительных элементов были заимствованы из других приборов. Такой ход позволил упростить разработку.

### **6.3. Разработка технологического процесса сборки БЧЭ**

#### **6.3.1 Схема сборки БЧЭ**

В качестве базовой детали выбираем: для блока чувствительных элементов выбираем внутреннюю раму (поз.3)

Базовой деталью для сборки является внутренняя рама (поз.3), в нее устанавливается теплоизоляционный стакан (поз.12) с втулками (поз.15). В теплоизоляционный стакан устанавливается ГВК-18 (сб.1), который крепится с помощью фиксаторов (поз. 17) и винтов (поз.19) с шайбами (поз.22) и гайками (поз.21) к внутренней раме (поз.3). На рис.5 представлена схема сборки блока чувствительных элементов.

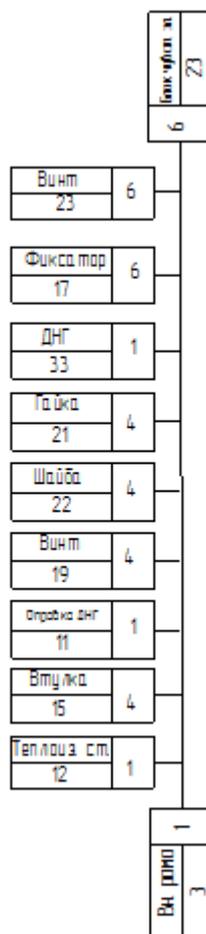


Рис.6.3.1 Схема сборки БЧЭ

### 6.3.2 Выбор оборудования, инструмента, приспособлений и материалов применяемых при сборке

Сборка БЧЭ производится на монтажном столе с использованием следующего оборудования и инструмента:

- 1.Отвертка слесарно-монтажная ГОСТ 17199-88;
- 2.Тески слесарные с ручным приводом ГОСТ 4045-75.

Для единичного производства сборка удовлетворяет требованиям технологичности.

Маршрутно-технологическая карта сборки БЧЭ представлена в приложении.

Маршрутно-технологическая карта изготовления детали рамка внутренняя (поз.3) представлена в приложении.

## **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 (QUality ADvisor) 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 сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 6. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
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
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
6. Конкурентоспособность продукта	10%	80	100	0,8	8
7. Уровень проникновения на рынок	10%	50	100	0,5	8
8. Перспективность рынка	10%	50	100	0,5	5
9. Цена	10%	30	100	0,3	3
10. Финансовая эффективность научной разработки	5%	70	100	0,7	3,5
<b>Итого</b>	<b>100%</b>	<b>610</b>	<b>1000</b>	<b>6,1</b>	<b>68</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

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

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

$V_i$  – 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. Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	<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 4, 5, 6, 7.

Таблица 8. 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 сильные сторон и возможности: B1C2C3C4C5, B2B4C1C2C3C4C5, B3C1C2C3C4C5, B3C3C4C5.

Таблица 9. 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 10. 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 11. 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.

#### 7.4. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 12. 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:

A1B3B1Г1Д3E3 – 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.

A3B2B3Г2Д1E1 - считается компактным вариантом устройства. Т.к. для изготовления будут применены SMD-компоненты, которые занимают очень малое количество пространства на плате и в корпусе.

A2B1B4Г3Д2E2 - самый универсальный способ изготовления прибора. В нём применяются стандартные электронные компоненты и будет использоваться сеть в качестве источника питания.

## **7.5 Планирование научно-исследовательских работ.**

### **7.5.1 Структура работ в рамках научного исследования.**

Таблица 13. 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 исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	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

### 7.5.2. Определение трудоемкости выполнения работ.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (7.2)$$

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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (7.3)$$

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

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

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

### 7.5.3. 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}}, \quad (7.4)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (7.5)$$

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.

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

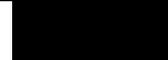
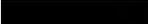
Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 11).

После заполнения таблицы 11 строим календарный план-график (табл. 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 14. Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни			$t_{max}$ , чел-дни			$t_{ож}$ , 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	Руководитель	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	Руководитель	1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	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 документации)	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студ.-рук.	2	2	2	3	3	3
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 15. Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ Работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кп</sub> , 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					 							
8	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Студент	6												
9	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Студент	3												
10	Выбор и расчет конструкции	Студент	3												
11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студ.-рук.	3								 				
12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации, графического материала)	Студент	4												

 – студент;  – руководитель.

#### 7.5.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

#### 7.5.5. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи}, \quad (7.6)$$

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, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

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

Таблица 16. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Z <sub>м</sub> ), 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
Дополнительная 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

### 7.5.6. 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 17. Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

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

### 7.5.7. 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 табл. 15.

Таблица 18. Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, 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	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	Студ.-рук.	2	2	2	4,4			9,8	9,8	9,8
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 заработной 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).

