

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Системы автоматического управления»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор

_____/ В.И. Ширяев

« ____ » _____ 2019 г.

Двухосный гиросtabilизатор телевизионной антенны

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 24.03.02.2019.185.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы

доцент каф. САУ, к.т.н.

_____/ Г.В. Зырянов

« ____ » _____ 2019 г.

Автор работы

студент группы КЭ-466

_____/ В.В. Рожнов

« ____ » _____ 2019 г.

Нормоконтролер

доцент каф. САУ, к.т.н.

_____/ Г.В. Зырянов

« ____ » _____ 2019 г.

АННОТАЦИЯ

Рожнов В.В. Двухосный гиросtabilизатор телевизионной антенны. – Челябинск: ЮУрГУ, ВШ ЭКН; 2019, 58 с., 25 ил., библиогр. список – 8 наим., 12 листов слайдов презентации ф.А4, 12 приложений, 2 чертежа А1, 2 чертежа А3.

В данной работе изложены теория, расчеты и результаты моделирования двухосного гироскопического стабилизатора, построенного на базе поплавкового датчика угловой скорости.

Также рассмотрена технология сборки и исследование динамики конструкции прибора. В курсовом проекте представлены чертежи и 3Д модель разрабатываемого прибора, приведены технические требования сборки.

Для выполнения данного проекта использовались программные пакеты: Рисунки выполнены в программном пакете CorelDRAW x8. Чертежи и 3Д модель выполнены в программном пакете КОМПАС 3Д. Моделирование прибора осуществлялось в программном пакете VisSim3.0. Пояснительная записка оформлена в среде Microsoft Office Word 2007.

Разработан двухосный гиросtabilизатор телевизионной антенны.

					<i>24.03.02.2019.185.00 ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Рожнов В.В.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Зырянов Г.В.</i>			<i>Д</i>	<i>4</i>	<i>58</i>
<i>Н. Контр.</i>		<i>Зырянов Г.В.</i>			<i>ЮУрГУ Кафедра САУ</i>		
<i>Утверд.</i>		<i>Щиряев В.И.</i>					
<i>Двухосный гиросtabilизатор телевизионной антенны</i>							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	9
1.1 Анализ технического задания.....	9
1.2 Выбор осей стабилизации.....	10
1.3 Выбор кинематической схемы ПДУС	13
1.4 Составление математической модели ГС.....	15
2 РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПДУС И ГС.....	21
2.1 Анализ внешних возмущений, действующих на ПДУС.....	21
2.2 Расчёт основных параметров ПДУС.....	25
2.2.1 Расчет габаритов и мощности ПДУС:	25
3. КОНСТРУИРОВАНИЕ	28
3.1 Элементы ПДУС демпфирующее устройство, датчик угла, датчик моментов.....	28
3.2. Анализ влияния перекрестных связей на динамику гиросtabilизатора	32
3.3 Уравнения движения и передаточные функции канала гиросtabilизатора.	34
3.4 Определение возмущающих моментов по осям стабилизации	35
3.5 Определение моментов инерции относительно осей стабилизации .	36
3.6 Выбор двигателей стабилизации и датчиков угла.	36
3.7 Определение параметров цепи стабилизации.....	37
4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВУХОСНОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА	39
4.1 Параметры каналов.....	39
4.2 Моделирование динамики ГС	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	46
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	47

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

ПРИЛОЖЕНИЕ Б	48
ПРИЛОЖЕНИЕ В	49
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	50
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	51
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	52
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	53
ПРИЛОЖЕНИЕ И	54
ПРИЛОЖЕНИЕ К	55
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	56
ПРИЛОЖЕНИЕ М	57
ПРИЛОЖЕНИЕ Н	58

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Системы спутниковой связи в настоящее время набирают всё большую популярность. В любой части планеты можно установить оборудование, настроить его на спутник вещания телевизионных каналов и просматривать телепередачи. Для этого необходимо, чтобы антенна приема сигнала спутникового телевидения была настроена на спутник вещания и была неподвижна по отношению к нему. Возникает проблема просмотра спутникового телевидения на подвижных объектах, а конкретно – на туристических автобусах. Для этого нужно стабилизировать антенну по азимуту и по направлению на спутник вещания (по углу места) (Рисунок 1.1.).

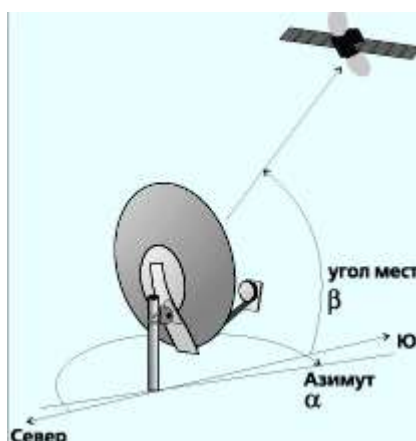


Рисунок 1.1 – Азимут и угол места спутника

Принцип работы спутникового телевидения заключается в следующем: на земле находится передатчик, который передаёт сигнал на спутник (Рисунок 1.2), расположенный на геостационарной орбите, находящейся над экватором на расстоянии 35786 км.



Рисунок 1.2 – Телевизионный спутник

Особенностью данной орбиты является, то, что спутники, расположенные на ней совершают за сутки один оборот и для наблюдателя с поверхности земли они кажутся неподвижными (Рисунок 1.3).

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7



Рисунок 1.3 – Геостационарная орбита

Для стабилизации любого оборудования существуют гиростабилизаторы. Гиростабилизаторы – это устройства, предназначенные для стабилизации отдельных предметов или приборов, а также для определения угловых отклонений предметов. По принципу действия гиростабилизаторы делятся на непосредственные, силовые и индикаторные.

Гиростабилизированная платформа обычно состоит из одного, двух или трёх датчиков угловых скоростей. Также может содержать акселерометры и другие датчики.

Гиростабилизированные платформы, как измерительные приборы, обычно используются в составе системы управления самолётами, ракетами, орбитальными станциями, космическими кораблями и т. п.

Наиболее близким по принципу действия к проектируемому прибору является стабилизация гироскопической платформы путем компенсации внешнего момента, действующего по осям стабилизации, через стабилизирующие двигатели, управляемые от усилителя стабилизации, который, в свою очередь, управляется от напряжений, снимаемых с датчиков угловых скоростей.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ технического задания

Целью работы является разработка двухосного гиросtabilизатора на базе поплавкового датчика угловой скорости для стабилизации спутниковой антенны туристического автобуса.

Задачи работы:

- 1) Анализ технического задания.
- 2) Расчет чувствительного элемента (ЧЭ), моментов инерции и возмущающих моментов по осям стабилизации, параметров цепи стабилизации.
- 3) Вывод уравнений движения гиросtabilизатора и передаточных функций канала стабилизации.
- 4) Моделирование динамики гиросtabilизатора.
- 5) Разработка 3d-модели и чертежей конструкции.

Одним из основных факторов, определяющих выбор принципиальной схемы гиросtabilизатора антенны, является тип карданова подвеса. Применение наружного карданова подвеса для стабилизатора антенны представляется более целесообразным.

Использование наружного карданова подвеса при больших углах прокачки позволяет получить более компактную конструкцию стабилизированной платформы. В этом случае момент инерции платформы относительно собственной оси вращения значительно снижается, и тогда величина максимального момента двигателя стабилизации при управлении может быть уменьшена. Это позволяет повысить точность стабилизации за счет использования двигателя стабилизации меньших габаритов, имеющего меньший момент сухого трения вокруг оси вращения и меньший коэффициент демпфирования.

Схема гиросtabilизатора с наружным кардановым подвесом имеет ряд недостатков:

- пониженная жесткость рам наружного карданова подвеса;
- увеличение габаритов и веса гиросtabilизатора при большом количестве стабилизируемых приборов;
- ограничение поля зрения оптических устройств.

По заданию необходимо спроектировать двухосный гироскопический стабилизатор для спутниковой антенны туристического автобуса. Заданы следующие углы прокачки: по курсу $\pm 360^\circ$, по тангажу $\pm 60^\circ$. В качестве чувствительного элемента выберем поплавковый датчик угловой скорости (ПДУС).

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

1.2 Выбор осей стабилизации

Двухосные гиостабилизаторы (ГС) применяются в тех случаях, когда нужно стабилизировать платформу с установленными на ней объектами относительно двух осей. В таком случае на платформе ГС устанавливаются два гироскопа.

Распространены две схемы расположения гироскопов: оси чувствительности гироскопов параллельны соответствующим осям стабилизации (Рисунок 2.1) и оси прецессии гироскопов параллельны соответствующим осям стабилизации (Рисунок 2.2). Такой ГС можно рассматривать как совокупность двух одноосных ГС, каждый из которых осуществляет стабилизацию платформы относительно одной из осей.

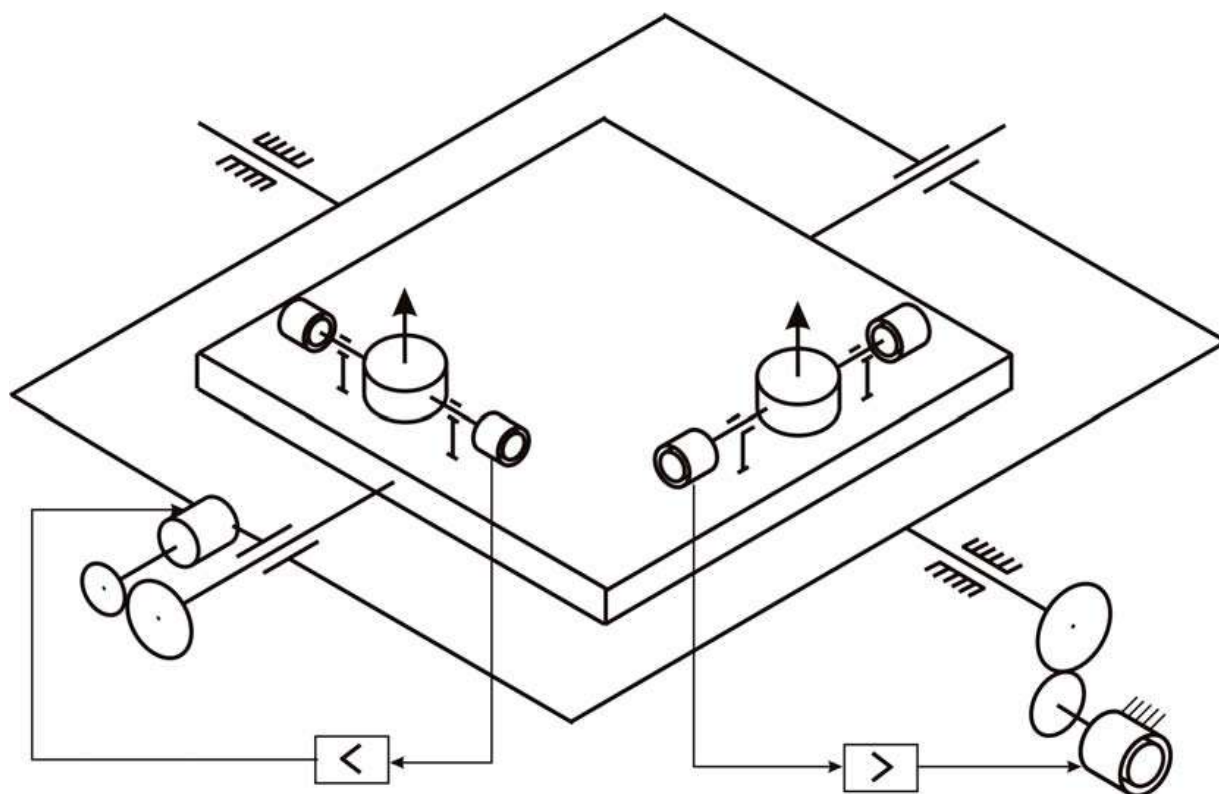


Рисунок 2.1 – Кинематическая схема (схема А) двухосного ГС, оси чувствительности гироскопов которого параллельны стабилизируемой оси платформы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

24.03.02.2019.185.00 ПЗ

Лист

10

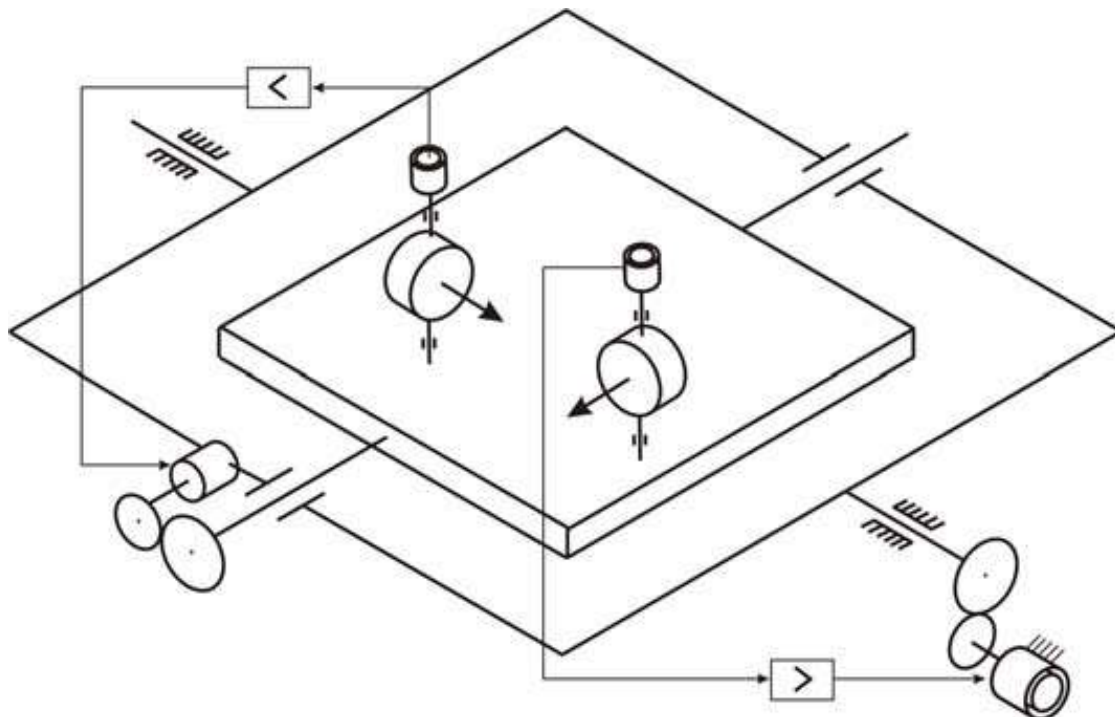


Рисунок 2.2 – Кинематическая схема (схема Б) двухосного гиросtabilизатора, оси прецессии гироскопов которого параллельны стабилизируемой оси платформы

Двухосные гиросtabilизаторы могут быть использованы для построения силовых гировертикалей самолетов или для построения гиросtabilизаторов в системах самонаведения зенитных ракет. Гировертикали силового типа применяются для определения углов крена и тангажа. В зависимости от числа применяемых гироскопов различают двухгироскопные и четырехгироскопные гировертикали.

Выбираем гиросtabilизатор с наружным кардановым подвесом (Рисунок 2.3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

24.03.02.2019.185.00 ПЗ

Лист

11

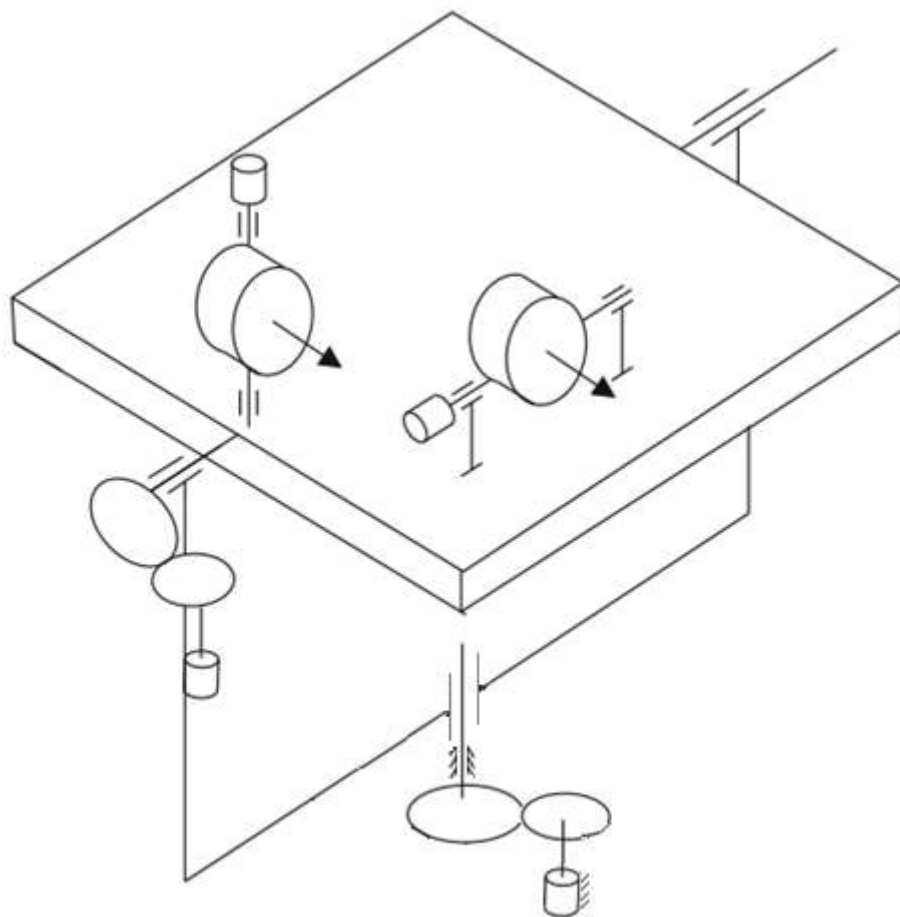


Рисунок 2.3 – Схема двухосного гиросtabilизатора

Датчики угловых скоростей устанавливаются на платформу таким образом, чтобы их векторы кинетического момента были направлены вдоль стабилизирующей оси платформы. Эти положения соответствуют нулевым сигналам с датчиков.

