

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

Факультет электротехнический

Кафедра автоматики

Направление подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

Голощапов С.С.

2021 г.

Калибровка динамически настраиваемого гироскопа в составе трехосного
гиростабилизатора
(тема)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 27.03.04.2021. 203.03.163 ПЗ ВКР

Автор проекта

студент группы МиЭт-426

подпись

/ Долганов М.И.

ФИО

2021 г.

Руководитель работы

д.т.н., профессор

должность

подпись

/ Белугин В.Б.

ФИО

2021 г.

Нормоконтроль

ст. преподаватель

должность

подпись

/ Елисеев В.П.

ФИО

2021 г.

Миасс 2021 г.

АННОТАЦИЯ

Долганов М.И. Калибровка динамически настраиваемого гироскопа в составе трехосного гиросtabilизатора. – Миасс: ЮУрГУ, ЭТФ; 2021, 99 с., 9 ил., библиографический список – 10 наименования.

В проекте приводится анализ существующей математической модели калибровки динамически настраиваемого гироскопа и разработка модели на основе новых программных ресурсов, так же создана программа для выбора наилучшей системы ориентаций калибровки динамически настраиваемого гироскопа. Приведен расчет калибровки, составлены наглядные графики работы системы и сравнение систем калибровок.

В качестве инструментального средства разработки алгоритмов калибровки и ПО используется математический пакет Matlab.

					270304.2021.203.03.162 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Долганов М.И.			Калибровка динамически настраиваемого гироскопа в составе трехосного гиросtabilизатора	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Белугин В.Б.					3	99
Н. Контр.		Елисеев В.П.				ЮУрГУ Кафедра автоматики		
Утв.		Голощанов						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ОБЗОРНЫЙ РАЗДЕЛ	7
1. Описание принципов инерциальной навигации с использованием платформенных и бесплатформенных методов счисления.	7
1.1 Физические принципы инерциальной навигации.	7
1.2 Принцип работы системы.	7
1.3 Классификация инерциальных навигационных систем.	8
2. Описание и работа составных частей прибора.	9
2.1 Назначение и состав прибора	9
2.2 Динамически настраиваемый гироскоп	11
3. Существующие методы калибровки.	17
3.1 Алгоритмы контроля и замены аномальной информации с ДК и МА и учета погрешности ДК.	17
3.2 Алгоритмы аппроксимации информации с ДК.	19
3.3 Алгоритмы аппроксимации информации с МА.	21
3.4 Алгоритмы определения составляющих скорости ухода СП вокруг базовых осей.	22
4. Используемые в настоящее время математические модели ДНГ.	34
5. Выбор и описание программных средств моделирования.	37
ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ	40
6. Методика калибровки ДНГ в составе ТГС	40
6.1 Планирование эксперимента	40
6.2 Первичная обработка информации.	42
6.3 Оценка уходов ДНГ в составе ТГС.	43
6.4 Оценка азимута корпуса прибора.	45
6.5 Проверка.	46
6.6 Анализ результатов.	48

7. Интерфейс программы калибровки.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	55
ПРИЛОЖЕНИЕ А	56

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						4
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		

ВВЕДЕНИЕ

Постановка проблемы: Одной из задач, которую предстоит решить в ходе работ, является разработка алгоритмического и программного обеспечения более точной калибровки ТГС на заводе-изготовителе.

Таким образом, формируется цель выпускной квалификационной работы разработать алгоритмы калибровки ТГС и предварительно их проверить на штатном ТГС.

Целью калибровки является:

подтверждение соответствия ТГС требованиям ТЗ по допускам на точностные параметры;

Обеспечение точности определения навигационных параметров изделия при помощи автономной навигационной системы (ИНС), основным измерительным элементом которой является ТГС. Точность работы ИНС во многом определяется корректировкой показаний первичных элементов измерения инерциальных параметров движения установленных на стабилизированной платформе ТГС, а именно трех маятниковых акселерометров (МА), измеряющих приращение кажущейся скорости по осям платформы, и двух двухосных динамически настраиваемых гироскопов (ДНГ), стабилизирующих платформу относительно инерциального пространства. Ошибки ИНС из-за неточности учета точностных параметров этих чувствительных элементов растут пропорционально квадрату времени работы ИНС в полетном режиме.