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7.7)$$

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

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

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (7.8)$$

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

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

#### 7.5.8. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (7.9)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 19. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	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 отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

### 7.5.9. Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (7.10)$$

где:  $k_{\text{нр}}$  – 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.

### 7.5.10. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 20. Расчет бюджета затрат НИИ

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

### 7.6. 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:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (7.11)$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

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

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

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (7.12)$$

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

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

$b_i^a, b_i^p$  – бальная 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 (табл. 18).

Таблица 21. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования	Весовой ко- эффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Критерии				

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 потребителей)	0,20	5	5	4
5. Ремонтопригодность	0,1	5	5	5
6. Материалоемкость	0,15	4	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,15	3,8

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

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

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

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}}, \quad (7.13)$$

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

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл.19) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.max}} \quad (7.14)$$

Таблица 22. 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 исполнения	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. Профессиональная социальная безопасность

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работы на рабочем месте приведены на таблице 23:

Таблица 23: Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ

Источник фактора, наименование видов работ	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ с измен. 1999 г.)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Неизоляционный проводник		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038 – 82
Работа токарного станка	Превышение уровней шума	Движущиеся части механизмов	ГОСТ 12.1.003 – 83 СН 2.2.4/2.1.8.562-96
Корпус станка и двигатель	Превышение уровней вибрации, электромагнитное поле		СН 2.2.4/2.1.8.566-96
Используемые лампы	Недостаточная освещенность рабочей зоны		СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03
Пайка	Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу	Термическая опасность	ГОСТ12.1.007–76

## **8.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований**

### *Вредные факторы*

Источниками шума являются генератор, двигатель токарного станка, которые работают на частоте 400Гц. Повышенный уровень шума на рабочем месте с долгим временем слух и способность работы человека ухудшается. В помещении лабораторной для проведения экспериментальных работ допустимый уровень звука и эквивалентный уровень звука не выше 60 дБА (по норме СН 2.2.4/2.1.8.562-96).

Источниками вибрации так же являются генератор и непрочность установления токарного станка. Повышенный уровень вибрации, именно в этой работе локальной вибрации влияет на организм и способности человека. В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96, ГОСТ 12.4.002–74 определили допустимые нормы локальной вибрации на рабочем месте в лаборатории равны 153 Дб.

Источником электромагнитных полей является обмотка двигателей и системный блок генератора. Допустимые нормы повышенного уровня электромагнитных излучений находятся в диапазоне частот 60 кГц – 300 МГц.

Еще один вредный фактор при разработке АПО- это выделение вредных веществ: олова, ядовитый дым из-за процесса пайки. По ГОСТ 12.1.007-76 допустимые нормы равны  $10,0 \text{ мг/м}^3$ . Поскольку в процессе исследования объекта выделение вредных веществ не значительно, поэтому при исследовании нужно провести порядок обращения и после этого убирать всё выделение.

Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течении 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают

предпосылки для высокого уровня работоспособности. При проведении работы в лабораторной помещении указываются допустимые микроклиматические условия рабочей зоны с учетом избытков тепла, времени года и тяжести выполняемой работы согласно СанПиН 2.2.4.548–96 [22]. Работа выполняется на токарном станке, связанная с перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов, поэтому категория тяжести выполняемых работ (таблица 24) относится к Па.

Таблица 24 Категория тяжести выполняемых работ.

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С <sup>0</sup>		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич.	Допустим.	Фактич.	Допустим.	Фактич.	Допустим.
Холодный	Па	17,0 - 18,9	21,1 - 23,0	16,0 - 24,0	15 - 75	0,1	0,3
Теплый	Па	18,0 - 19,9	22,1 - 27,0	17,0 - 28,0	15 - 75*	0,1	0,4

В рабочем помещении присутствует принудительная вытяжная вентиляция, через которую воздух поступает в лабораторное перемещение и удаляется из лабораторного перемещения.

#### *Опасные факторы*

Источниками электрического тока являются блок генератор и система проводников. Из-за неизолированного проводника или электророндирования генератора может быть приводить к травмированию человеку. Есть две причины опасности поражения электрическим током. Первая это поражение нервной системы человека, вторая причина это механическое поражение мягких тканей человека.

В процессе исследования объекта необходимо использовать станок токарный с вращающимся двигателем. И механические риски обычно связаны с опасными движущимися частями.

При включении паяльника в электрическую сеть ток проходит через нихромовую спираль и нагревает ее. Выделяющееся тепло передается медному стержню, который нагревается до температуры 300-350 °С. Неосторожная работа с таким горячим предметом может повлечь за собой ожоги и даже пожар.