Для выработки сигналов управления антенна должна автоматически следить за целью и быть нечувствительной к колебаниям объекта. Для решения этой задачи может быть применен двухосный гиросtabilизатор (рисунок 2.3), на платформе которого установлена антенна. Чувствительным элементом и элементом системы стабилизации ГС является два поплавковых датчика угловой скорости (ПДУС). Гиросtabilизатор работает в двух режимах – стабилизации и слежения за целью. При движении объекта на платформу действуют возмущения, которые уравниваются двигателями стабилизации, управляемыми сигналами с двух ПДУС. Благодаря этому платформа с антенной сохраняет требуемое положение в пространстве, не участвуя в колебаниях объекта по рысканью и тангажу.

Если направление антенны не совпадает с направлением на спутник, в чувствительном элементе (координаторе) антенны вырабатывается сигнал,

который после разделения и необходимых преобразований в усилителе поступает на двигатели стабилизации гиросtabilизатора. Платформа с антенной поворачивается вокруг осей стабилизации до совпадения направления антенны с направлением на спутник.

Поиск спутника осуществляется поворотом платформы, управляемой программным устройством. При появлении спутника в зоне видимости антенны гиросtabilизатор переключается в режим слежения.

1.3 Выбор кинематической схемы ПДУС

В данном разделе проанализируем техническое задание, рассмотрим различные кинематические схемы, так же рассмотрим принцип работы ПДУС.

Исходя из технического требования необходимо спроектировать ПДУС с механической пружиной. За счет выбора надлежащей жесткости пружины легко обеспечить большой диапазон измеряемых скоростей. По техническому требованию, зная кинетический момент 0,1 Нмс и максимальную измеряемую скорость 6 °/с, можно рассчитать максимально измеряемый угол. Выберем плоскую спиральную пружину так как необходимо спроектировать ПДУС с механической пружиной. ПДУС будет использоваться на корпусе туристического автобуса, значит перегрузка, действующая на прибор не будет превышать 2g. Питание датчика 36В 400Гц. Вибрация не превышает 1,5g. Датчик угла выберем индукционный с подвижной катушкой.

Поплавковые ДУС применяют в тех случаях, когда необходимо обеспечить повышенные требования по обеспечению работоспособности прибора в условиях больших вибрационных и линейных перегрузок и необходимо обеспечить малое значение порога чувствительности. ПДУС имеют меньшие габариты, дешевле и проще в технологическом отношении. Наличие жидкости уменьшает коэффициент трения подшипников, способствует демпфированию вынужденных колебаний гиروزла, вызванных динамической несбалансированностью ротора гиromотора, улучшает отвод тепловой энергии от гиromотора и датчиков угла и момента. В результате этого может быть увеличена допустимая плотность тока, уменьшается износ потенциометра и загрязнение его контактной поверхности, повышается вибропрочность токоподводов.

Конструктивную схему прибора составляют, исходя из опыта предыдущих конструктивных разработок и требований ТЗ, с учетом технологических возможностей предприятия-изготовителя. В настоящее время находят применение следующие типы ДУС [5]:

С механической пружиной

С электрической пружиной

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

На основе трехстепенного гироскопа

Вибрационные

Гидродинамические

Выберем схему, представленную на рисунке 2.4, с механической пружиной, её часто применяют, так как она проста в изготовлении, хорошо работает в условиях больших перегрузок и не требует точной регулировки.

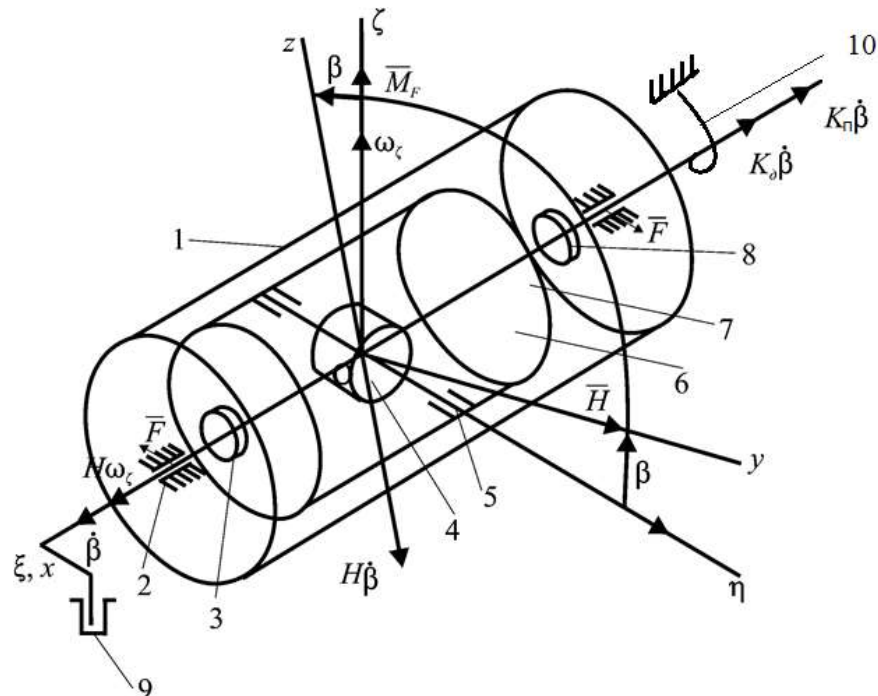


Рисунок 2.4 – Кинематическая схема ПДУС

- 1 – корпус прибора, 2– опоры поплавка, 3 – датчик момента, 4 – гиросмотор,
5 – опоры ротора, 6 – газовая среда, 7 – корпус поплавка, 8 – датчик угла, 9 – демпфер,
10 – пружина

На рисунке 2.4 обозначено: $\xi\eta\zeta$ - система координат, связанная с основанием прибора; $\omega_\xi, \omega_\eta, \omega_\zeta$ - проекции угловой скорости вращения основания на оси ξ, η, ζ ; $x\eta z$ - система координат, связанная с гиросмотором. Ось z является осью собственного вращения ротора гироскопа, а ось y - осью чувствительности прибора.

Рассмотрим принцип работы ПДУС. При вращении основания вокруг оси ζ с угловой скоростью ω_ζ вокруг оси рамки возникает гироскопический момент M_F , под действием которого рамка гироскопа поворачивается так, что стремится совместить кратчайшим путем вектор кинетического момента H с вектором угловой скорости ω_ζ . По мере поворота рамки вокруг оси x под действием гироскопического момента происходит деформация пружины, в результате чего возникает момент $M_{пр}$, который препятствует отклонению рамки гироскопа. Когда момент пружины уравнивает гироскопический момент, рамка остановится в новом положении равновесия, а ее угол отклонения β будет характеризовать величина измеренной угловой скорости. Основными элементами ПДУС являются:

гиромотор, рамка или кожух гиromотора с полуосями, моментный датчик или механическая пружина, создающая вокруг оси рамки прибора момент, пропорциональный углу ее отклонения; демпфирующее устройство, съемное устройство для регистрации угла отклонения рамки.

1.4 Составление математической модели ГС

В данном разделе производится вывод уравнений движения ГС, а так же анализ перекрестных связей.

1.4.1 Вывод уравнения движения двухосного гиросtabilизатора.

Примем следующие обозначения:

$O\xi\eta\zeta$ – базовая система координат, связанная с объектом,

$Ox_{нр}y_{нр}z_{нр}$ – система координат, связанная с наружной рамой,

$Ox_n y_n z_n$ – система координат, связанная с платформой.

Обозначим:

α_1 – угол поворота наружной рамы,

α_2 – угол поворота платформы,

β_1, β_2 , – углы поворотов датчиков угловой скорости.

$J_{x_{нр}}, J_{y_{нр}}, J_{z_{нр}}$ – моменты инерции наружной рамы относительно соответствующих осей.

$J_{x_{п}}, J_{y_{п}}, J_{z_{п}}$ – моменты инерции платформы относительно соответствующих осей.

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

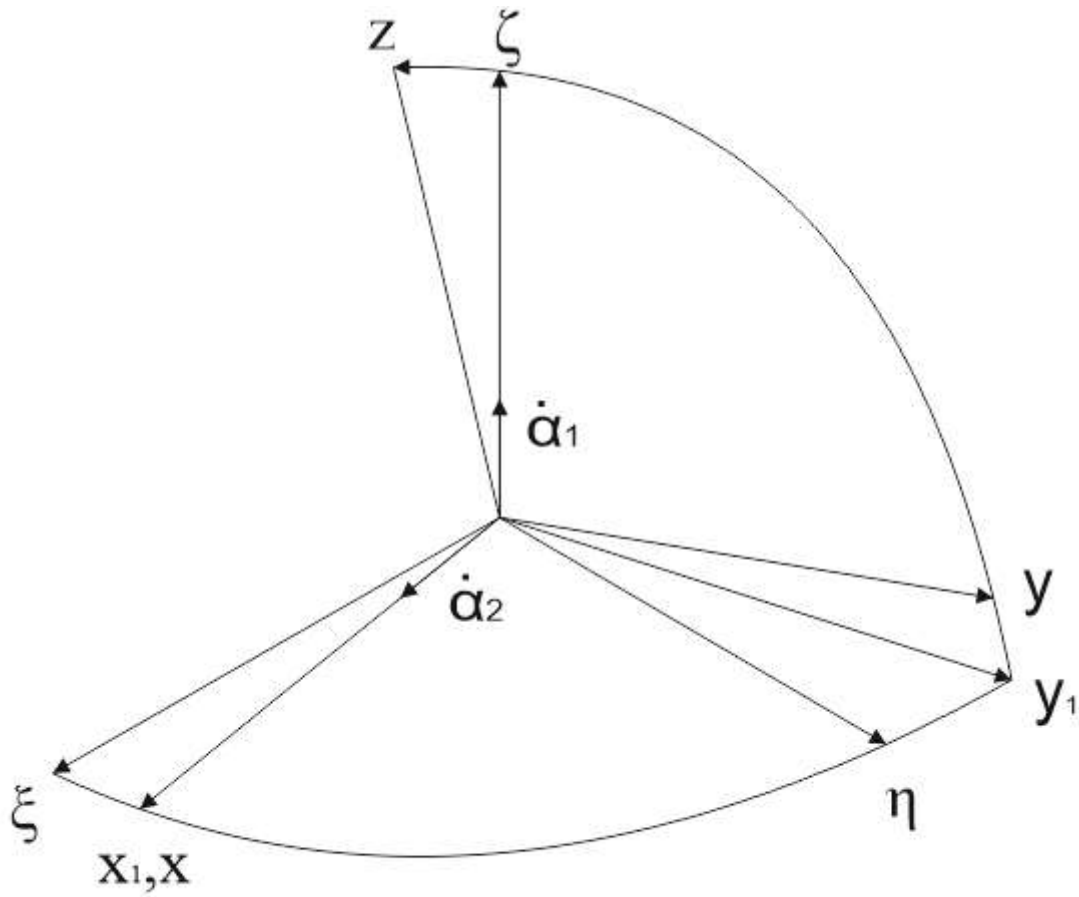


Рисунок 2.5 – Кинематический чертеж

$$\begin{aligned}
 \omega_{xp} &= \omega_{\xi} \cos \alpha_1 + \omega_{\eta} \sin \alpha_1; & \omega_{xp} &= \omega_{xp} + \dot{\alpha}_2; \\
 \omega_{yp} &= \omega_{\eta} \cos \alpha_1 - \omega_{\xi} \sin \alpha_1; & \omega_{yp} &= \omega_{yp} \cos \alpha_2 + \omega_{zp} \sin \alpha_2; \\
 \omega_{zp} &= \omega_{\xi} + \dot{\alpha}_1; & \omega_{zp} &= \omega_{zp} \cos \alpha_2 - \omega_{yp} \sin \alpha_2.
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

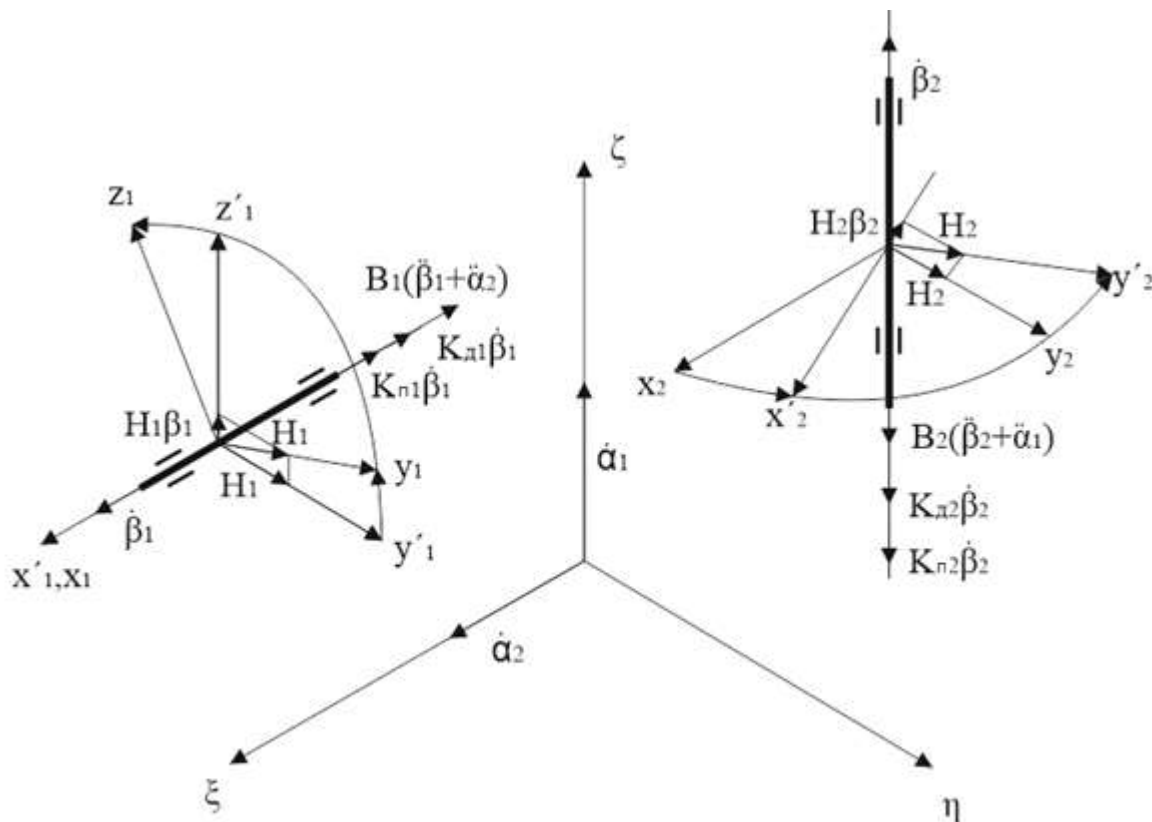


Рисунок 2.6 – Моменты относительно осей гиросблоков

Уравнения движения гироскопов относительно осей прецессии:

$$\sum \text{mom } x_1 = 0; \quad (1.2)$$

$$-B_1(\ddot{\beta}_1 + \ddot{\alpha}_2) - K_{д1}\dot{\beta}_1 + H_1\dot{\alpha}_1 - K_{np1}\beta_1 - K_{п1}\dot{\beta}_1 + M_{21} = 0; \quad (1.3)$$

$$\sum \text{mom } z_2 = 0; \quad (1.4)$$

$$-B_2(\ddot{\beta}_2 + \ddot{\alpha}_1) - K_{д2}\dot{\beta}_2 - H_2\dot{\alpha}_2 - K_{np2}\beta_2 - K_{п2}\dot{\beta}_2 + M_{22} = 0. \quad (1.5)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

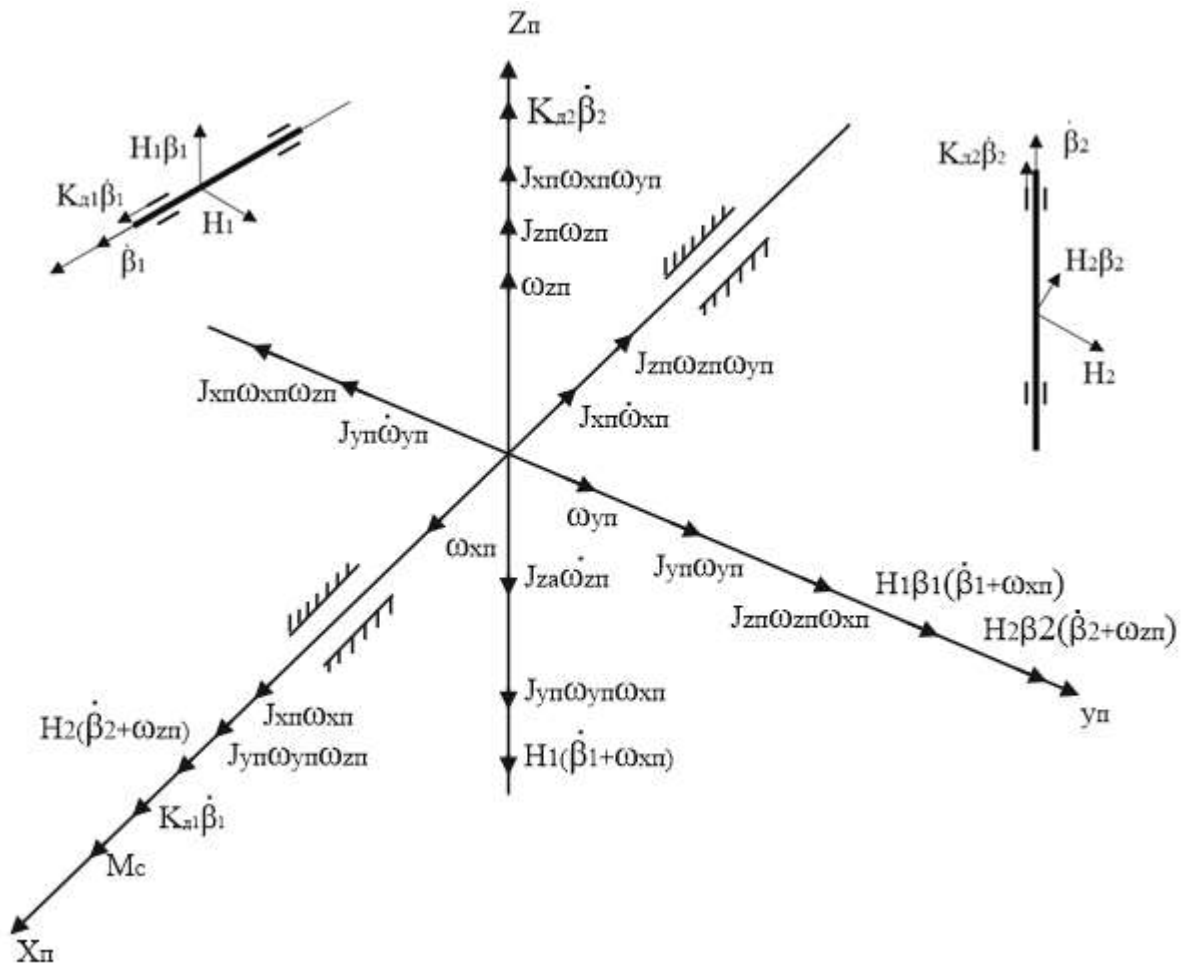


Рисунок 2.7 – Моменты относительно осей платформы

$$M_{xп} = -J_{xп}\dot{\omega}_{xп} + (J_{yп} - J_{zп})\omega_{yп}\omega_{zп} + H_2(\dot{\beta}_2 + \omega_{zп}) + K_{д1}\dot{\beta}_1; \quad (1.6)$$