Алгоритмическое и программное обеспечение, используемое НПОЭ для калибровки их основного изделия – трёхосного гиросtabilизатора (ТГС), было разработано в 60-70 годах прошлого века. За прошедшее время в области вычислительной техники, ПО и алгоритматике произошли кардинальные изменения. Старая методика калибровки была разработана вручную без учета всех этих революционных изменений.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

С учетом этого требуется разработать новую методику калибровки ТГС с учетом возможностей современной вычислительной техники, математического и программного обеспечения. Это позволит автоматизировать процесс разработки алгоритмов калибровки и соответствующего ПО, сделает их легко масштабируемыми и легко переносимыми на новые типы приборов или на модификации уже существующих. В данной работе представлена новая методика калибровки ЧЭ в составе ТГС и проведено ее сравнение с штатной методикой, используемой в настоящее время. Но основной целью является перенос новых подходов в калибровке на новый перспективный ЧГС. Универсальность и полная автоматизация разработки новой методики позволит сделать это в дальнейшем без большого труда.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

ОБЗОРНЫЙ РАЗДЕЛ

ЧГС и ТГС это основные измерительные приборы для автономной навигационной системы (ИНС)

1. Описание принципов инерциальной навигации с использованием платформенных и бесплатформенных методов счисления.

1.1 Физические принципы инерциальной навигации.

Способ инерциальной навигации также инерциальные навигационные концепции в наше время обнаруживают обширное использование с целью навигации летательных агрегатов. Из абсолютно всех навигационных концепций ИНС считаются неповторимыми, какие лучшим способом удовлетворяют единому ансамблю подобных значимых условий, равно как многофункциональность, абсолютная независимость, помехоустойчивость, но кроме того закрытость деятельности. Совместно с этим, уже при имеющейся степени формирования технических данных концепции имеют все шансы гарантировать необходимую значительную достоверность навигации, что ограничивается только лишь правильностью измерителей основных данных также станет увеличиваться согласно грани их улучшения.

1.2 Принцип работы системы.

Метод установления местоположение с помощью инерциальной концепции состоит в обрабатывании сведений о ускорении тел, но кроме того их угловых скоростей. Для этого, применяются определенные напрямую в целевом предмете чувствительные компоненты, благодаря которым производится сведения об местоположении, направлении перемещения, пройденном маршруте так же скорости. Помимо этого, принцип работы инерциальной навигационной системы предоставляет вероятность использовать ресурсы с целью стабилизации также в том числе и автоматического управления процессом. С помощью данных прибор

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

создается система отчета, функционирующая действующая относительно линии движения предмета. Согласно сгенерированной концепции местоположения формируются углы крена и поворота. К плюсам данной технологии можно причислить независимость, возможность автоматизации и значительный уровень помехоустойчивости.

1.3 Классификация инерциальных навигационных систем.

В собственной базе рассматриваются концепции навигации, разделяющиеся на платформенные и бесплатформенные (БИНС). Платформенные кроме того именуются географическими и имеют шанс содержать 2 платформы. Первая обеспечивается гироскопами и определяется в инерциальной области, вторая функционирует под управлением акселерометров и стабилизируется сравнительно горизонтальной плоскости. В следствии местоположение формируется с использованием данных об обоюдном местоположении двух платформ. Наиболее технологичной считается модификации БИНС. Бесплатформенная инерциальная навигационная система лишена недочетов, сопряженных с лимитированиями в применении гиropлатформ. Функции установления скорости и местонахождения объектов в подобных модификациях переключаются на цифровую вычислительную технику, что кроме того может определять сведения об угловой ориентации. Данное формирование бесплатформенных инерциальных навигационных систем определяет целью оптимизацию вычисляемых алгоритмов в отсутствии уменьшения правильности начальных сведений.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

2. Описание и работа составных частей прибора.

2.1 Назначение и состав прибора

Прибор представляет собой гиростабилизатор индикаторного типа, ГСП которого размещена в трехосном кардановом подвесе и предназначен для реализации инерциальной системы координат в составе прибора. Кинематическая схема прибора приведена на рисунке 2.1.