## **8.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.**

- Предлагаемые средства защиты от вредных факторов:

+ *Шум:*

- средства, снижающие шум вибрационного (механического) происхождения: виброизолирующие опоры;
- средства, снижающие передачу воздушного шума: противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи.

+ *Вибрация:*

Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования» для защиты от вибрации применяют антивибрационные рукавицы с поролоновыми прокладками или наладонниками из резины. Для изоляции рабочих от вибрирующего пола применяют специальную обувь на антивибрационной подошве; резиновойлочные маты; антивибрационные площадки; антивибрационные сидения.

+ *Электромагнитное поле:*

- Для защиты от влияния электромагнитного поля применяются средства индивидуальной защиты: электростатические халаты и обувь, антистатические браслеты;
- Методы, исключаящие или снижающие интенсивность генерации зарядов: увлажнение воздуха до относительной влажности 65...75%; химическая обработка поверхности электропроводными покрытиями; нанесение на поверхность антистатических веществ; нейтрализация зарядов с применением индукционных, высоковольтных, высокочастотных, радиоактивных нейтрализаторов.

+ *Вредные вещества*

Образующиеся в процессе пайки дым и газы не только оказывают вредное воздействие на дыхательную систему, кожу и глаза монтажника, но и усложняют рабочий процесс, элементарно затеняя и ухудшая видимость в рабочей области. Чтобы избежать от этих вредных воздействий, на рабочем месте применяется дымоуловитель.

- Предлагаемые средства защиты от опасных факторов:

+ *Основные способы и средства электрозащиты:*

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электрозащиты: печатки, одежда.

+ *Движущиеся части механизмов*

Для защиты от опасности движущихся частей применяем следующие методы: фиксация (установка заграждения), блокировка (отключает или отсоединяет мощность и предотвращает запуск машины с открытой защитой), регулировка (устанавливается заграждение, которое может регулироваться, чтобы облегчить многие производственные операции), саморегуляция (устанавливается заграждение, которое передвигается в соответствии с размером материала, поступающего в опасную зону).

+ *Термическая опасность*

При использовании паяльника, чтобы избежать от опасности ожогов и пожаров монтажник должен соблюдать следующие правила:

- Держать нагретый паяльник только за пластмассовую (деревянную) ручку;
- В перерывах между пайками нужно вставить паяльник на специальную подставку или основание из невоспламеняющегося материала: асбеста, керамики и т. п.;

- Необходимо следить за тем, чтобы хлорвиниловая изоляция проводов, по которым подводится к паяльнику ток, случайно не коснулась горячего кожуха или стержня;
- В процессе пайки можно носить перчатки для защиты от термического воздействия.

## **8.2 Экологическая безопасность**

Негативное воздействие на атмосферу является выделением ядовитого дыма, сопровождающимся пайка. При плавлении флюсов для пайки происходит выделение аэрозолей со специфическим запахом и газов. Кроме этого после пайки остаются металлы: олово, свинец и флюсы с гидразином. Но как уже сказано выше, количество выделение вредных веществ мало, поэтому после монтажа нужно убирать все выделенные металлы. Для удаления вредных дыма и газ на рабочем месте должно оснащено дымоуловителем или в рабочем помещении используется систему вентиляции.

## **8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Перечень возможных чрезвычайных ситуаций, которые может инициировать объект исследований:

- Землетрясение
- Пожар
- Террористический акт

Типичная ситуация является пожаром. Возникновение пожара при проведении исследований обуславливается следующими факторами:

- наличие легко воспламеняемых элементов: документы, двери, столы и т.п.;
- наличие кислорода, как окислителя процессов горения;

- нарушенная изоляция электрических проводов.

### **8.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при исследовании объекта.**

При исследовании объекта также возможно возникать пожар. Возникновение пожара в рассматриваемой лаборатории при исследовании объекта обуславливается следующими факторами:

- Из-за короткого замыкания ;
- Касание паяльника к легким воспламеняемым элементам.

### **8.3.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.**

Для сведения возможности возникновения пожара в помещении к минимуму необходимо выполнять противопожарные меры:

- по возможности снизить количество легко воспламеняющихся веществ, заменив их аналогами, неподдающимися горению;
- устранить возможные источники возгорания;
- иметь в обязательном наличии средства пожаротушения (углекислотные огнетушители, пожарный инструмент, песок);
- провести пожарную сигнализацию в помещении;
- содержать электрооборудование в исправном состоянии, по возможности применяя средства, предотвращающие возникновение пожара;
- содержать пути и проходы эвакуации людей в свободном состоянии;
- проводить периодически инструктаж по технике безопасности;
- назначить ответственного за пожарную безопасность помещения.