$$M_{yп} = -J_{yп}\dot{\omega}_{yп} + (J_{zп} - J_{xп})\omega_{zп}\omega_{xп} + H_2\beta_2(\dot{\beta}_2 + \omega_{zп}); \quad (1.7)$$

$$M_{zп} = -J_{zп}\dot{\omega}_{zп} + (J_{xп} - J_{yп})\omega_{xп}\omega_{yп} - H_1(\dot{\beta}_1 + \omega_{xп}) + K_{д2}\dot{\beta}_2; \quad (1.8)$$

$$\sum \text{mom } x_{п} = 0;$$

$$M_{xп} - h_2\dot{\alpha}_2 + M_{c2} + M_{12} = 0. \quad (1.9)$$

Уравнения движения двухосного гиросtabilизатора относительно платформы. Подставляя выражение (1.6) в уравнение (1.9), получаем:

$$-J_{xп}\dot{\omega}_{xп} + (J_{yп} - J_{zп})\omega_{yп}\omega_{zп} + H_2(\dot{\beta}_2 + \omega_{zп}) + K_{д1}\dot{\beta}_1 - h_2\dot{\alpha}_2 + M_{c2} + M_{12} = 0 \quad (1.10)$$

$$\omega_{xп} = 0;$$

$$\omega_{yп} = 0;$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

24.03.02.2019.185.00 ПЗ

Лист

18

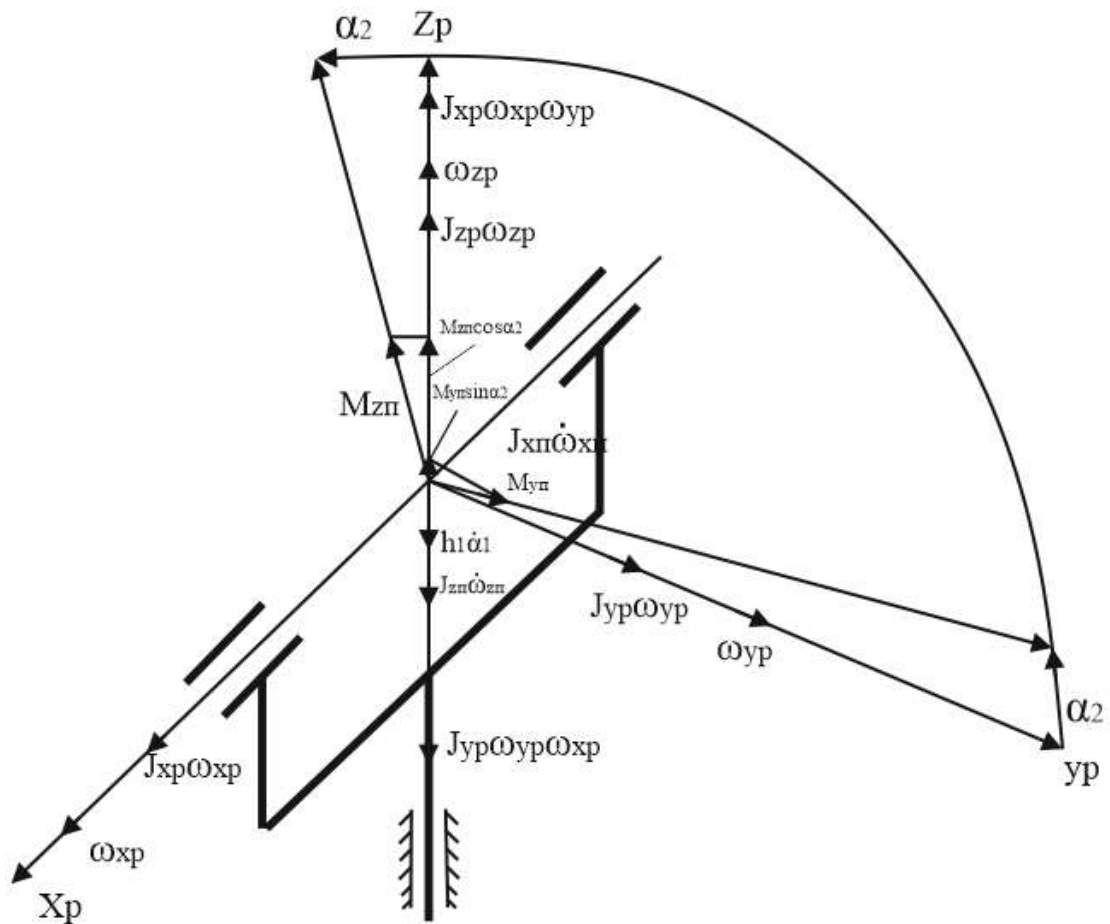


Рисунок 2.8 – Моменты относительно оси рамы

Уравнения движения двухосного гиросtabilизатора относительно наружной рамы:

$$\begin{aligned}
 & -J_{zp}\dot{\omega}_{zп} + (J_{xp} - J_{yp})\omega_{xp}\omega_{yp} + M_{zп} \cos\alpha_2 + M_{zп} \sin\alpha_2 - h_1\dot{\alpha}_1 - \\
 & -M_{c1} + M_{11} = 0.
 \end{aligned} \tag{1.11}$$

Проекции абсолютных угловых скоростей рамы и платформы на связанные оси:

$$\begin{aligned}
 \omega_{xp} &= \omega_{\xi} \cos\alpha_1 + \omega_{\eta} \sin\alpha_1; & \omega_{xп} &= \omega_{xp} + \dot{\alpha}_2; \\
 \omega_{yp} &= \omega_{\eta} \cos\alpha_1 - \omega_{\zeta} \sin\alpha_1; & \omega_{yп} &= \omega_{yp} \cos\alpha_2 + \omega_{zп} \sin\alpha_2; \\
 \omega_{zp} &= \omega_{\zeta} + \dot{\alpha}_1; & \omega_{zп} &= \omega_{zp} \cos\alpha_2 - \omega_{yp} \sin\alpha_2.
 \end{aligned}$$

Рассмотрим динамику двухосного гиросtabilизатора на неподвижном основании ($\omega_{\xi} = \omega_{\eta} = \omega_{\zeta} = 0$). Тогда:

$$\begin{aligned}
\omega_{zp} &= \dot{\alpha}_1; \\
\omega_{xp} &= \dot{\alpha}_2; \\
\omega_{yp} &= \dot{\alpha}_1 \sin \alpha_2; \\
\omega_{zp} &= \dot{\alpha}_1 \cos \alpha_2.
\end{aligned}
\tag{1.12}$$

Уравнения первого приближения, полученные методом кинестатики:

$$\begin{aligned}
A_1 \ddot{\alpha}_1 + h_1 \dot{\alpha}_1 + H \dot{\beta}_1 + H_1 \dot{\alpha}_2 - K_\partial \dot{\beta}_2 + M_{c1} - K_\Pi \beta_2 &= M_{11}; \\
B_1 (\ddot{\beta}_1 + \ddot{\alpha}_2) + K_{д1} \dot{\beta}_1 - H_1 \dot{\alpha}_1 + K_\Pi \beta_1 &= M_{21}; \\
A_2 \ddot{\alpha}_2 + H_2 \dot{\beta}_2 - H_2 \alpha_1 - K_\partial \dot{\beta}_1 + h_2 \dot{\alpha}_2 - K_\Pi \beta_1 - M_{c2} &= M_{12}; \\
B_2 (\ddot{\beta}_2 + \ddot{\alpha}_1) + K_{д2} \dot{\beta}_2 + H_2 \dot{\alpha}_2 + K_\Pi \beta_2 &= M_{22}.
\end{aligned}
\tag{1.13}$$

Система уравнений (1.13) описывает движение гиросtabilизатора на подвижном основании.

Если гиросtabilизатор сконструирован на базе датчиков угловой скорости, то в цепь стабилизации необходимо включить интеграл от угла поворота гиروزла [3].

$$M_{c1} = K_{11} \int \beta_1 dt + K_{12} \beta_1 \tag{1.14}$$

$$M_{c2} = K_{21} \int \beta_2 dt + K_{22} \beta_2$$

С учетом (1.14) уравнения (1.13) примут вид:

$$\begin{aligned}
A_1 \ddot{\alpha}_1 + h_1 \dot{\alpha}_1 + H \dot{\beta}_1 + H_1 \dot{\alpha}_2 - K_\partial \dot{\beta}_2 + K_{11} \int \beta_1 dt + K_{12} \beta_1 - K_\Pi \beta_2 &= M_{11}; \\
B_1 (\ddot{\beta}_1 + \ddot{\alpha}_2) + K_{д1} \dot{\beta}_1 - H_1 \dot{\alpha}_1 + K_\Pi \beta_1 &= M_{21}; \\
A_2 \ddot{\alpha}_2 + H_2 \dot{\beta}_2 - H_2 \alpha_1 - K_\partial \dot{\beta}_1 + h_2 \dot{\alpha}_2 - K_\Pi \beta_1 - K_{21} \int \beta_2 dt - K_{22} \beta_2 &= M_{12}; \\
B_2 (\ddot{\beta}_2 + \ddot{\alpha}_1) + K_{д2} \dot{\beta}_2 + H_2 \dot{\alpha}_2 + K_\Pi \beta_2 &= M_{22}.
\end{aligned}
\tag{1.15}$$

2 РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПДУС И ГС

В данном разделе рассчитываются и анализируются возмущения, действующие на ПДУС и ГС. Так же определяются параметры конструкции. Определяются передаточные функции и параметры стабилизации.

2.1 Анализ внешних возмущений, действующих на ПДУС

В измерителе угловой скорости должны обеспечиваться пропорциональность и однозначное соответствие между $U_{\text{вых}}$ и ω_{ζ} . Вместе с тем в уравнениях, описывающих движение гироузла и формирование выходного сигнала реальных ПДУС, содержится целый ряд членов и коэффициентов, наличие и нестабильность которых нарушают это условие и приводят к образованию погрешностей прибора.

Для ПДУС основную погрешность создают моменты трения $M_{\text{тр}}$ и тяжения $M_{\text{тяж}}$ и момент, возникающий при отклонении подвижного узла прибора от нулевого положения $M_{\beta} = k\beta$. Погрешности от указанных моментов полностью аналогичны соответствующим погрешностям акселерометра:

Порог чувствительности прибора

$$\omega_{\zeta \min} = \frac{\sqrt{M_{\text{тр}}^2 + \Delta M_{\text{тяж}}^2}}{H}, \quad (2.1)$$

где, $\Delta M_{\text{тяж}}$ – переменная составляющая момента тяжения; погрешность нелинейности ДУС, вызванная наличием $M_{\text{тр}}$

$$\delta_{\text{тр}} = \frac{2M_{\text{тр}}}{H\omega_{\zeta \max}} 100\%; \quad (2.2)$$

Погрешность, вызванная нестабильностью коэффициента k^* и нелинейностью $M(\beta)$

$$\delta_{\omega_{\eta}} = \frac{h_{\zeta}(\omega_{\eta \max}) - h_{\zeta}(\omega_{\eta \min})}{h_{\zeta}(\omega_{\eta=0})} 100\% \approx \frac{H(\omega_{\eta \max} - \omega_{\eta \min})}{k} 100\%, \quad (2.3)$$

Где $\omega_{\eta \max}$ и $\omega_{\eta \min}$ – максимальное и минимальное значения перекрестной угловой скорости.

В ПДУС возникают также погрешности из-за нестабильности и нелинейности коэффициента передачи усилительно – преобразующих устройств, нестабильности H и жесткости пружины k . Суммарная статическая погрешность измерения угловой скорости определяется выражениями (2.2) и (2.3)

$$\delta h_{\zeta} = \frac{h_{\text{тек}} - h_{\eta}}{h_{\eta}} 100\%. \quad (2.4)$$

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Динамические погрешности ПДУС

К динамическим погрешностям ПДУС, характеризующим его точность в реальных условиях работы при непрерывном изменении измеряемого параметра и переменных внешних возмущающих воздействиях, можно отнести следующие погрешности:

- Динамические погрешности, возникающие при изменении угловой скорости объекта по гармоническому закону;
- Случайные динамические погрешности, возникающие при изменении угловой скорости объекта по случайному закону;
- Погрешности из-за трения в оси вращения рамки прибора;
- Погрешности, обусловленные составляющими угловой скорости объекта вдоль осей, не совпадающих с измерительной осью прибора [4].
- Погрешности от динамической несбалансированности ротора гиromотора. В этом случае по оси $O\xi$ прибора действует вредная составляющая момента несбалансированности

$$M_{нб\xi} = M_{нб} \cos \Omega t, \quad (2.5)$$

где $M_{нб}$ – момент динамической несбалансированности гиromотора;

Ω – угловая скорость вращения гиromотора.

Под действием момента $M_{нб}$ подвижный узел ДУС совершает высокочастотные колебания с амплитудой :

$$\beta_{нб} = \frac{M_{нб}}{k \sqrt{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{n_0}\right)^2\right]^2 + 4\xi^2 \left(\frac{\Omega}{n_0}\right)^2}} \cos(\Omega t - \mu). \quad (2.6)$$

Обычно $\beta_{нб}$ составляет единицы угловых секунд. Погрешность незначительна и имеет высокочастотный характер, поэтому ею можно пренебречь.

- Погрешность от неперпендикулярности вектора кинетического момента гиromотора оси подвеса подвижного узла.

При неперпендикулярности вектора кинетического момента и оси $O\xi$ на нее будет проектироваться момент, действующий по оси вращения гиromотора. В установившемся режиме работы гиromотора (постоянство угловой скорости вращения и момента сопротивления вращению) сумма проекций на ось $O\xi$ момента сопротивления и вращающего момента, развиваемого гиromоторами равна нулю, и неперпендикулярность не влияет на работу ПДУС.

Однако в неустановившемся режиме, вызванном, например флуктуациями частоты питающего напряжения, изменениями момента трения при наличии

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

перегрузок, суммарная проекция момента (действующего по оси вращения гиromотора) на ось $O\xi$ не равна нулю и вызывает погрешность ПДУС.

Погрешность ПДУС, вызванная неперпендикулярностью вектора H оси $O\xi$ весьма существенная для приборов высокой чувствительностью особенно для цифровых ПДУС, бескарданных систем инерциальной навигации. Величина погрешности зависит от конструктивных и технических факторов, в связи с чем необходимо принимать соответствующие меры по обеспечению перпендикулярности вектора H и оси $O\xi$ как на этапе конструирования прибора, так и на этапе его изготовления. В ПДУС с механической пружиной неперпендикулярности вектора H оси подвеса подвижного узла может привести к появлению нулевого сигнала $\omega_{\zeta 0}$, так как за счет нелинейности выходной характеристики датчика угла и усилительно-преобразующих устройств происходит детектирование сигнала при колебаниях гиروضла.

- Погрешность, вызванная смещением центра масс гиromотора при наличии постоянных и вибрационных ускорений.

При работе в условиях возмущающих ускорений в результате нежесткости отдельных элементов происходит упругая разбалансировка прибора, которая является причиной возникновения дополнительных вредных моментов по его оси подвеса.

Представим, что прибор движется с постоянным ускорением, проекции которого на оси O_ζ и O_η соответственно равны \dot{V}_ζ и \dot{V}_η . Будем полагать, что гиromотор прибора имеет конечную жесткость. Тогда упругое смещение центра масс гиromотора найдем из следующих соотношений:

$$c_\zeta \zeta_c = -m_p \dot{V}_\zeta; c_\eta \eta_c = -m_p \dot{V}_\eta, \quad (2.7)$$

где c_η, c_ζ – приведенные коэффициенты жесткости гиromотора по соответствующим осям, m_p – масса ротора гиromотора.

Из (2.7) следует:

$$\zeta_c = \frac{-m_p \dot{V}_\zeta}{c_\zeta}; \eta_c = \frac{-m_p \dot{V}_\eta}{c_\eta}. \quad (2.8)$$

Момент, действующий на подвижный узел прибора,

$$M_\xi = m_p \eta_c \dot{V}_\zeta - m_p \zeta_c \dot{V}_\eta = m_p^2 \dot{V}_\eta \dot{V}_\zeta \left(\frac{1}{c_\zeta} - \frac{1}{c_\eta} \right) \quad (2.9)$$

Погрешность ПДУС, вызванная угловыми колебаниями прибора.

Аналогично погрешность маятникового акселерометра, возникающей при наличии «косой» и «круговой» вибрации, ПДУС имеют погрешность при наличии угловых и «конических» движений прибора со скоростью, проекции которой на оси η и ζ будут :

$$\omega_z = \omega_1 \sin \omega t; \omega_\eta = \omega_2 \sin(\omega t - \chi). \quad (2.10)$$

Оценим величину погрешности. Для этого воспользуемся уравнением движения рамки ПДУС относительно корпуса прибора. Учитывая только гироскопические моменты и принимая $\sin \beta \approx \beta$ и $\cos \beta \approx 1$, получим

$$J_x \beta + B \beta + k \beta = H \omega_1 \sin \omega t - \beta H \omega_2 \sin(\omega t - \chi). \quad (2.11)$$

Для решения этого уравнения используем метод последовательного приближения. Для получения решения в первом приближении вторым членом правой части уравнения (3.32). Частным решением уравнения является соотношение

$$\beta_1 = \frac{H}{k} \lambda \omega_1 \sin(\omega t - \chi). \quad (2.12)$$

Для получения решения во втором приближении значение β во втором члене правой части (2.11) заменим на β_1 . Решение уравнения даст второе приближение по углу β :

$$\beta_2 = \frac{H \lambda \omega_1}{k} \sin(\omega t - \mu) - \frac{H^2 \lambda \omega_1 \omega_2}{2k^2} \cos(\mu - \chi) + A \cos(2\omega t - \varepsilon), \quad (2.13)$$

где A и ε – соответственно амплитуда и фазовый сдвиг вынужденных колебаний прибора с двойной частотой возмущения.