На ГСП прибора установлены:

- два чувствительных элемента системы стабилизации ТГС – динамически настраиваемые гироскопы ДНГ1, ДНГ2;
- три измерителя приращения кажущейся линейной скорости – маятниковые акселерометры МАх, МАу, МАz, измерительные оси которых параллельны соответствующим осям СП (ОХП, ОУП, ОZП).

По осям карданова подвеса установлены двигатели стабилизации – бесконтактные двигатели постоянного тока ДС-В, ДС-Р, ДС-Т и датчики угла – двухотсчетные синусно-косинусные поворотные трансформаторы ДК-В, ДК-Р, ДК-Т.

Для уменьшения влияния ударных и вибрационных воздействий на чувствительные элементы ГСП между корпусом прибора и наружной рамой карданова подвеса установлены резинометаллические амортизаторы.

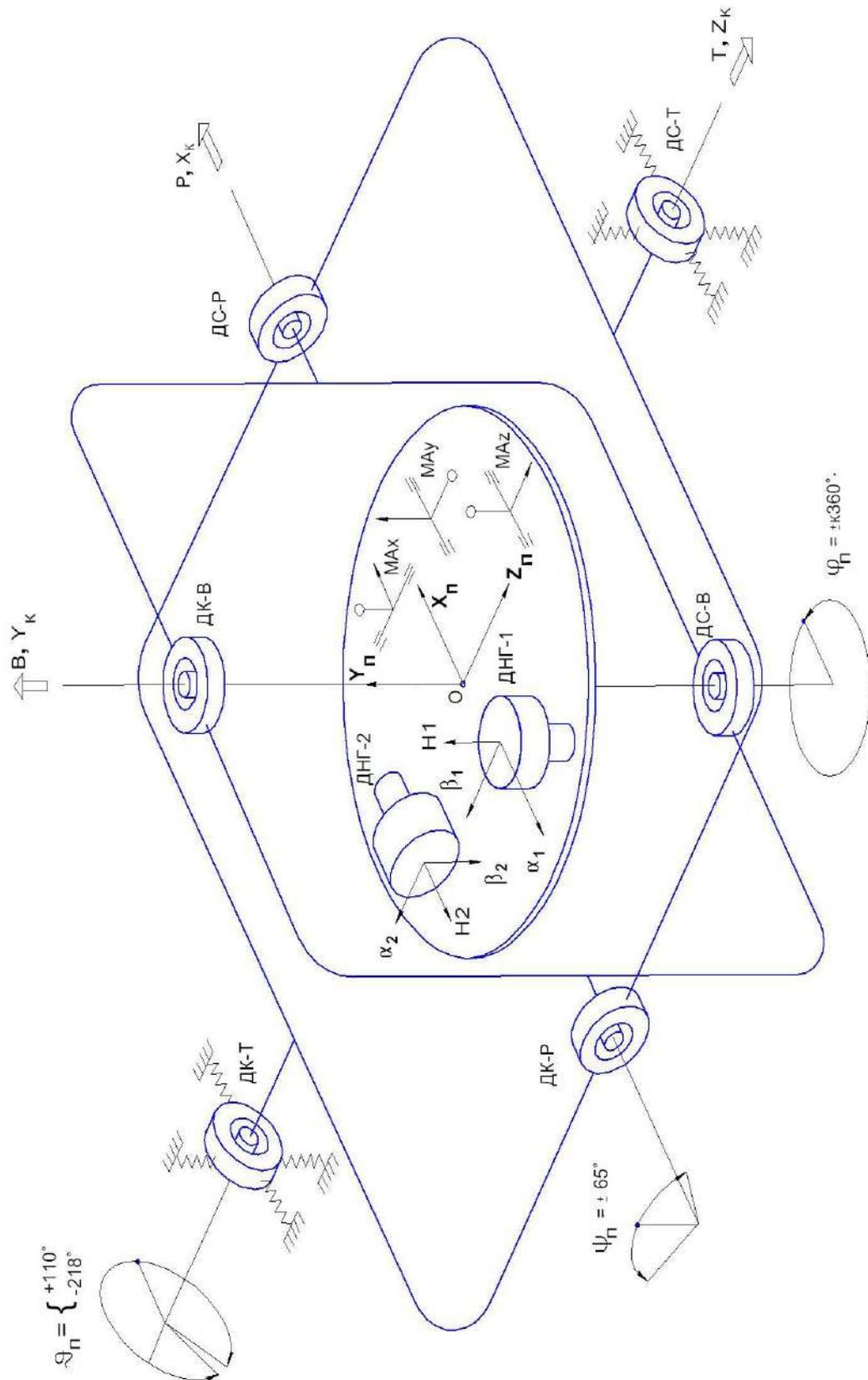
По осям Т и Р карданова подвеса прибора установлены резинометаллические упоры, ограничивающие углы про качки подвижной части прибора вокруг осей Т, Р.