Порядок действий в ситуации возникновения пожара:

1. Незамедлительно сообщить об этом по телефону 01 в пожарную охрану;
2. В случае сильного задымления и ограниченной видимости не следует паниковать, надо лечь на пол и осмотреться, сориентироваться в помещении, определить направление движения к выходу и покинуть помещение;
3. Принять по возможности меры по эвакуации людей и материальных ценностей в соответствии с планом эвакуации и реально создавшейся ситуацией;
4. По возможности отключить электроэнергию и приступить к тушению пожара первичными средствами пожаротушения, не подвергая свою жизнь опасности.

#### **8.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

При проведении исследований объекта необходимо сидеть за компьютером и столом, поэтому по ГОСТ 12.2.032-78 работа соответствует к работе сидя. Настоящий стандарт устанавливает общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя при проектировании нового и модернизации действующего оборудования и производственных процессов:

Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля (рис. 8.1).

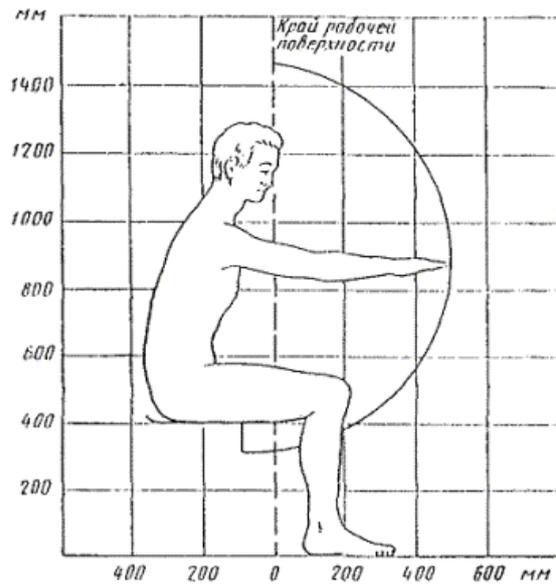


Рис. 8.1 Рабочее место.

Рабочее место должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля, приведенных на (рис. 8.2).

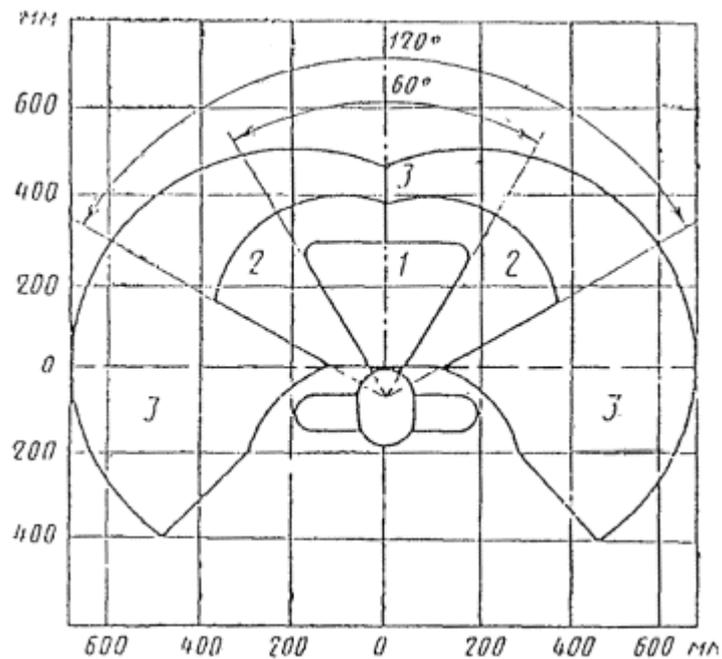


Рис. 8.2 Рабочее место.

Подставка для ног должна быть регулируемой по высоте. Ширина должна быть не менее 300 мм, длина - не менее 400 мм. Поверхность

подставки должна быть рифленой. По переднему краю следует предусматривать бортик высотой 10 мм.

Высота сиденья для женщины 400 мм, для мужчины 430 мм.

## Заключение

Разработаны два варианта электрокинематических схем прибора. Посчитаны погрешности для чувствительных элементов. Предложены алгоритмы обработки информации с чувствительных элементов для повышения точности определения параметров ориентации и навигации. Разработан сборочный чертеж прибора. Также в соответствии с электрокинематической схемой спроектирована схема электрическая принципиальная.

Для блока чувствительных элементов, основной составной части АПО составлена маршрутно-технологическая карта сборки, рассчитан коэффициент технологичности  $K_T = 1,4$ . В результате сборки удовлетворяет требованиям технологичности для единичного производства. Составлена маршрутно-технологическая карта изготовления детали «Внутренняя рама».

Также в результате проделанная работа рассмотрены вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения и социальной ответственности.

## Список публикаций студента

1. Алгоритмы обработки информации в наземном приборе системы ориентации и навигации горнопроходческого комбайна/ Ву Доан Кет, Т.С. Пожарский /Материалы 54-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2016: Электротехнические комплексы и системы / Новосибир. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. – [С. 69].