Второе приближение показывает, что центр колебаний подвижного узла ДУС смещается на величину, соответствующую следующей погрешности измерения:

$$\omega_{z0} = \frac{H \omega_1 \omega_2}{2k} \lambda \cos(\mu - \chi). \quad (2.14)$$

При $\chi = 0$ формула дает погрешность ПДУС от угловых колебаний основания, при $\chi = \frac{\pi}{2}$ – погрешность от «конических» колебаний. Для уменьшения погрешности необходимо увеличить жесткость пружины k .

Важно учитывать влияние угловых и «конических» колебаний основания на характеристики ПДУС, предназначенных для измерения малых угловых скоростей. Такие приборы, как правило, имеют гиромоторы с большим H и от них не требуется обеспечения высокой собственной частоты, а следовательно большого k .

Помимо отмеченной погрешности при угловых и «конических» колебаниях основания ПДУС будет иметь место погрешность вызванная эффектом некоммутативности конечных поворотов:

$$\omega_{z0} = \frac{S}{(R^2 T)}, \quad (2.15)$$

где S – замкнутая часть поверхности сферы радиуса R с центром в точке O , описанная осью чувствительности ПДУС за период колебания T .

Погрешности ПДУС, вызванные переносным ускорением ω_ξ .

При наличии переносного ускорения ω_ξ по оси подвеса подвижного узла действует инерциальный момент:

$$M_{\xi} = J_{\xi} \omega_{\xi}. \quad (2.16)$$

Тогда погрешности ПДУС

$$\omega_{\zeta 0} = \frac{J_{\xi} \omega_{\xi}}{H}. \quad (2.17)$$

Для уменьшения погрешности от переносного углового ускорения необходимо стремиться проектировать прибор с минимально возможным моментом инерции J_{ξ} . Это дает возможность не только уменьшить погрешность от переносного ускорения, но и повысить его собственную частоту, что улучшить динамические характеристики прибора.

2.2 Расчёт основных параметров ПДУС

В этом разделе будут получены примерные габариты отдельных элементов ПДУС, таких как гиromотор, пружина, датчик угла, поплавковый узел.

Конструктивную схему прибора составляют, исходя из требований ТЗ.

По заданному ТЗ следует, что конструктивная схема ПДУС будет с механической пружиной.

Поплавковые датчики угловой скорости (ПДУС) с механической пружиной просты по конструкции, удобны в эксплуатации, позволяют путем выбора жесткости механической пружины осуществлять измерение ω_{ζ} в широком диапазоне значений и при этом малогабаритны. Их применяют тогда, когда задаваемое отношение $\omega_{\zeta max}/\omega_{\zeta min}$ не превышает $(0,1 \div 0,5)10^3$ и не предъявляется жестких требований по обеспечению стабильности нуля и линейности выходной характеристики ДУС.

Данные для проектирования:

Кинетический момент, $H = 0,1 \text{ Н м с}$;

Пороговая скорость, $\omega_{\zeta min} = 0,1 \text{ }^\circ/\text{ч}$;

Скорость дрейфа, $0,1 \text{ }^\circ/\text{с}$;

Максимальная измеряемая скорость, $6 \text{ }^\circ/\text{с}$

Питание электроэлементов, $36\text{В}, 400\text{Гц}$.

Подвижный объект-туристический автобус

2.2.1 Расчет габаритов и мощности ПДУС:

Поплавковый гиروزел

В ПДУС, как правило, применяют синхронные гистерезисные гиromоторы с высокой стабильностью скорости вращения. Учитывая величины требуемых кинетического момента ротора $H = 10 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ и параметров питания электроэлементов: напряжение питания $U = 36\text{В}$, частота питания, по рисунку 2.13

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

[1] найдем мощность. Среда- гелий, тогда $P_{гир}=3$ Вт. Воспользуемся 3д моделью в программе Компас 3Д для нахождения веса гиromотора:

$$G_{дус} = 2,1Н, f_{пит} = 400 \text{ Гц.}$$

Параметры гиromотора:

- материал сталь;
- кинетический момент ротора $H = 10 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$;
- параметры питания: трёхфазный переменный ток; напряжение $U = 36 \text{ В}$, $f_{пит} = 400 \text{ Гц}$
- момент инерции вращающихся частей $0,000036 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$;
- масса $0,218 \text{ кг}$;
- габаритные размеры: диаметр $0,046 \text{ м}$, длина $0,026 \text{ м}$;
- скорость вращения 24000 об/мин ;
- потребляемая мощность 3 Вт .

Гиromотор будет находиться внутри поплавок. Поплавок будет заполнен гелием при температуре $t = 70^\circ \text{C}$ и давлении $P = 33330.5 \text{ Па}$. Плотность гелия при таких параметрах $\rho = 0,14333 \text{ кг/м}^3$.

Поплавок гиromотор, находясь в жидкости требуемой плотности, должен обладать нулевой плавучестью, не иметь дифферента относительно оси Ox и быть уравновешенным относительно этой же оси.

После того как поплавок взвешен, необходимо его балансировать для обеспечения нулевого дифферента.

Дифферент поплавок устраняют с помощью балансировочных шайб, которые располагаются на оси вращения поплавок с левого торца.

Датчик момента - магнитоэлектрический $G_{дм} = 0,6Н$

$$G_{пу} = 1,2 \cdot (G_{гм} + G_{дм}) = 1,2 \cdot (2,1 + 0,6) = 3,24 \text{ Н.} \quad (2.18)$$

$$V_{пу} = \frac{G_{пу}}{\gamma_{ж}} = \frac{3,24}{1 \cdot 10^4} = 3,24 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3, \text{ где } \gamma_{ж} = 1 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3} \quad (2.19)$$

$$V_{пу} = 0,45 \cdot V_{дус} \quad (2.20)$$

$$V_{дус} = \frac{V_{пу}}{0,45} = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \quad (2.21)$$

$$G_{дус} = V_{дус} \cdot \gamma_{дус} = 1,04 \cdot 5 = 5,2 \text{ Н} \quad (2.22)$$

$$D_{дус} = \sqrt[3]{\frac{4V_{дус}}{2,5\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,04 \cdot 10^{-4}}{2,5\pi}} = 0,0376 \text{ м} \quad (2.23)$$

$$L_{дус} = 2,2D_{дус} = 2,2 \cdot 0,0376 = 0,0827\text{м}; \quad (2.24)$$

$$S_{дус} = 3,0\pi D_{дус}^2 = 3,0 \cdot \pi \cdot 0,0376^2 = 0,0133 \text{ м}^2; \quad (2.25)$$

$$P_{\text{ДУС}} = k_1 \alpha S_{\text{ДУС}} (t_{p \max} - t_{p \min})$$

$$P_{\text{ДУС}} = 1,2 \cdot 8 \cdot 0,0133 \cdot (75^\circ - 60^\circ) \text{Вт} = 1,92 \text{ Вт}. \quad (2.26)$$

Расчет жесткости пружины:

У выбранного индуктивного датчика угла $\beta_{\max} = 1^\circ = 0,0175 \text{ рад}$.

$$\beta_{\max} = \frac{H \omega_{\zeta \max}}{K}; \quad (2.27)$$

$$K = \frac{H \omega_{\zeta \max}}{\beta_{\max}} = \frac{10 \text{ (Н·см·с)} \cdot 0,105 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right)}{0,0175 \text{ рад}} = 60 \frac{\text{Н·см}}{\text{рад}}. \quad (2.28)$$

Момент инерции:

По смоделированному ДУС в программе Компас v.18 найдём момент инерции:

$$B = 0.0787 \text{ Н·см·с}. \quad (2.29)$$

Расчет собственной частоты

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{B}}, \quad (2.30)$$

где ω_0 - собственная частота

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{60}{0,0787}} = 27,611 \frac{1}{\text{с}}. \quad (2.31)$$

Расчет периода собственной частоты:

$$T = \sqrt{\frac{B}{K}} = \frac{1}{\omega_0} = 0,036 \text{ с}. \quad (2.32)$$

Расчет коэффициента демпфирования:

$\xi = 0,707$ – степень затухания собственных колебаний.

$$K_d = 2 \cdot \omega_0 \cdot B \cdot \xi = 2 \cdot 27,611 \cdot 0.0787 \cdot 0.707 = 3,072. \quad (2.33)$$

3. КОНСТРУИРОВАНИЕ

В данной главе будут сконструированы элементы ПДУС и ГС

3.1 Элементы ПДУС демпфирующее устройство, датчик угла, датчик моментов.

Выбор датчика момента

Устройство, создающее момент, действующий вокруг оси карданова подвеса, в гироскопии называется датчиком момента (ДМ). ДМ уравнивают гироскопический момент, обеспечивают программный поворот в пространстве оси вращения ротора гироскопа, служат исполнительными элементами системы силовой разгрузки в гиросtabilизаторах [6]. Различают индукционные, магнитоэлектрические, электродинамические, электромагнитные датчики момента.

Наиболее подходящим является магнитоэлектрический датчик момента.

Выбор датчика угла

Индукционный датчик угла с подвижной катушкой.

В гироскопических приборах для определения угла поворота подвижной системы часто используют индукционные датчики угла с подвижной катушкой, которые часто называют рамочными датчиками. Индукционный датчик с подвижной катушкой представляет собой дифференциальный трансформатор с воздушным зазором, вторичная (сигнальная) обмотка которого располагается в воздушном зазоре.

При поворотах оси прибора сигнальная катушка (рамка) перемещается в заборе магнитопровода перпендикулярно магнитным силовым линиям потока возбуждения. Рассмотрим принцип работы рамочного датчика, дифференциального по ЭДС

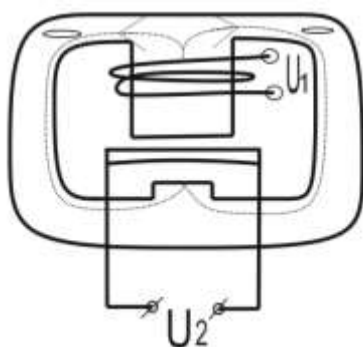


Рисунок 3.1 Датчик, дифференциальный по ЭДС

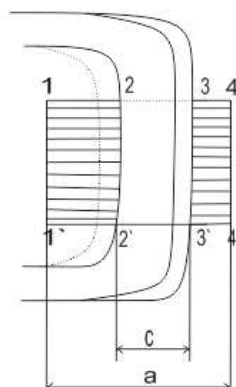


Рисунок 3.2. Пояснение принципа действия

На рисунке 3.1 представлен вид сверху на правую сторону сигнальной катушки и торец правого полюса нижней части магнитопровода датчика. Для простоты объяснения принципа работы магнитные потоки выпучивания учитывать не будем. В центральном (нулевом) положении рамки датчика часть потока возбуждения (первая), которая пронизывает площади $1, 2, 2', 1'$, сцепляется со всеми витками сигнальной катушки, часть потока, которая пронизывает тело намотки, т.е. площадь $2, 3, 3', 2'$ (вторая), сцепляется лишь частью витков. Часть потока, пронизывающая площадь $3, 4, 4', 3'$, совсем не сцепляется с витками сигнальной катушки. В сигнальной катушке ЭДС индуцируют только первая и вторая части потока. В левой половине сигнальной катушки восток возбуждения распределяется аналогично. Разница состоит в том, что поток в левой половине катушки имеет направление, противоположное направлению потока в правой части. При центральном положении сигнальной катушки ЭДС находимся в ней левой и правой ветвями потока возбуждения, будут равны по величине и противоположны по направлению. Результирующее выходное напряжение датчика в этом случае равно нулю. При смещении сигнальной катушки, например в лево, часть потока правого полюса, которая совсем не сцеплялась с ветками сигнальной катушки, увеличивается, а часть потока, которая полностью сцеплялась, уменьшается. Следовательно ЭДС, наводимая правой ветвью потока возбуждения, уменьшится. Картина перекрытия левого полюса рамкой будет обратной: та часть потока левого полюса, которая совсем не сцеплялась с витками сигнальной катушки, уменьшается, а которая сцеплялась полностью – увеличивается. Если рамка не выходит при своём смещении за пределы полюса, то потокосцепление той части потока, которая пронизывала рамку, останется неизменным. Следовательно, ЭДС, наводимая левой ветвь потока возбуждения, увеличится. В результате с сигнальной катушки будет сниматься напряжение U_2 , пропорциональное линейной величине смещения рамки $x = \rho\beta$.

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Элементы рамочных датчиков имеют следующее конструктивное решение: сигнальные катушки – плоские, прямоугольной или круглой формы; обмотка катушек выполняется медным проводом, диаметром порядка 0,03 мм. Эти катушки крепятся на специальном плоском кронштейне, который часто выполняют из пластмассы и имеет на своей поверхности углубление для размещения катушек. Катушки укрепляются на кронштейне с помощью клея или лака. В другой модификации сигнальные катушки укладываются в специальные формы и заливаются синтетической смолой. После застывания смолы получается монолитный деталь. Кронштейн с сигнальными катушками крепится к рычагу обычно винтами.

Магнитопровод датчика набирается из листов электротехнической стали или пермаллоя. Магнитопровод обычно укрепляется на корпусе прибора, рамка – на оси чувствительного элемента. Крепление магнитопровода должно предусматривать возможность регулировки углового положения. В некоторых гироскопических приборах магнитопровод крепится на подвижном элементе прибора. Это делается для сокращения числа токоподводов к подвижному узлу прибора, так как катушки возбуждения датчика могут быть подключены параллельно со статорными обмотками гиromотора, следовательно, дополнительных токоподводов не требуется. Однако в этом случае, кроме заметного возрастания момента инерции гиروزла, возможно появление дополнительных моментов тяжения вокруг выходной оси прибора, обусловленных наличием в конструкции чувствительного элемента значительных ферромагнитных масс.

Чтобы избежать значительных погрешностей в работе рамочного датчика, обусловленных радиальным смещением рамки в произвольном угловом направлении, необходимо использовать два таких датчика. В этом случае их выходные сигналы параллельно и последовательно подаются на усилитель и, суммируясь, взаимно компенсируют погрешности каждого отдельного датчика. Достоинства индукционного рамочного датчика по сравнению с индукционными датчиками угла с подвижным ротором следующее:

Значительно меньшая величина реактивного момента. Это объясняется тем, что рамка не имеет ферромагнитных масс и, следовательно, не создает электромагнитного момента; магнитоэлектрический момент рамочного датчика незначителен, так как токи в сигнальной катушке малы;

Значительно меньшая величина нулевого сигнала. Величина нулевого сигнала, обусловленного наличием высших и четных гармоник, в рамочных датчиках также ниже, так как магнитная цепь датчика даже при высоких индукциях в

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

магнитопроводе остается линейной за счет большего воздушного зазора, составляющего величину порядка 2 ... 3 мм;

Независимость выходного сигнала датчика (в сдвоенном варианте) от радиальных смещений чувствительного элемента.

Недостатком рамочного датчика по сравнению с индукционными датчиками с подвижным ротором является необходимость дополнительных токоподводов к подвижному узлу прибора. Следует отметить большое потребление энергии рамочным датчиком. Это объясняется необходимостью создания в большом воздушном зазоре датчика требуемой величины индукции.

Выходное напряжение ДУ: $U_2 = E_1 - E_2$, где

E_1, E_2 - ЭДС, наведенных соответственно в левой и правой сигнальных катушках.

При смещении рамки датчика в направлении, перпендикулярном магнитному потоку, за счет осевого зазора в опорах на выходе датчика появляется ложный сигнал, равноценный некоторому углу поворота рамки датчика. Чтобы устранить ложный сигнал, необходимо, использовать два диаметрально расположенных датчика, сигнальные обмотки, которых включаются на вход усилителя параллельно. Кроме исключения ошибок от радиальных смещений сигнальной катушки, в этом случае возрастает надежность работы датчика. Реактивный момент рамочного датчика незначителен и возникает за счет взаимодействия тока в сигнальной катушке с магнитным потоком возбуждения. Так как подвижная часть рамочного датчика не имеет ферромагнитных масс, то у такого датчика не существует и реактивного момента электромагнитных сил.

Система термостатирования

Для поддержания постоянной температуры жидкости, а также поплавкового гироузла в интегрирующих гироскопах предусмотрено автоматическое термостатирование.

Система автоматического термостатирования прибора состоит из термодатчика — чувствительного элемента температуры, усилителя и обмотки

обогрева термостата, выполняющего роль исполнительного органа системы автоматического регулирования.

Обмотка термодатчика наматываются на цилиндрическую поверхность специального стакана и помещаются в корпусе.

Для исключения трансформации ложных сигналов от посторонних магнитных полей переменного тока и уничтожения магнитного поля самого термодатчика его обмотку наматывают бифилярно.

Выбор опор

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Опоры выберем камневые. Суммарный дрейф данного типа опор не превышает $0,1 \dots 0,5 \text{ } ^\circ/\text{ч}$. [5]

Токоподводы

Питание гиromотора поплавкового гиросузла, съем сигнала с сигнальной обмотки датчика угла и подача управляющего сигнала на обмотку датчика момента осуществляется через токоподводы. В качестве токоподвода используем ленточный упругий токоподвод. [1]

3.2. Анализ влияния перекрестных связей на динамику гиросtabilизатора

Запишем уравнения движения двухосного гиросtabilизатора в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} \bar{D}_1 & \bar{A}_{12} \\ \bar{A}_{21} & \bar{D}_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{M}_1 \\ \bar{M}_2 \end{bmatrix}; \quad (3.1)$$

$$\bar{D} \cdot \bar{x} = \bar{M};$$

$$\begin{bmatrix} A_1 p^2 + h_1 p & H_1 + \frac{K_{11}}{p} + K_{12} & H_1 p & -K_d p - K_n \\ -H_1 p & B_1 p^2 + K_d p + K_n & B_1 p^2 & 0 \\ H_2 p & -K_d p - K_n & A_2 p^2 + h_2 p & H_2 p + \frac{K_{21}}{p} + K_{22} \\ B_2 p^2 & 0 & -H_2 p & B_2 p^2 + K_d p + K_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \\ \alpha_2 \\ \beta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} \\ M_{21} \\ M_{12} \\ M_{22} \end{bmatrix}; \quad (3.2)$$

$$\bar{D}_1 = \begin{bmatrix} A_1 p^2 + h_1 p & H_1 + \frac{K_{11}}{p} + K_{12} \\ -H_1 p & B_1 p^2 + K_d p + K_n \end{bmatrix};$$

$$\bar{D}_2 = \begin{bmatrix} A_2 p^2 + h_2 p & H_2 p + \frac{K_{21}}{p} + K_{22} \\ -H_2 p & B_2 p^2 + K_d p + K_n \end{bmatrix};$$

$$\bar{A}_{12} = \begin{bmatrix} H_1 p & -K_d p - K_n \\ B_1 p^2 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\bar{A}_{21} = \begin{bmatrix} H_2 p & -K_d p - K_n \\ B_2 p^2 & 0 \end{bmatrix}.$$

Рассмотрим влияние перекрестных связей на динамику гиросtabilизатора поочередно. Каналы ГС идентичны, то $H_1 = H_2 = H$; $B_1 = B_2 = B$; $h_1 = h_2 = h$; $K_{11} = K_{21} = K_1$; $K_{12} = K_{22} = K_2$; $A_1 = A_2 = A$.