По оси В установлены два коллекторных токоподвода, обеспечивающие неограниченный угол поворота ГСП вокруг оси В.

В исходном положении карданова подвеса оси Р, В, Т с точностью до углов неортогональности совпадают с осями ОХК, ОУК и ОZК, связанными с корпусом прибора, и с осями ОХП, ОУП, ОZП, связанными с ГСП.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Рисунок 2.1 – Кинематическая схема прибора



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР

2.2 Динамически настраиваемый гироскоп

Прецессионный динамически настраиваемый гироскоп предназначен для использования в качестве чувствительного элемента в индикаторной системе стабилизации трехосного гиростабилизатора.

На рисунке 2.2 представлена конструкция прибора, отличающаяся более технологичной конструкцией корпуса и схемой питания датчика угла, позволяющей исключить прохождение переменного тока через подшипники и тем самым повысить стабильность нулевых сигналов датчика.

Прибор состоит из следующих основных элементов:

- ротора поз. 9;
- валика поз. 10;
- платы датчика угла поз. 8;
- трансформаторов поз. 4;
- датчика момента поз. 15;
- двигателя поз. 3;
- подшипников поз. 20;
- корпуса поз. 6;
- крышки поз. 11.

Ротор поз.9 гироскопа представляет собой монолитную деталь из термостабильного материала – сплава 45НХТ, содержащую массивное наружное кольцо - маховик (носитель кинетической энергии), внутреннее кольцо, напрессованное на валик поз.10 и закрепленное на нем гайкой поз.12, и два одинаковых промежуточных кардановых кольца, каждое из которых одной парой упругих элементов - торсионов соединено с наружным кольцом, другой парой – с внутренним кольцом.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