2. Активные системы ориентации и стабилизации искусственных спутников Земли [Электронный ресурс] / Т. С. Пожарский; науч. рук. А. Н. Гормаков // Космическое приборостроение : сборник научных трудов II Всероссийского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, г. Томск, 10-12 апреля 2014 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — Томск; : Изд-во ТПУ , 2014 . — [С. 101-103] .

3. Анализ требований к конструкции наземного гироскопического прибора системы ориентации и навигации горнопроходческого комбайна / Т. С. Пожарский; науч. рук. Л. Н. Белянин // Космическое приборостроение : сборник научных трудов III Всероссийского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, г. Томск, 10-12 апреля 2015 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — Томск; : Изд-во ТПУ , 2015 . — [С. 133-135].

4. Пожарский Т.С. Особенности конструкции автоматического прибора системы ориентации и навигации горнопроходческого комбайна / Т.С. Пожарский ; науч. рук. Л.Н. Белянин // Инженерия для освоения космоса : сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного форума с международным участием, г. Томск, 12-14 апреля 2016 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 153-158].

## Список использованных источников

1. Пат. 2902772 США, НПК 33/321, 1959.
2. Пат. 2239159 РФ, G 01 C 19/38. Автоматический гирокомпас / А.И. Акулов, Л.А. Дудко, В.В. Козлов, А.А. Коновченко, А.П. Мезенцев.
3. Воронков Н.Н., Кугырев В.В., Ашимов Н.М. Гироскопическое ориентирование. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1980.
4. Попов Г.В., Наумов А.А., Сорокин А.И. Исследование возможности построения наземного гирокомпаса на ДНГ по схеме ДУС // IV Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. Сб. докл. – СПб: Изд-во ЦНИИ «Электроприбор» 1997. - с.200-208.
5. Шестов С.А., Мокрышев С.В. Развитие наземных гирокомпасов, построенных на основе гиротахометров // Гироскопия и навигация, 2000, №1, с.95-112.
6. Крайзмер Л.П. Словарь радиолюбителя. Контроль. Выпуск 749 Издание 4. – М.: Радио, 1972. - с. 166.
7. Поиск путей создания системы навигации горнопроходческого комбайна. Отчет о научно-исследовательской работе по хоздоговору №5-190/13 научный руководитель Л.Н. Белянин. Утвержден директором ИНК, доктором технических наук профессором В.Н. Бориковым. – Томск: НИИ ТПУ, 2014. Н.Н. Воронков, Н.М. Ашимов. Гироскопическое ориентирование. — Москва: «Недра», 1973. — 224 с.
8. Опыт создания гироскопического инклинометра / Л.Н.Белянин, А.Н.Голиков, В.М.Мартемьянов, С.Н.Самойлов // Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности, том 2: Сб. трудов ОАО НПФ «Геофит» ВНК. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – с. 34-49.

9. Теория гироскопических гиросtabilизаторов: учебное пособие /А.Н. Лысов, А.А. Лысова. – Челябинск Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 117 с.
10. Индикаторные гироскопические платформы: монография/А.Д. Александров, Е.А. Правоторов, В.Ф. Рафельсон, М.П. Фельдман; под ред. А.Д. Александрова. – М.: Машиностроение, 1979. – 239 с.
11. Матвеев В.М., Гришин Д.К., Лазарев В.Н., Лутцев В.К. Расчет зубчатого редуктора. Методические рекомендации к выполнению курсового проекта. – М.: Изд-во РУДН, 2008. – 55с.
12. Енохович С.Ю. Краткий справочник по физике. - М.: Высшая школа, 1976. - 288 с.
13. Белянин Л.Н., Якимова Е.В. Калибровка модуля акселерометров в условиях неопределенности направления их осей чувствительности. Контроль и диагностика, 2011. Специальный выпуск. с. 64 - 70.
14. Пат. 2003045 РФ, МКИ G 01 C 19/48. Гироскопический датчик курса / Л.Н. Белянин, Л.Б. Гурин, В.М. Мартемьянов, С.Н. Самойлов (РФ). – № 4898674/22; Заявл. 02.01.91; Опубл. 15.11.93, Бюл. № 41-42 // Изобретения. – 1993. – №41-42. – С. 139.
15. Баранов В.Н., Кокорев Ю.А., Жаров В.А. Расчет точности и обеспечение взаимозаменяемости элементов и узлов приборных устройств: Учебное пособие по курсу ОКП. - М.:МТГУ,1994.-84 с.: ил.
16. Вopilкин Е.А. Расчет и конструирование механизмов приборов и систем.: Учеб. пособие для студентов вузов. - М.:Выш.школа, 1980.- 463 с.:ил.
17. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
18. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.

19. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
20. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
21. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учеб. пос. для вузов //П. П. Кукин, В.Л. Лапшин, Е. А. Подгорных и др. – М.: Высш. шк. 1999. – 318 с.
22. Безопасность жизнедеятельности. Учеб. для вузов // С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др. – М.: Высш. шк., 1999.– 448 с.
23. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. для вузов / Под ред. К.З. Ушакова. – М.: Изд-во Моск. гос. гор. ун-та, 2000.– 430 с.
24. Комментарий к Закону РФ "Об охране окружающей природной среды" /Под ред. С.А. Боголюбова. – М.: М-Норма, 1997. – 382 с.
25. Справочник инженера по охране окружающей среды (эколога) /Под ред. Перхутгина В.П. – М.: Интра-Инженерия, 2005. – 864 с.
26. Основы экологии и экологическая безопасность / Под ред. В. В. Шкарина, И. Ф. Колпашиковой. – Новгород: Изд-во Нижегород. гос. мед. Академии, 1996. – 172 с.
27. Охрана окружающей среды: Учеб. для вузов /Автор – сост. А. С. Степановских. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 559 с.

#### НОРМАТИВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

28. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
29. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
30. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с изм. 1990 г.).

31. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
32. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 - Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997.

## Приложение А

### Раздел (1)

Аналитический обзор схем построения приборов ориентации  
(Analytical review of the schemes of constructing devices of orientation)

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ІБМ4В	Пожарский Тимофей Сергеевич		

Консультант кафедры \_\_\_\_\_ ТПС

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беянин Л.Н.	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист кафедры \_\_\_\_\_ ИМОЯК

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кошелева Е.Ю.	К.И.Н.		

## **Analytical review of the construction schemes of orientation devices**

The invention relates to gyroscopic navigation instrument, namely, to measure the azimuth on the earth's surface, and can be used in geodesy, as well as for targeting UAVs, artillery, and rocket systems or other facilities for military and civil purposes.

Modern technology has increasingly high requirements to navigational devices and, in particular to the gyrocompass. The main of these requirements are:

- high accuracy of the instrument (accuracy of azimuth determination unit - angular seconds);

- short ready time - 5-10 minutes;

- high reliability and service life (up to 50,000 hours);

the device operates in the automatic mode using the latest computational tools;

- small size and weight, ease of operation.

The implementation of the above mentioned, sometimes contradictory, requirements is a difficult technical task.

Analysis of the known technical solutions showed the following.

Famous gyro [1], which uses the float integrating gyroscope as a sensor of angular velocity of the Earth and the two devices to bring the gyro to its original position. The gyroscope is located on the base (platform), which by means of two cardan rings, bearings and sensors along the axes connected with the stationary housing. In this gyrocompass uses the principle of positional gyrocompassing that the axis of sensitivity of the gyroscope mounted on the platform, set in the plane of the meridian, and the azimuth measured on the basis of signals of the angle sensor (indicator) that indicates the relative position of the platform relative to the housing. The disadvantage of such a gyrocompass is the design complexity, increased size and weight due to the presence of cardan rings with sensor axes and the additional angular errors, due to the large number of structural joints (cardan rings, bearings and so on) between the axis of sensitivity and housing, as well as the difficulty of ensuring a stable temperature in all elements of kinematically

complex structures, especially under operating conditions, fluctuations in the ambient temperature.

The principle of gyroscopic compass is based on the use of the gyro working mode of the angular rate sensor, responsive to the absolute angular velocity of rotation of the grounds on which you installed VCS, in projection on its axis of sensitivity (fig.1).