При наличие только перекрестных связей через датчики углов прецессии выражения имеют вид:

$$\Delta = \begin{bmatrix} A_1 p^2 + h_1 p & H_1 + \frac{K_{11}}{p} + K_{12} & H_1 p & 0 \\ -H_1 p & B_1 p^2 + K_d p + K_n & B_1 p^2 & 0 \\ H_2 p & 0 & A_2 p^2 + h_2 p & H_2 p + \frac{K_{21}}{p} + K_{22} \\ B_2 p^2 & 0 & -H_2 p & B_2 p^2 + K_d p + K_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \Delta &= (-1)^{1+2+1+2} D_1 D_2 + (-1)^{1+2+1+3} \cdot 0 + (-1)^{1+2+1+4} \cdot 0 + \\ &+ (-1)^{1+2+2+3} \cdot \begin{bmatrix} H p + \frac{K_1}{p} + K_2 & H p \\ B p^2 + K_d p + K_n & B p^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H p & H p + \frac{K_1}{p} + K_2 \\ B p^2 & B p^2 + K_d p + K_n \end{bmatrix} + \\ &+ (-1)^{1+2+2+4} \cdot 0 + (-1)^{1+2+3+4} \cdot 0 = \\ &= D_1 D_2 \cdot [(H B p^3 + K_1 B p + K_2 B p^2) - (H B p^3 + K_d H p^2 + K_n H p)] \times \\ &\times [(H B p^3 + K_d H p^2 + K_n H p) - (H B p^3 + K_1 B p + K_2 B p^2)] = \\ &= D_1 D_2 + (K_1 B p + K_2 B p^2 - K_n H p)^2; \end{aligned}$$

Так как параметры каналов гиросtabilизатора одинаковые, то $D_1 = D_2 = D$

$$\begin{aligned} D &= \begin{bmatrix} A p^2 + h p & H + \frac{K_1}{p} + K_2 \\ -H p & B p^2 + K_d p + K_n \end{bmatrix} = [(A p^2 + h p)(B p^2 + K_d p + K_n)] + \\ &+ H p \left(H + \frac{K_1}{p} + K_2 \right) = [A B p^4 + A K_d p^3 + A K_n p^2 + B h p^3 + K_d H p^2 + K_n H p] + \\ &+ [H^2 p^2 + H K_1 + H K_2 p]. \end{aligned}$$

Произведем замену $p = j\omega$:

$$\begin{aligned} \Delta &= D^2 + (K_1 B p + K_2 B p^2 - K_n H p)^2 = [D + j(K_1 B p + K_2 B p^2 - K_d H p^2 - K_n H p)] \times \\ &\times [D - j(K_1 B p + K_2 B p^2 - K_d H p^2 - K_n H p)] \\ \Delta(j\omega) &= A B \omega^4 - A K_d j \omega^3 - A K_n \omega^2 - B h j \omega^3 - K_d h j \omega^2 + K_n h j \omega - H^2 \omega^2 + \\ &+ H K_1 + H K_2 j \omega \mp K_1 B \omega \mp K_2 B j \omega^2 \pm K_d H j \omega^2 \pm K_n H \omega. \end{aligned}$$

После приведения подобных членов по степени ω получаем:

$$\begin{aligned} \Delta(j\omega) &= A B \omega^4 - j \omega^3 (A K_d + B h) - \omega^2 [(A K_n + K_d h + H^2) + j(\mp K_2 B \pm K_d H)] + \\ &+ \omega [\mp K_1 B \pm K_n h + j H K_1] + H K_1. \end{aligned}$$

Рассмотрим влияние перекрестных связей через упругие и демпфирующие моменты:

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{bmatrix} A p^2 + h p & H + \frac{K_1}{p} + K_2 & 0 & -K_d p - K_n \\ -H p & B p^2 + K_d p + K_n & 0 & 0 \\ 0 & -K_d p - K_n & A_2 p^2 + h_2 p & H p + \frac{K_1}{p} + K_2 \\ 0 & 0 & -H_2 p & B p^2 + K_d p + K_n \end{bmatrix} = \\ &= (-1)^{1+2+1+2} \cdot D^2 + (-1)^{1+2+1+3} \cdot 0 + (-1)^{1+2+1+4} \begin{bmatrix} A_1 p^2 + h_1 p & -K_d p - K_n \\ -H_1 p & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} -K_d p - K_n & Ap^2 + hp \\ 0 & -Hp \end{bmatrix} + (-1)^{1+2+2+3} \cdot 0 + (-1)^{1+2+2+4} \cdot 0 + (-1)^{1+2+3+4} \cdot 0 = \\ & = D^2 + \left[(Ap^2 + hp) \cdot 0 - (-Hp(K_d p - K_n)) \right] \times \\ & \times \left[(-K_d p - K_n)(-Hp) - (0 \cdot (Ap^2 + hp)) \right] = \\ & = D^2 + [HK_d p^2 + HK_n p][HK_d p^2 + HK_n p] \end{aligned}$$

Произведем замену $p = j\omega$:

$$\Delta = D^2 + [HK_d p^2 + HK_n p][HK_d p^2 + HK_n p] = [D + j(-HK_d \omega^2 + HK_n \omega)] \times [D - j(-HK_d \omega^2 + HK_n \omega)]$$

$$\Delta(j\omega) = AB\omega^4 - AK_d j\omega^3 - AK_n \omega^2 - Bhj\omega^3 - K_d h\omega^2 + K_n hj\omega - H^2 \omega^2 + HK_1 \mp HK_d j\omega^2 \mp HK_n.$$

После приведения подобных членов по степени ω получаем:

$$\Delta(j\omega) = AB\omega^4 - j\omega^3(AK_d + Bh) - \omega^2(AK_n + K_d h + H^2 \mp jHK_d) + (K_n j\omega + HK_2) + HK_1 \mp HK_n.$$

Из получившихся выражений видно, что коэффициенты канала главного определителя гиросtabilизатора намного больше коэффициентов перекрестных связей через датчики углов прецессии, упругие и демпфирующие моменты.

$H^2 \gg HK_d, HK_1 \gg HK_n$. – для реальных параметров ГС.

При выполнении этих условий влиянием перекрестных связей на устойчивость можно пренебречь. [6]

3.3 Уравнения движения и передаточные функции канала гиросtabilизатора.

Уравнения движения канала гиросtabilизатора, сконструированного на базе ПДУС:

$$A\ddot{\alpha} + h\dot{\alpha} + H\dot{\beta} + K_2\beta + K_1 \int \beta dt = M_1;$$

$$B\ddot{\beta} + K_d\dot{\beta} + K_n\beta - H\dot{\alpha} = M_2. \quad (3.3)$$

Применяя преобразования по Лапласу к системе уравнений (3.3), получим:

$$(Ap^2 + hp)\alpha(p) + \left(Hp + K_2 + \frac{K_1}{p}\right)\beta(p) = M_1(p);$$

$$(Bp^2 + K_d p + K_n)\beta(p) - Hp\alpha(p) = M_2(p).$$

Структурная схема двухосного гиросtabilизатора будет иметь вид: [8]

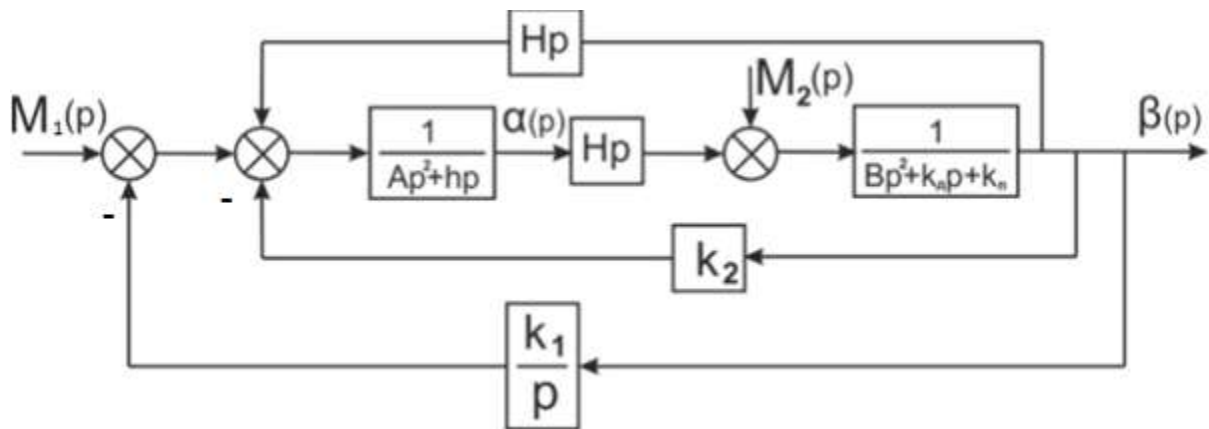


Рисунок 3.3 – Структурная схема двухосного гиросtabilизатора, сконструированная на базе поплавкового датчика угловой скорости

Из полученной структурной схемы (рис. 3.3) получим передаточные функции:

$$W_c(p) = K_2 + \frac{K_1}{p} = \frac{K_2 p + K_1}{p};$$

$$W_{\beta, M_1}(p) = \frac{Hp}{p[ABp^4 + (Bh + AK_d)p^3 + (H^2 + hK_d + AK_n)p^2 + (HK_2 + hK_n)p + HK_1]}; \quad (3.4)$$

$$W_{\alpha, M_1}(p) = \frac{Bp^2 + K_d p + K_n}{ABp^4 + (Bh + AK_d)p^3 + (H^2 + hK_d + AK_n)p^2 + (HK_2 + hK_n)p + HK_1};$$

$$W_{\alpha, M_2}(p) = \frac{Hp^2 + K_1 p + K}{ABp^4 + (Bh + AK_d)p^3 + (H^2 + hK_d + AK_n)p^2 + (HK_2 + hK_n)p + HK_1}. \quad (3.5)$$

При действии постоянного момента по оси стабилизации из передаточных функций следует:

$$\alpha_{ст} = \frac{K_n M_1}{HK_1}. \quad (3.6)$$

Из передаточной функции (3.5) определим угловую скорость дрейфа:

$$\omega_{др} = \frac{M_2}{H}. \quad (3.7)$$

3.4 Определение возмущающих моментов по осям стабилизации

Рассчитаем моменты сил трения шарикоподшипников, необходимые для расчета возмущающих моментов:

$$M_{шп} = M_0 + [(1.5F_a + 1.25F_r)\mu D_{pw}/D_w], \quad (3.8)$$

Где $\mu = 10 \cdot 10^{-5}$ м, $M_0 = 6 \cdot 10^{-3}$ Н·м, D_{pw} , D_w – наружный и внутренний диаметры кольца шарикоподшипника, F_a , F_r – нагрузочные силы.

Для платформы:

$$D_{pw} = 20 \text{ мм};$$

$$D_w = 47 \text{ мм};$$

$$F_a = 250 \text{ Н};$$

$$F_r = 500 \text{ Н}.$$

Подставляя значения в формулу (5.1), получим

$$M_{\text{шп1}} = 1,41 \text{ [Н*см]}. \quad (3.9)$$

Найдем возмущающий момент:

$$M_{12} = 33,2 \text{ [Н*см]}. \quad (3.10)$$

Для внешней рамы:

$$D_{pw} = 50 \text{ мм};$$

$$D_w = 80 \text{ мм};$$

$$F_a = 720 \text{ Н};$$

$$F_r = 360 \text{ Н};$$

$$M_{\text{шп2}} = 0,00166 \text{ [Н*м]}; \quad (3.11)$$

$$M_{11} = 32 \text{ [Н*см]}. \quad (3.12)$$

3.5 Определение моментов инерции относительно осей стабилизации

С помощью программы Компас 3D определим моменты инерции смоделированного прибора.

Моменты инерции относительно оси стабилизации платформы:

$$J_x = 0.4 \text{ кг * м}^2 = A_2. \quad (3.13)$$

Моменты инерции относительно оси стабилизации внешней рамы:

$$J_z = 0.75 \text{ кг * м}^2 = A_1. \quad (3.14)$$

3.6 Выбор двигателей стабилизации и датчиков угла.

В качестве датчика угла, по оси стабилизации платформы выберем ДУ-50-25, а по оси стабилизации рамы ДУ-160-ГО-64 с неограниченным углом поворота вала ротора.

Двигатели стабилизации выберем на основании рассчитанных возмущающих моментов, и размеров конструкции. Для стабилизации платформы выберем моментный двигатель МД50-1, пусковой момент которого $M_{\text{п}} = 0,09 \text{ Н * м}$. (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Двигатель стабилизации МД50-1

Для стабилизации внешней рамы выберем моментный двигатель МД71-0,07 (рисунок 3.5), пусковой момент которого 0,14 Н * м.



Рисунок 3.5 – Двигатель стабилизации МД71-0,07

3.7 Определение параметров цепи стабилизации

Чтобы определить коэффициент усиления K_1 , воспользуемся выражением (3.6):

$K_1 = \frac{M_{11}}{a_{1ст}}$, где $a_{1ст}$ задана техническим заданием точность стабилизации $a_{1ст} = 0,00174$ рад.(6 угл. минут),

$$M_{11} = M_{возм.};$$

$$K_1 = 220600 \frac{Н \cdot см}{рад}.$$

Чтобы определить соотношения между параметрами гиросtabilизатора, при которых он находится в устойчивом положении, воспользуемся характеристическим уравнением:

$$a_0 \lambda^4 + a_1 \lambda^3 + a_2 \lambda^2 + a_3 \lambda + a_4 = 0, \text{ где} \quad (3.11)$$

$$a_0 = AB; a_1 = Bh + AK_d; a_2 = H^2 + hK_d + AK_p; a_3 = HK_2 + hK_p; a_4 = HK_1.$$

Разделив коэффициенты на АВ получим:

$$b_0 \lambda^4 + b_1 \lambda^3 + b_2 \lambda^2 + b_3 \lambda + b_4 = 0, \text{ где} \quad (3.12)$$

$$b_0 = 1; b_1 = \frac{h}{A} + 2d\omega_0; b_2 = \frac{H^2}{AB} + \frac{h}{A} 2d\omega_0 + \omega_0^2; b_3 = \left(K_1 \frac{k}{A} + \frac{h}{A} \right) \omega_0^2;$$

$$b_4 = K \frac{k}{A} \omega_0^2, \text{ где}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_p}{B}} \text{—собственная частота угловой скорости;}$$

$$k = \frac{H}{K_p} \text{—коэффициент передачи поплавкового датчика угловой скорости;}$$

$$k = \frac{10 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}}{60 \text{ Н} \cdot \text{см} / \text{рад}} = 0,16 \text{ с} \cdot \text{рад},$$

$$2d\omega_0 = \frac{K_d}{B}, \text{ где } d \text{— относительный коэффициент демпфирования.}$$

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$b_0 > 0$ – Необходимое условие устойчивости по критерию Гурвица, оно выполняется. Положительность определителя Гурвица Δ_3 , составленного из коэффициентов характеристического уравнения является достаточным условием.

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} b_1 & b_3 & 0 \\ b_0 & b_2 & b_4 \\ 0 & b_1 & b_3 \end{vmatrix} = b_1 b_2 b_3 - b_2^2 b_4 - b_3^2 > 0.$$

Неравенство (3.11) запишем в виде:

$b_3^2 - b_1 b_2 b_3 + b_2^2 b_4 = 0$, так как коэффициент K_1 входит в b_3 характеристического уравнения (3.12).

$$b_{3(1.2)} = \frac{b_1 b_2}{2} \left[1 \pm \frac{\sqrt{b_2^2 - 4b_4}}{b_2} \right].$$

Условие $b_2^2 > 4b_4$, которое соответствует условию:

$$\frac{H^2}{AB} + \frac{h}{A} 2d\omega_0 + \omega_0^2 > 2d\omega_0 \sqrt{K \frac{k}{A}}.$$

Выполняется с учётом реальных соотношений параметров:

$$\omega_0 > 2 \sqrt{K \frac{k}{A}}.$$

Тогда выражение (3.12) запишем в виде:

$$f(b_3) = b_3^2 - b_1 b_2 b_3 + b_2^2 b_4$$

При максимальном значении определителя матрицы Гурвица выполняется максимальный запас устойчивости. Коэффициент b_3 соответствует максимальному запасу устойчивости. Для определения максимального значения необходимо производную $df(b_3)db_3$ приравнять к нулю.

$$2b_3 - b_1 b_2 = 0.$$

$$\text{При этом } b_3^* = \frac{b_1 b_2}{2}.$$

Если выполняется это условие, тогда $(K_2 k) = d\omega_0 A$.

Выводы по третьей главе

В данной главе были рассмотрены элементы конструкции ПДУС. Произведен анализ перекрестных связей на устойчивость ГС и выбор элементов конструкции ГС. Получены уравнения каналов. Рассчитаны параметры цепи стабилизации.

4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВУХОСНОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА

В данной главе будут рассмотрены параметры каналов ГС. Моделирование ПДУС и двухосного ГС.