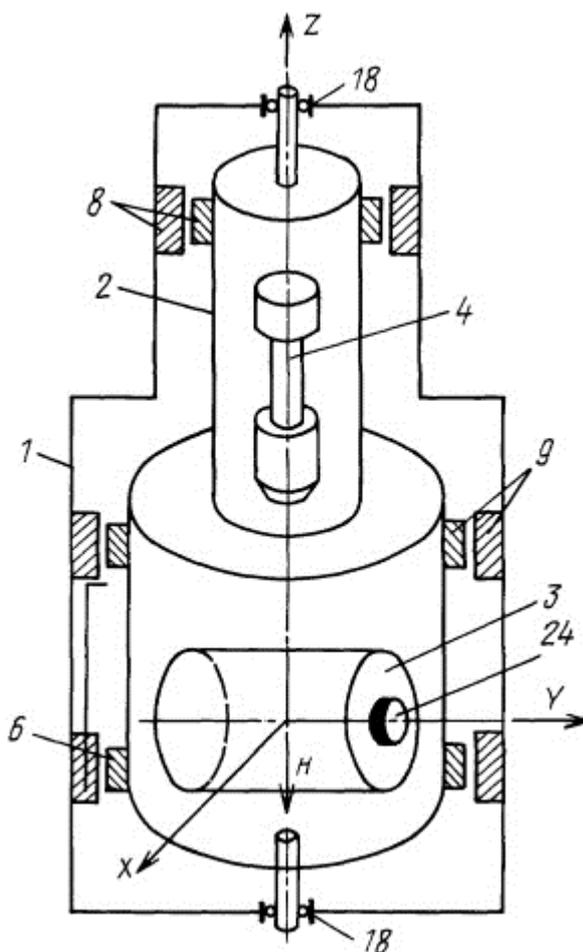


Figure 1. Elektrokineematic device scheme.

Automatic gyro is arranged according to the invention, as follows.

The body 1 is installed with the possibility of rotation about the vertical axis block of sensitive elements (BSE) 2 as the system has spread BSE, which includes unit containing the rotary transformer 6 and the control unit (included in the block of service electronics BSE 7) and wheel drive direct-drive DC motor 8 and multipolar induction angle sensor 9.

Being mounted on stationary base relative to the Earth, rate gyro will feel the rotational speed of the Earth, i.e., the measured value of the angular velocity in this

case will depend on the orientation of the axis of sensitivity of rate gyro with respect to the angular velocity vector of the Earth's rotation. If, for example, to set rate gyro on a stationary base relative to the Earth so that its axis of sensitivity will be located in a horizontal plane, and the main axis - the axis of angular momentum - vertically, i.e., coincides with the direction of the vertical component of the angular velocity of rotation of the Earth in this place, then rate gyro will feel only the projection of the horizontal component of the angular velocity of Earth's rotation on the axis of sensitivity. If, for example, the axis is directed to the North, the measured value of the angular velocity  $\omega_i$  will correspond to the horizontal component of the angular velocity of rotation of the Earth  $\Omega_g$  and will be rejected if, for example, to the East by the angle  $A$ , the measured value of the angular velocity  $\omega_i$  will correspond to the projection  $\Omega_g$  on the axis of sensitivity, i.e.

$$\omega_i = \Omega_g \times \cos A = \Omega_e \times \cos \varphi \times \cos A$$

$\varphi$  - geographic location of rate gyro.

It follows that if the axis of rate gyro sensitivity be sent to the azimuth direction, the azimuth of which is not known and it is required to determine, it is possible, by making a measurement readings of rate gyro  $\omega_i$  and knowing latitude location tests  $\varphi$  to solve the problem of determining the azimuth  $A$  of the selected direction in the form of:

$$A = \arccos \frac{\omega_i}{\Omega_e \times \cos \varphi}$$

Thus, you can determine the azimuthal angle in any desired direction with precision to sign.

To address uncertainty in the sign it would be desirable to have two axes of sensitivity are orthogonal to each other and have at measurements in the horizontal plane, as is the case when using DTG. Then the ratio of marks  $\cos A$  and  $\sin A$  is possible to unambiguously determine which of the quadrants the azimuth direction is. However, as mentioned above, as a sensitive element in the gyrocompass is used float gyro unit having one axis of sensitivity. Therefore, in one orientation of the axis of sensitivity of the gyroscope, shared before measurements  $\omega_i$  and with

denim. To obtain a definite answer to this question in this automatic gyrocompass is to produce a preliminary, rough, dimension of the projection of the angular velocity of the Earth at least four orientations of the axis of sensitivity deployed in a horizontal plane relative to each other by the angle  $\pi/2$  with the arrival of the initial position, i.e., there are five dimensions  $\omega_{ii}$  in five points ( $i=1, 2, 3, 4, 5$ ). Thus the azimuth direction can be in any of the four quadrants, and the sign of the value  $\cos A$  will change from positive to negative when switching orientation directional directions from quadrant II to III and from negative to positive, with the transition from quadrant IV to I. Therefore, for the final elimination of uncertainty orientation of the axis of sensitivity it is necessary to involve information about the signs of the measured values of  $\omega_{ii}$  at four points ( $i=1, 2, 3, 4$ ) and their combination to determine the number of the quadrant in which is located the axis of sensitivity of rate gyro.

To ensure the required accuracy of azimuth determination it is necessary to forcibly orient the axis C accurate measurements carried out in the optimum orientation. Turn from the starting position to the optimal orientation is performed automatically as a result of determining the rough value of the original position. The error angles of the reversal should not exceed 0,5-1,0 angular sec, which is provided for pre-certification of the corners of the multi-pole angle sensor in the manufacture of the device.

To eliminate the error due to the presence of the measured signal is the projection of the vertical component of the angular velocity of the Earth due to the rotational speed of the Earth because of the rate gyro sensitivity relative to the horizontal plane, and the manifestation in this case, escaping gyro from imbalance, you must have the gyrocompass gauges tilt base (horizon sensors) that provide continuous measurement of the angles of non-horizontality of the sensor unit's base.