4.1 Параметры каналов

Воспользуемся следующими параметрами для моделирования динамики гиростабилизатора:

Заданный кинетический момент

$$H = 10 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}.$$

Коэффициент демпфирования поплавка

$$K_d = 3,072 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}.$$

Коэффициент жесткости пружины

$$K_{\Pi} = 60 \frac{\text{Н} \cdot \text{см}}{\text{рад}}.$$

Момент инерции рамы

$$A_1 = 750 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}.$$

Момент инерции платформы:

$$A_2 = 400 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}.$$

Момент инерции поплавка ПДУС:

$$B = 0.0787 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}.$$

Коэффициент усиления K_1 :

$$K_1 = 220600 \frac{\text{Н} \cdot \text{см}}{\text{рад}}.$$

Максимально измеримая угловая скорость ПДУС;

$$\omega = 0,104 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Собственная частота ПДУС;

$$\omega_0 = 27,611 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Коэффициент передачи поплавкового датчика угловой скорости;

$$k = \frac{10 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}}{60 \text{ Н} \cdot \text{см}} = 0,16 \text{ с}.$$

Коэффициент противо-ЭДС двигателя стабилизации.

$$h_1 = 0,1.$$

Максимальный угол поворота ПДУС

$$\beta = 1^\circ.$$

Точность стабилизации (амплитуда колебаний платформы);

$$\alpha_{\text{ст}} = 0,00174 \text{ рад}.$$

4.2 Моделирование динамики ГС

Смоделируем математическую модель канала гиросtabilизатора в пакете VisSim 3.0 по уравнениям канала ГС (3.3) (Приложение А). График ЛАХ разомкнутой системы канала представлен на рисунке 3.6.

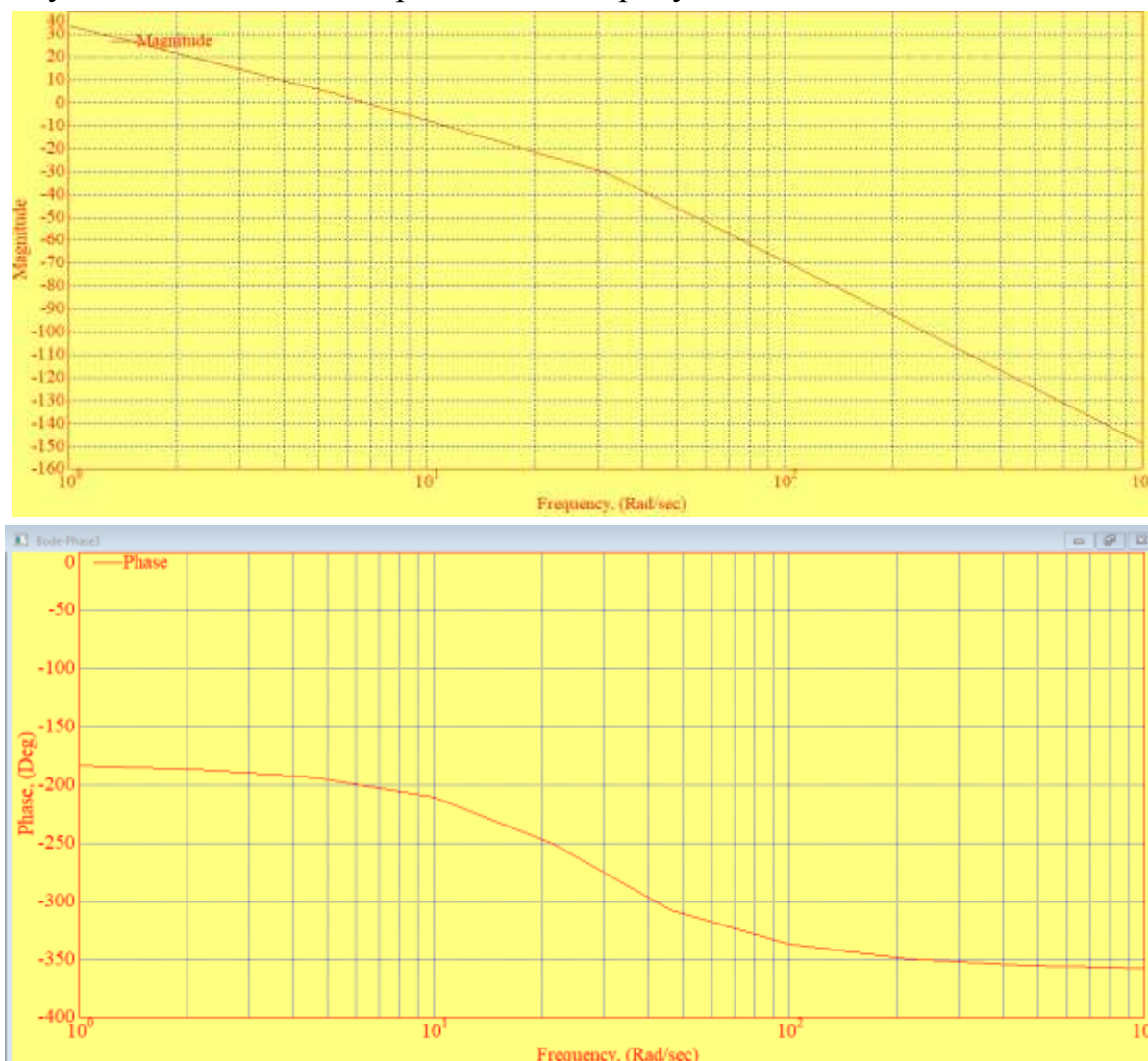


Рисунок 3.6 – Графики ЛАХ и ФЧХ разомкнутой системы первого канала

По полученной характеристике видно, что ЛАХ пересекает ось частот под -40ДБ/дек. Для обеспечения устойчивости необходимо увеличить угол наклона характеристики в районе частоты среза на 20 ДБ/дек. Это осуществляется включением в схему форсирующего звена, которое реализуется за счёт включения датчика угловой скорости. По передаточной функции стабилизации (3.4) найдём K_2 :

$$W_c(p) = K_2 + \frac{K_1}{p} = \frac{\frac{K_2}{K_1}p(Tp+1)}{p},$$

$$T = \frac{K_2}{K_1},$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

24.03.02.2019.185.00 ПЗ

Лист

40

$T = 0.33$ – исходя из полученной ЛАХ,

$$K_2 = T \cdot K_1 = 0.33 \cdot 220600 = 72798.$$

Получим графики переходных процессов первого канала, представленные на рисунках (3.7; 3,8; 3,9).

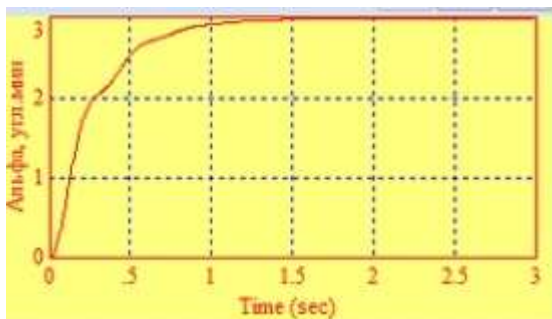


Рисунок 3.7 – Переходный процесс первого канала ГС

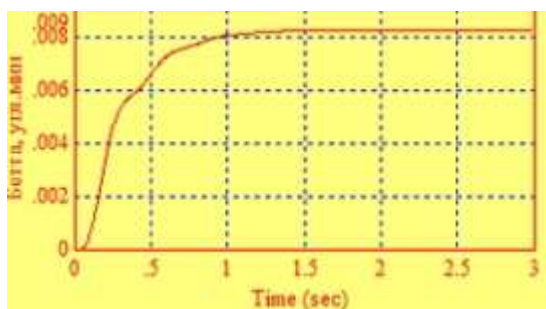


Рисунок 3.8 – Переходный процесс первого канала ГС

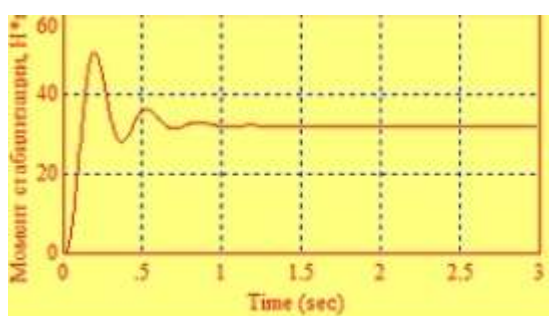


Рисунок 3.9 – Переходный процесс первого канала ГС

Аналогично для второго канала построим ЛАХ разомкнутой системы, для расчета коэффициента форсирующего звена.



Рисунок 3.10 – Графики ЛАХ и ФЧХ разомкнутой системы второго канала

По полученной характеристике видно, что ЛАХ пересекает ось частот Под -40ДБ/дек. Для обеспечения устойчивости необходимо увеличить угол наклона характеристики в районе частоты среза на 20 ДБ/дек. Это осуществляется включением в схему форсирующего звена, которое реализуется за счёт включения датчика угловой скорости. По передаточной функции стабилизации (3.4) найдём K_2 :

$$W_c(p) = K_2 + \frac{K_1}{p} = \frac{\frac{K_2}{K_1}p(Tp+1)}{p},$$

$$T = \frac{K_2}{K_1},$$

$T = 0167$ – исходя из полученной ЛАХ,

$$K_2 = T \cdot K_1 = 0.167 \cdot 220600 = 3676,66 \frac{\text{Н см}}{\text{рад}}$$

Получим графики переходных процессов второго канала, по оси стабилизации платформы, представленные на рисунках (3.11; 3,12).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

24.03.02.2019.185.00 ПЗ

Лист

42

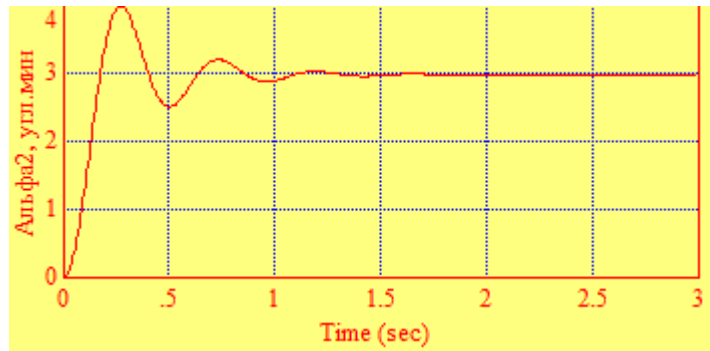


Рисунок 3.11 – Переходный процесс второго канала ГС

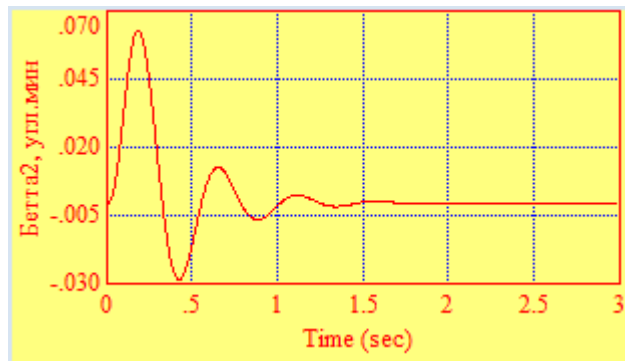


Рисунок 3.12 – Переходный процесс второго канала ГС

Динамическая модель каналов ГС с учетом влияния перекрестных связей, выполнена в программе Vissim 3.0. Для оценки влияния перекрестных связей приложим возмущающий момент только по оси наружной рамы. Графики переходных процессов представлены на рисунках (3.13; 3,14).

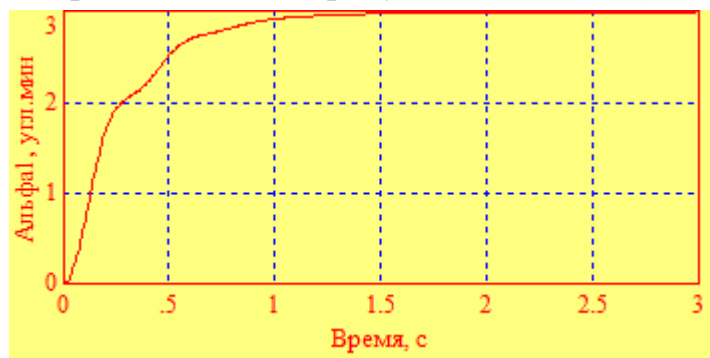


Рисунок 3.13 – Переходный процесс первого канала ГС с учетом перекрестных связей

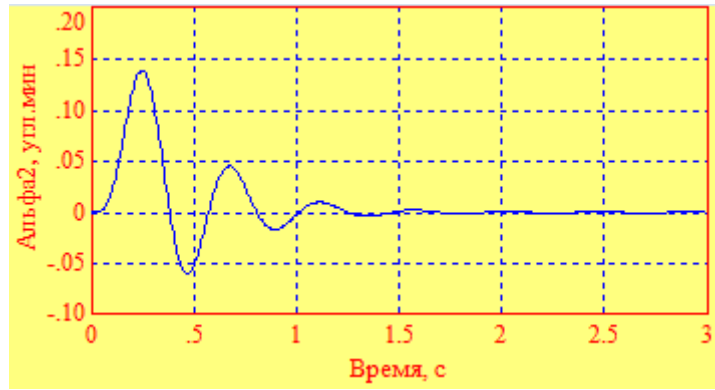


Рисунок 3.14 – Переходный процесс второго канала ГС с учетом перекрестных связей

По графикам видно, что перекрестные связи между каналами двухосного ГС незначительно влияют на точность стабилизации.

Выводы по четвертой главе

При выбранных параметрах цепи выполняется заданная точность стабилизации по каналам ГС. Из полученных переходных характеристик видно, что перекрестные связи не влияют на точностные характеристики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы был разработан двухосный гиросtabilизатор телевизионной антенны на базе двух поплавковых датчиков угловой скорости.

По результатам проектирования были получены следующие характеристики:

- масса 69,38 кг.
- габаритные размеры 600x320x775 мм.
- момент инерции рамы $A_1 = 750 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}$
- момент инерции платформы $A_2 = 400 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}$

По результатам моделирования был определён коэффициент усиления цепи стабилизации:

$$K = 72798 \frac{\text{Н} \cdot \text{см}}{\text{рад} \cdot \text{с}}$$

В результате работы разработанный гиросtabilизатор полностью отвечает требованиям и параметрам технического задания.

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Никитин, Е.А. Гироскопические системы. Проектирование гироскопических приборов: учебное пособие / Е.А. Никитин, С.Ф. Коновалов, Л.М. Селиванова.- М.: Высшая школа, 1980. – 128с.

2 Лысов, А.Н. Прикладная теория гироскопов: учебное пособие / А.Н. Лысов, А.А. Лысова, Н.Т. Виниченко.– Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – Ч. 2. – 170с.

3 Одинцов, А.А. Теория и расчёт гироскопических приборов / А.А. Одинцов. – К.: Вища шк.: Головное изд-во, 1985. – 392 с.

4 Коновалов, С.Ф., Никитин, Е.А., Селиванова, Л.М. Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем. Ч. III. Акселерометры, датчики угловой скорости, интегрирующие гироскопы и гиринонтеграторы: Учеб. пособие / Под ред. Пельпора, Д.С. – М.: Высш. школа, 1980. – 128 с.: ил.

5 Одинцов, А.А. Теория и расчёт гироскопических приборов / А.А. Одинцов. – К.: Вища шк.: Головное изд-во, 1985. – 392 с.

6 Моментные электродвигатели и индукционные датчики угла для прецизионных электроприводов и цифровых безредукторных следящих систем. – СПб: Электроприбор, 2005. – 78 с.

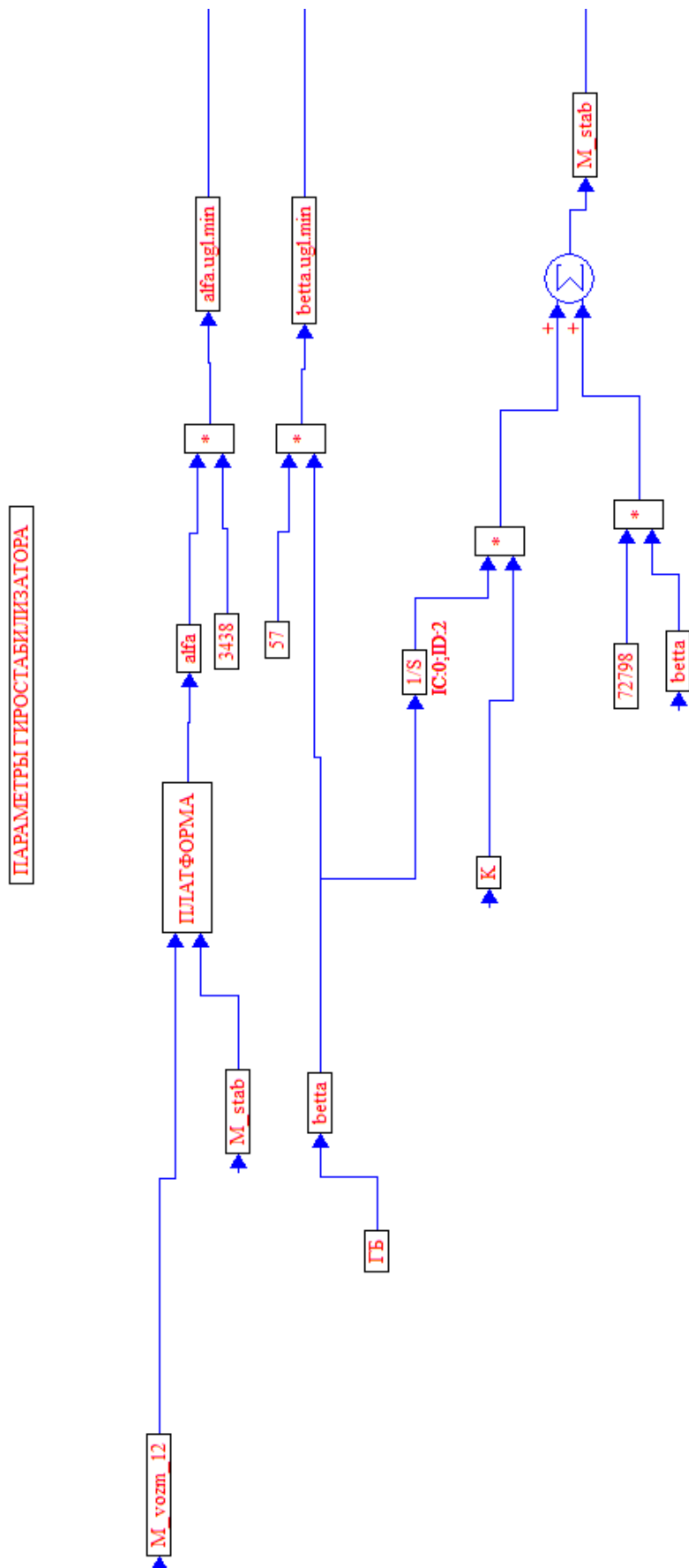
7 Сломянский, Г.А. Детали и узлы гироскопических приборов: Атлас конструкций / Г.А. Сломянский, А.В. Агапов, Е.М. Радионов и др. – М.: Машиностроение, 1975.