The invention relates to the field of measuring equipment, mainly gyroscopic and can be used in the design and manufacture of gyrocompasses devices.

Available terrestrial gyrocompasses (GC) of different types [3], used for the autonomous determination of the azimuth on a stationary base.

Among terrestrial GC of moderate accuracy known ground GC made under the scheme of the angular velocity sensor (AVS) [3], measures the projection of the angular velocity of Earth's rotation on the axis of sensitivity of the device is free from the disadvantages mentioned above, but with poor accuracy.

There are also terrestrial gyrocompasses made as per flowchart (rate gyro) [3, 4] in which to improve the accuracy and reduce the time for determining the angle of the course include the rate gyros made on gyroscopic sensing elements with a vertical orientation of the angular momentum.

As gyroscopic sensors in the above ground used dynamically tuned gyroscopes (DTG), for using their range of abilities in the specified orientation of their measuring axes special methods of determining the angle of the course are applied [4].

The drawback of known schemes of terrestrial with a vertical orientation of the angular momentum of the gyroscopic sensor element is increased complexity of operator maintenance, increased time to determine azimuths in the field, related to the lack of automatic input and processing of invention adopted land built on the AVS and described in the article [4].

Offer automatic gyrocompass (fig.1) contains gyro unit 1, the optical sighting device 2, the tripod with 3 leveling device 4, autonomous power source 5. Gyro unit 1 includes a measuring and computing device 6. Measuring axis 10 gyroscopic sensor element 9 perpendicular to the axis of rotation gyro unit 7 and is connected to a measuring and computing device 6.

In the preparation of the gyrocompass to work to gyro unit 1 is connected Autonomous power source 5, through which the power applied to the gyrocompass, gyro unit 1 is fixed using a tripod 3 on the surface of the Earth. The tilt sensors 8 are used for leveling gyro unit 1 by using the leveling device 4. In a private implementation of the signals from the tilt sensors 8 can also be used to develop amendments to the defined azimuth angle, as it is done in circuits known terrestrial [4, 5].

In the latter case, information from the outputs of the tilt sensors 8 can be supplied to the inputs of the measuring and computing device 6, in which the measured signals from the tilt sensors 8 can be calculated amendment to the defined azimuth angle.

To reduce the errors of determination of azimuth ensures parallelism of the axes of sensitivity of the sensors tilt 8 plane containing the measuring axis 10 gyroscopic sensor element 9.

For easy operation and provision sighting device 2 is located parallel to or coincides with the axis of rotation of gyro unit 7.

Private implementation as a gyroscopic sensor element 9 in the proposed can be applied dynamically tuned gyroscope having two orthogonal measuring axes 10, formed each corresponding angle sensor 11 and the torque sensor 12 (fig.2).



$U_{xri} = U \cos \varphi \times \cos \alpha$   $U$  - angular speed of rotation of Earth;  $\varphi$  - geographic location of rate gyro;  $\alpha$  - the angle defining the angular provision of measuring axes 10 gyroscopic sensor element 9 relative to the direction to the North,  $i$  - the index position of the measuring axes 10 gyroscopic sensor element 9 in azimuth.

The signals  $U_{yri}$ ,  $U_{xri}$  outputs of the measuring axes 10 DTG 9 arrive at the inputs of the measuring and computing device 6.

The signals from the measuring axes 10 gyroscopic sensor element 9 directly contain information about defined azimuthal direction  $a$ , it is, the projections of the horizontal component of the angular velocity of rotation of the Earth on the measuring axis 10 in the above provisions.

The required azimuth can be calculated on the known one-positional algorithm:  $\alpha = \arctg (U_{u gi} / U_{kh gi})$  (1) or with use of more difficult algorithms [5], for example:  $\alpha = \arctg ((U_{u to a g0} - U_{g180}) / (U_{x g0} - U_{kh g180}))$ ; (2)  $= \arctg ((U_{x the g0} - U_{kh g180}) / (2U_{x the g90} - U_{kh the g0} - U_{kh g180}))$ , (3) where  $U_{x g0}$ ,  $U_{u g0}$ ,  $U_{x g90}$ ,  $U_{x g180}$ ,  $U_{y g180}$  - signals from measuring axes 10 DTG 9 in home position of a gyro assembly 7 and the provisions torn rather initial respectively on  $90^\circ$  and  $180^\circ$ .

## **Приложение Б**

Маршрутно – технологическая карта изготовления детали «Внутренняя рама»

**Приложение В**  
Маршрутно – технологическая карта процесса сборки БЧЭ

**Приложение Г**  
Перечень графического материала