8 Лысов, А.Н. Теория гироскопических стабилизаторов / А.Н. Лысов, А.А. Лысова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 115 с.

					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЯ
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Модель канала гиросtabilизатора



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

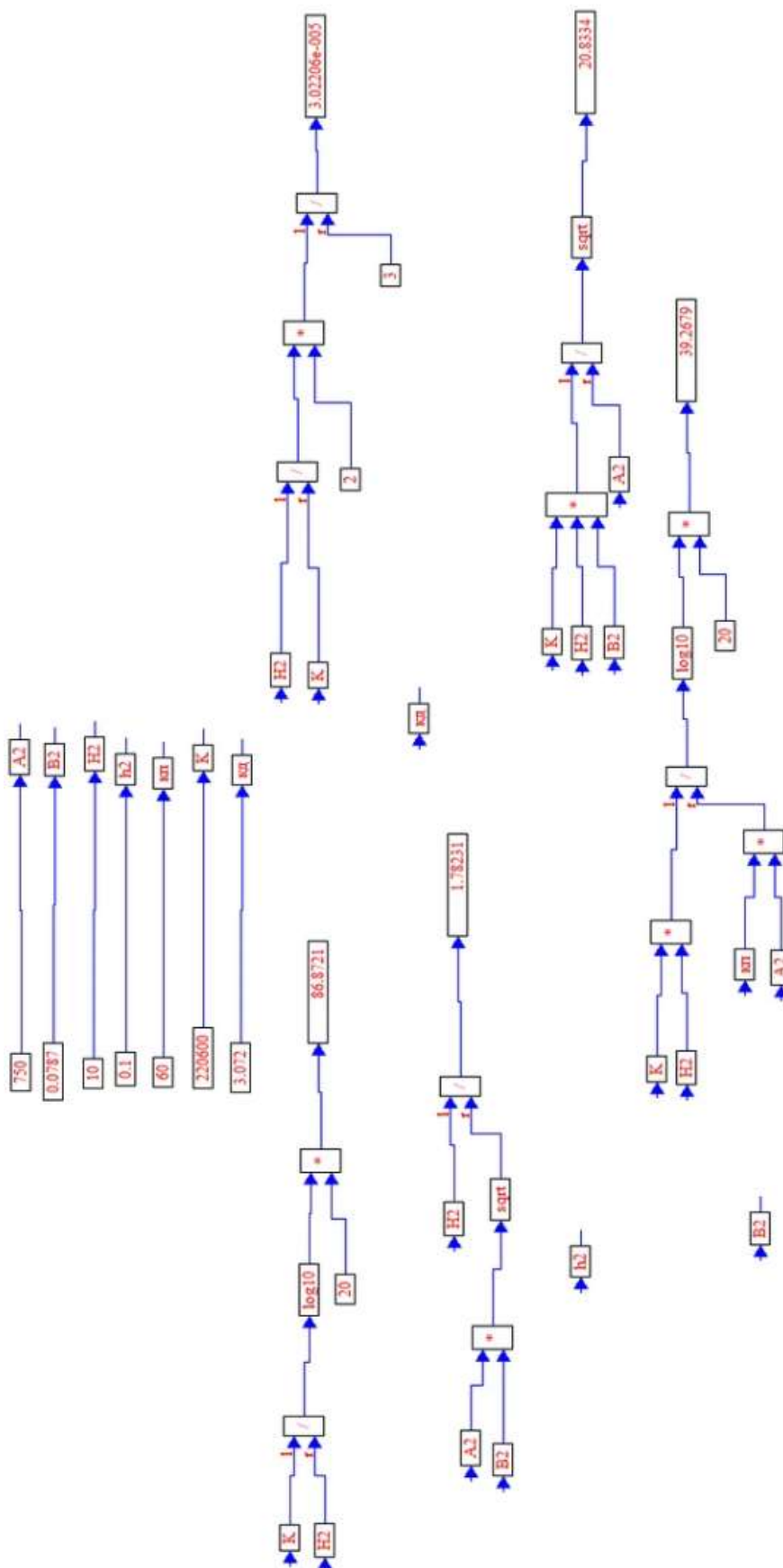
24.03.02.2019.185.00 ПЗ

Лист

47

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Блок «параметры гиросtabilизатора»

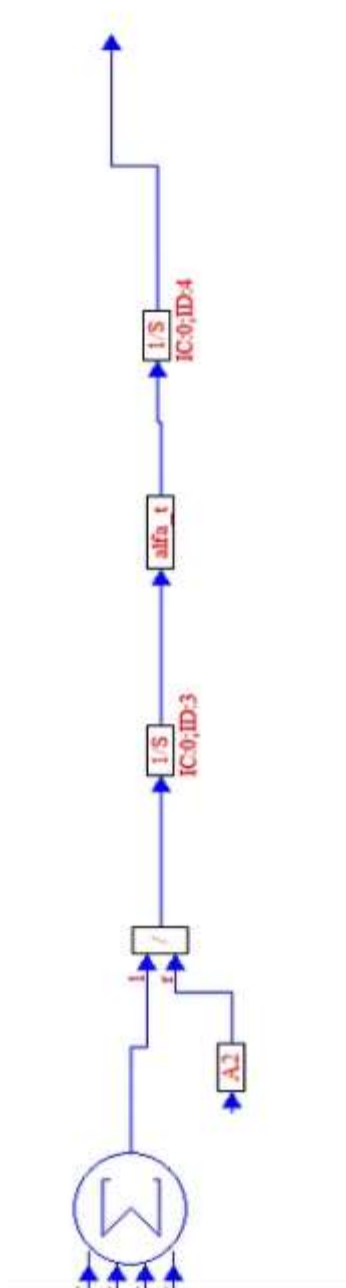


Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

24.03.02.2019.185.00 ПЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Блок «платформа»



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

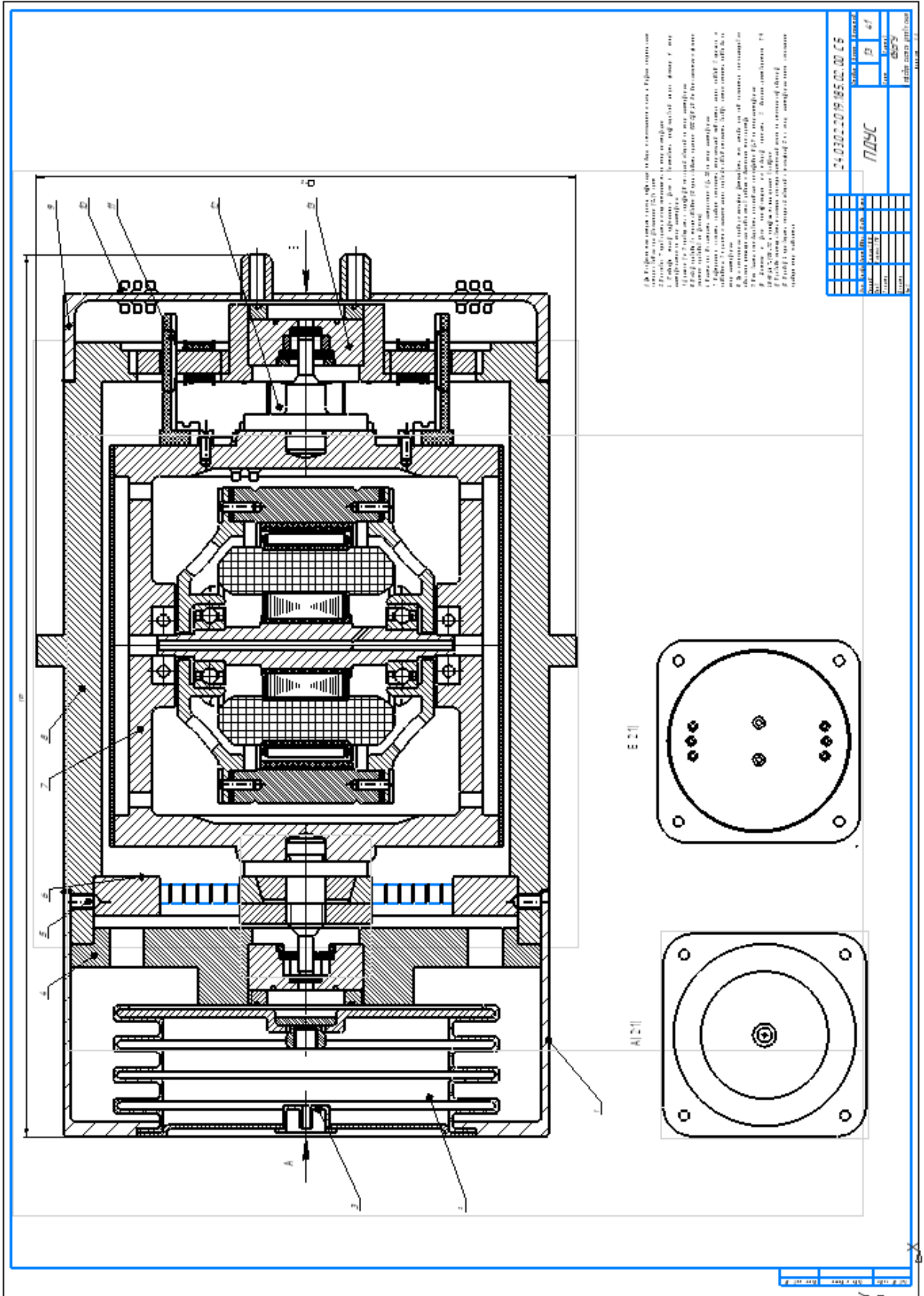
24.03.02.2019.185.00 ПЗ

Лист

49

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Сборочный чертеж ПДУС

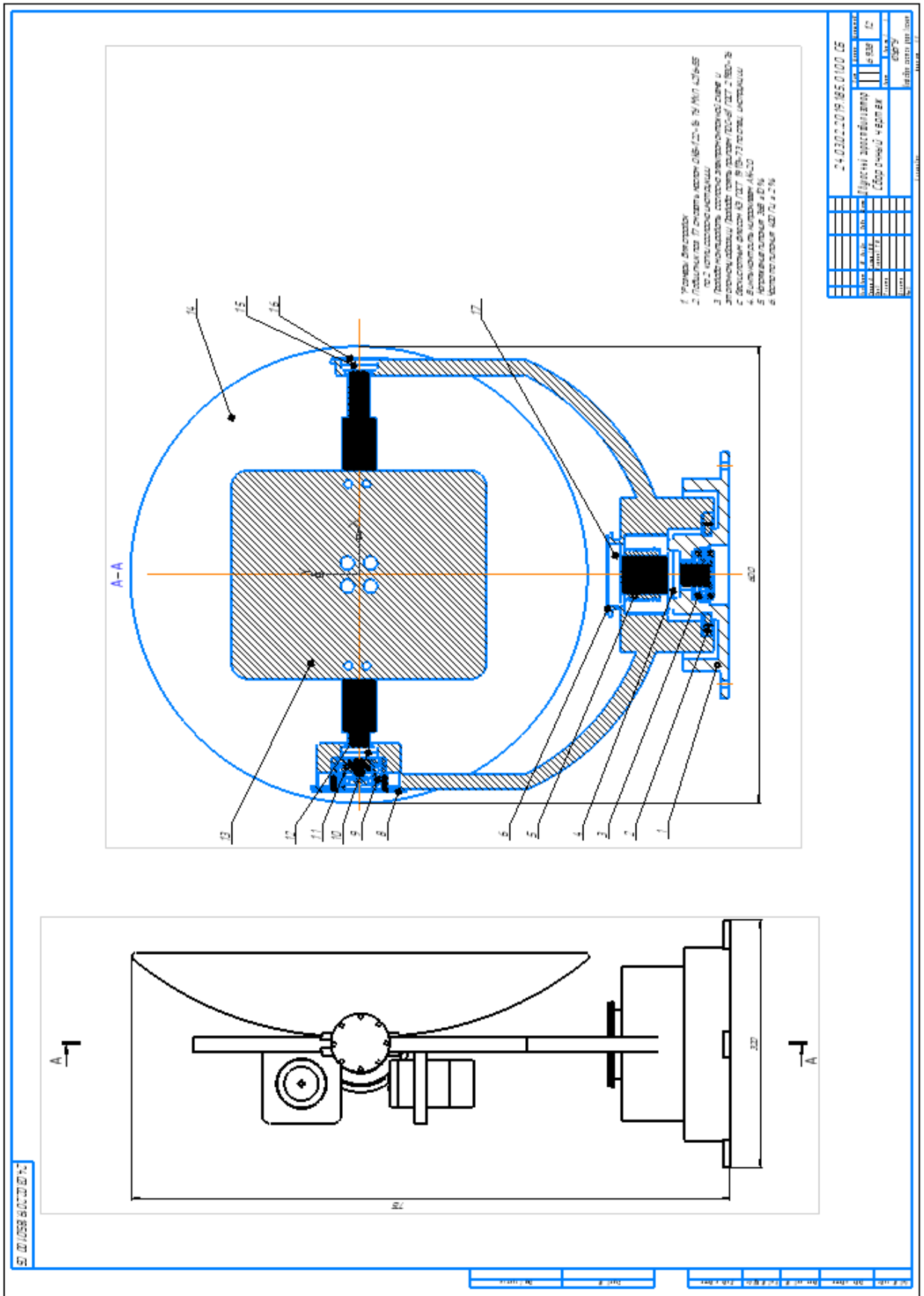


Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

24.03.02.2019.185.00 ПЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

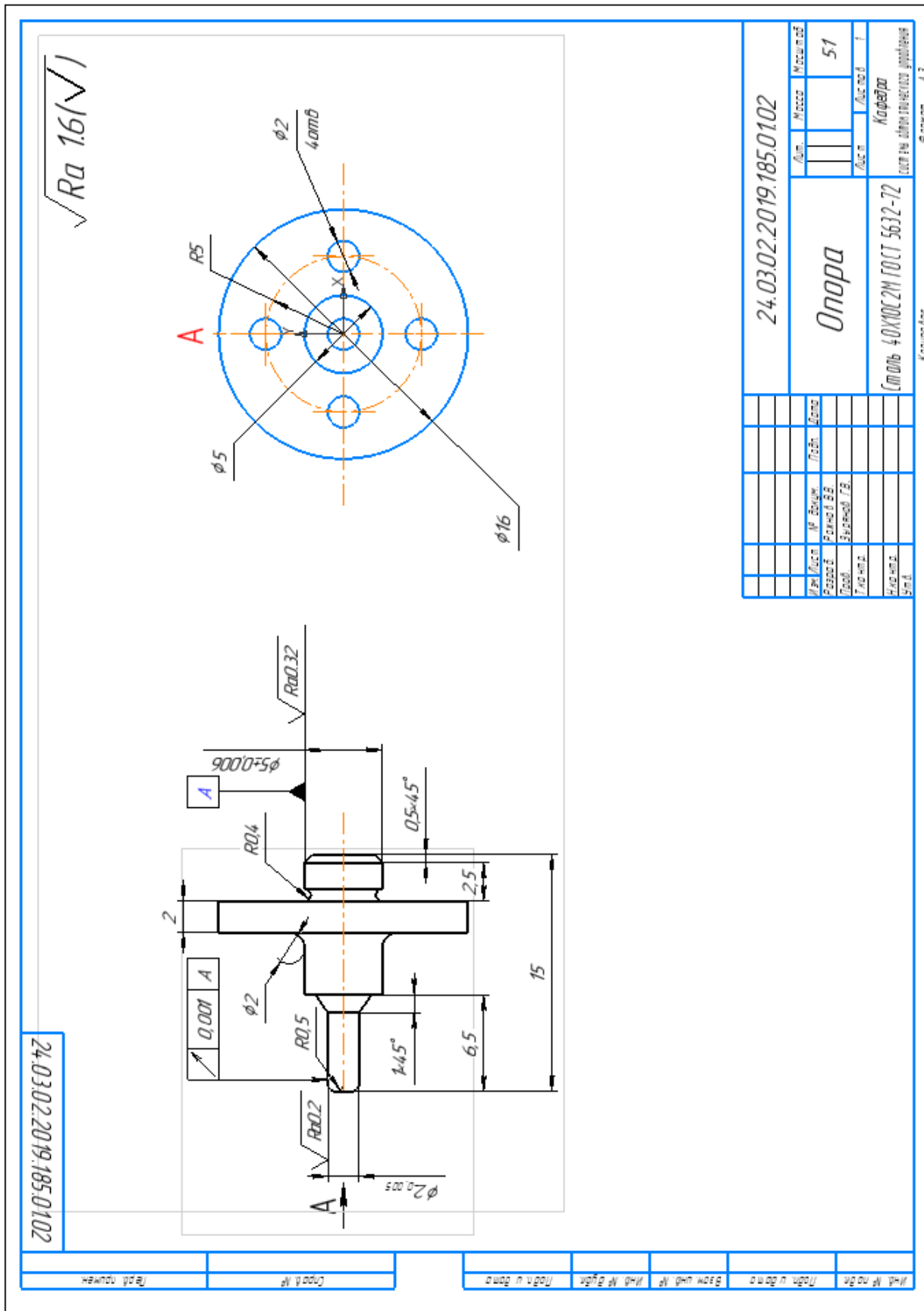
Сборочный чертёж ГС



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись
			Дата

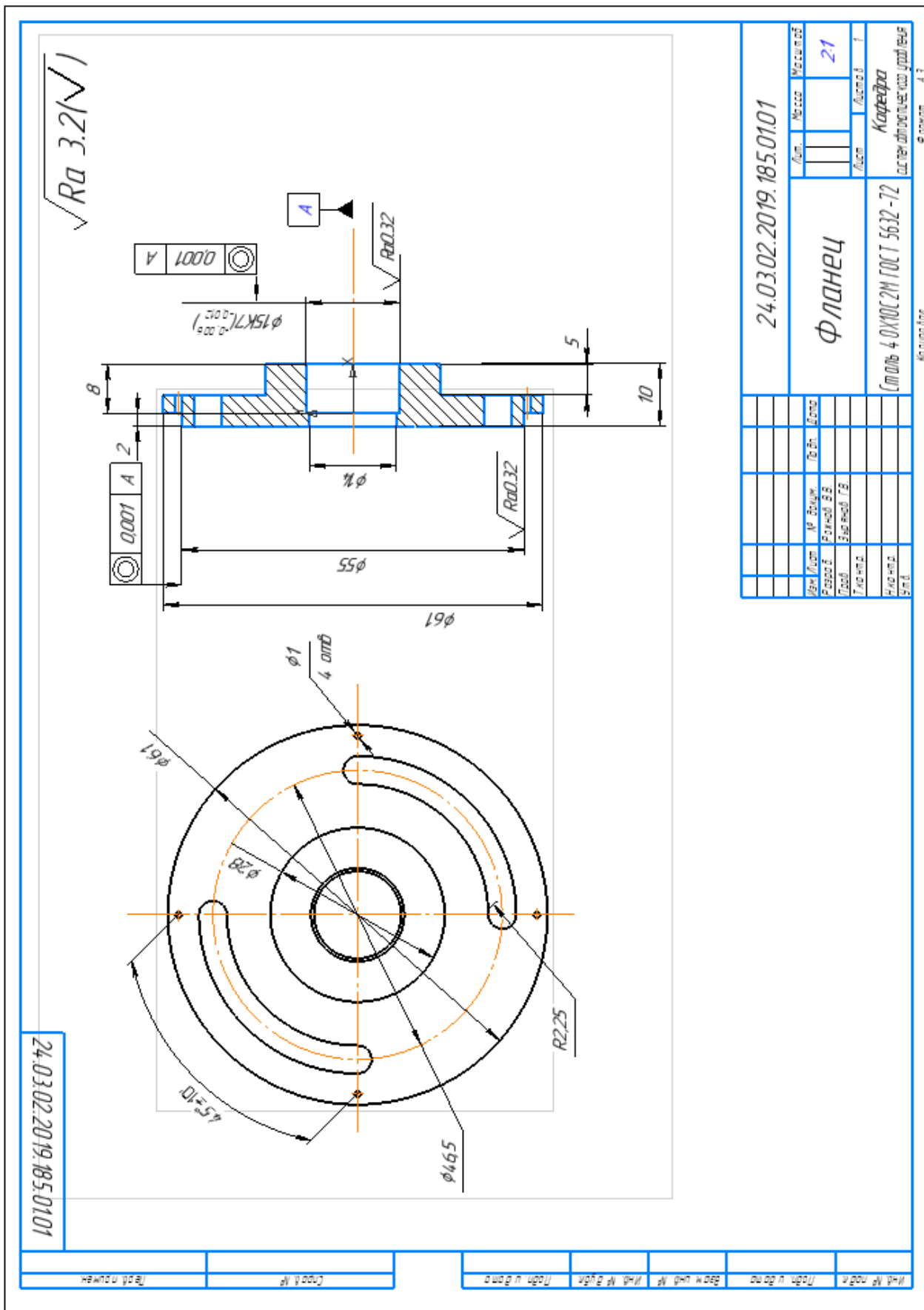
24.03.02.2019.185.00 ПЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
 Деталировка полуоси ПДУС



24.03.02.2019.185.0102		Изм.	Листы	Масштаб
Опора		№	№	№
Столб 40x100x200 ГОСТ 5632-72		Разработчик	Проверено	Деталь
Корфайтер		№	№	№
Система автоматического управления		№	№	№
Формат А3		№	№	№

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
 Деталировка фланца ПДУС

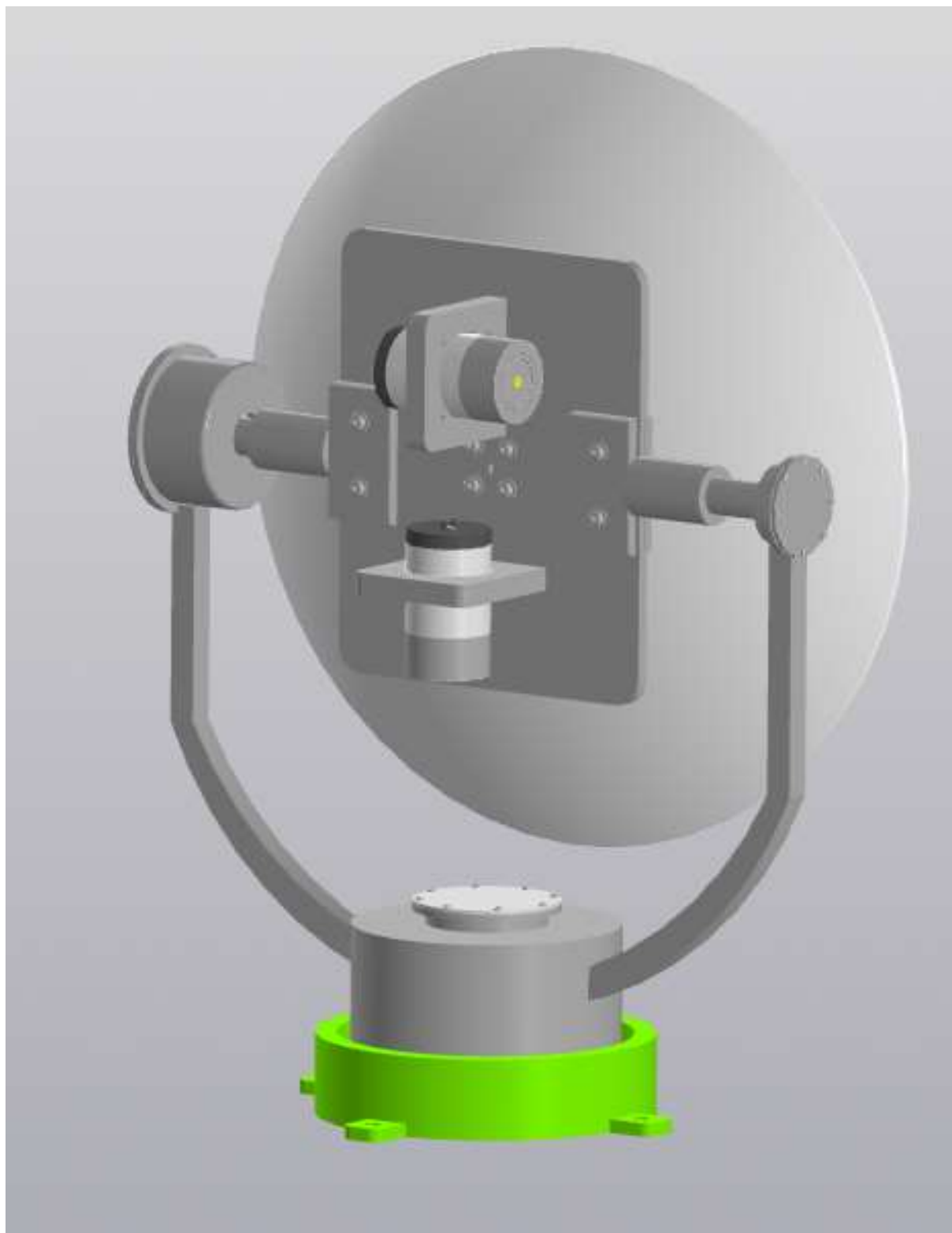


24.03.02.2019.185.0101		Лист	Масштаб
Фланец		Лист	21
Сталь 40ХНД2М ГОСТ 5632-72		Лист	1
Корфедра		Корфедра	
Инженер		Инженер	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

24.03.02.2019.185.00 ПЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ И
3Д модель двухосного ГС



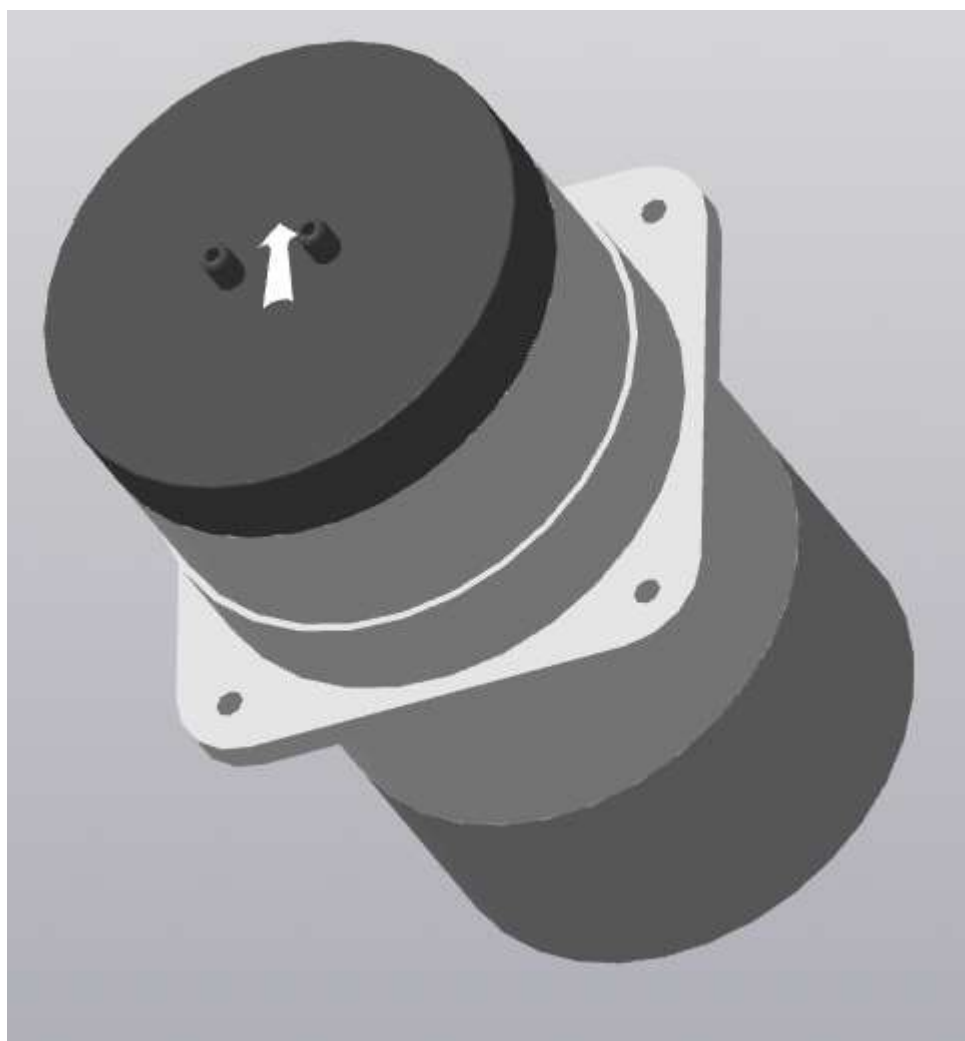
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

24.03.02.2019.185.00 ПЗ

Лист

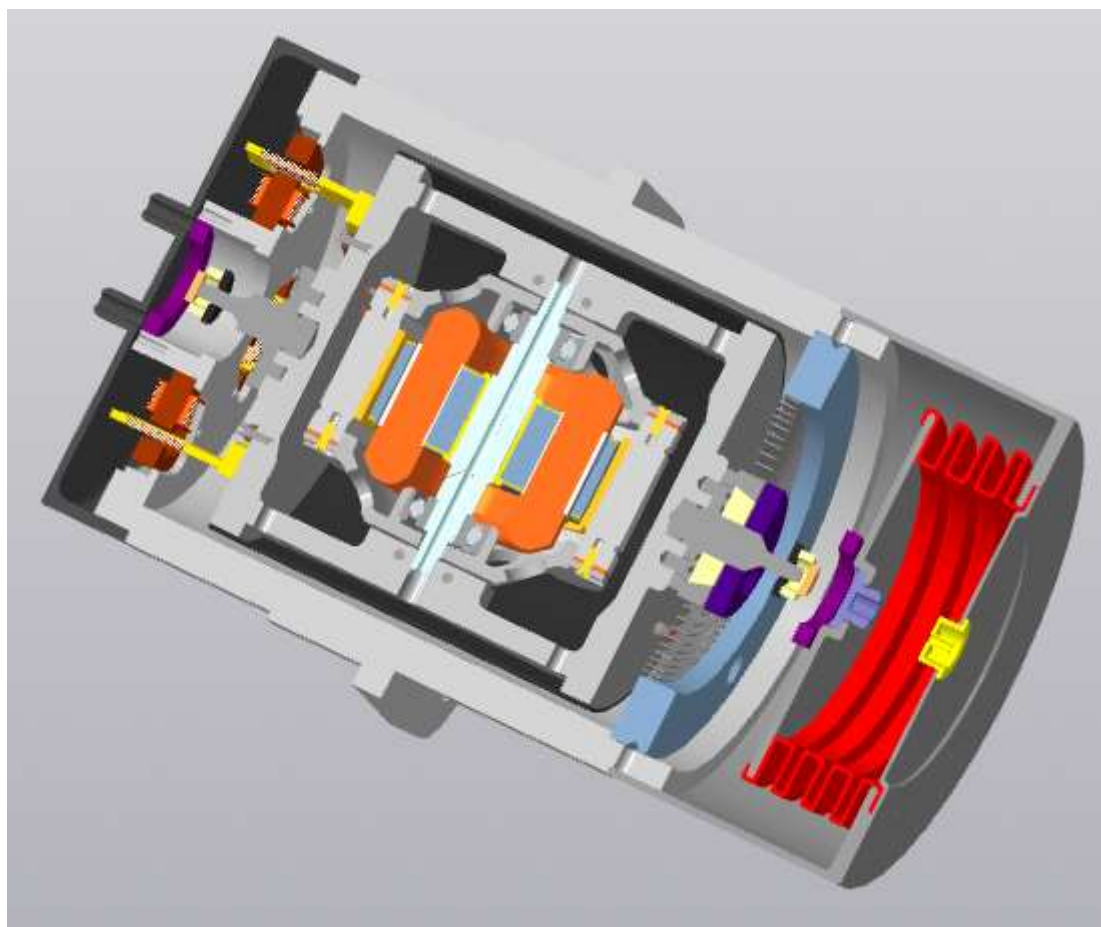
54

ПРИЛОЖЕНИЕ К
3Д модель ПДУС



					24.03.02.2019.185.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

ПРИЛОЖЕНИЕ Л
3Д модель ПДУС в разрезе



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

24.03.02.2019.185.00 ПЗ

Лист

56

ПРИЛОЖЕНИЕ М

3Д модель двухосного ГС в разрезе



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

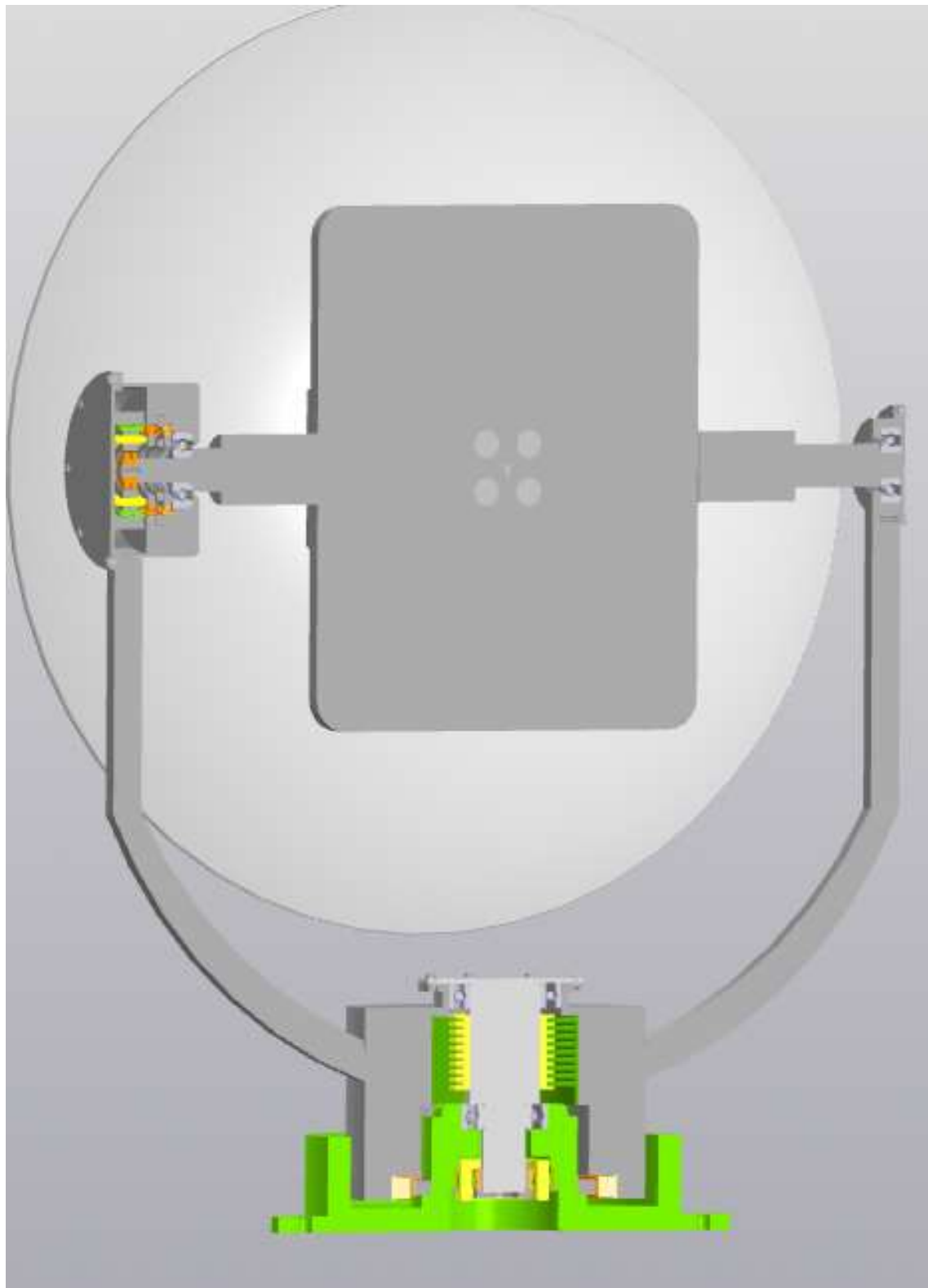
24.03.02.2019.185.00 ПЗ

Лист

57

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

3Д модель двухосного ГС в разрезе



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

24.03.02.2019.185.00 ПЗ

Лист

58