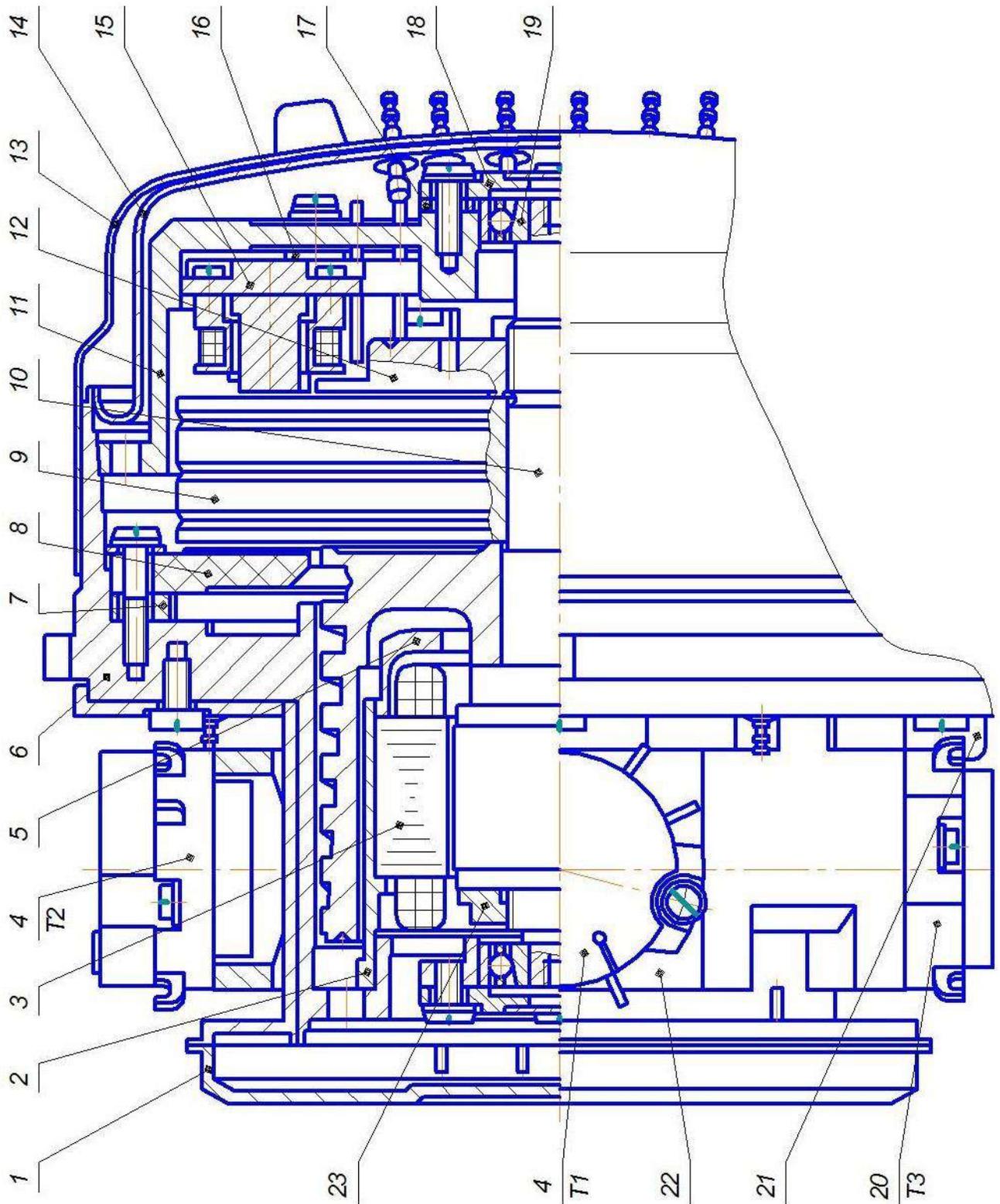


Рисунок 2.2

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР

Торсионы связаны с приводным валом двигателя податливыми балками, выполненными путем электроискровой прорезки внутренней втулки ротора. Такая конструкция позволяет повысить точность гироскопа за счет сближения собственных частот линейных колебаний гироскопа в осевом и радиальном направлениях.

Гайка поз.12 крепления ротора на валик одновременно является упором, ограничивающим угловые отклонения ротора.

Валик поз.10 с закрепленным на нем ротором двигателя поз.3 содержит цилиндрический упор, ограничивающий угловое отклонение ротора поз.9, и ротор молекулярного насоса, представляющий собой гладкую цилиндрическую поверхность с нарезанной винтовой канавкой прямоугольного сечения.

Валик вращается в скоростных шарикоподшипниках 5М4-7076094ЮТ поз.19. Наружные кольца подшипников установлены в корпус поз.6 и крышку поз.11, а внутренние – на шейках валика поз.10.

Смазка подшипника ВНИИНП-274 выбрана из условий малой испаряемости в вакууме и при высокотемпературном (+120 °С) обезгаживании прибора, а также обеспечения необходимого ресурса работы прибора.

Управление двигателем реализуется ячейкой управления ЯУ ДНГ, которая обеспечивает разгон и стабильное вращение двигателя с требуемой скоростью.

Двигатель состоит из статора и ротора. Статор выполнен в виде шихтованного пакета из пластин сплава 50Н, в пазы которого уложена трехфазная петлевая обмотка, соединенная звездой, с выводом нулевой точки. Статор установлен во втулке поз.2, которая крепится винтами к корпусу поз.6.

Ротор двигателя – кольцевой постоянный магнит с одной парой полюсов, изготовленный из горячекатаного сплава ЮНДКТ5БА, установлен на валике и закреплен от осевого смещения гайкой поз.12.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Работа привода строится по принципу обратной связи с использованием в качестве сигнала о положении ротора ЭДС «свободной» фазы, т.е. той фазной обмотки статора, на которую в данный момент не подано напряжение питания.

Управление гироскопом в режиме точного приведения ГСП, а также электрического арретирования гироскопа по «избыточной» измерительной оси в составе платформы осуществляется с помощью датчика момента (ДМ) ДМ-625.004 поз.15.

ДМ состоит из четырех одинаковых башмаков из сплава 79НМ (с обмотками), установленных на общем немагнитном основании по двум взаимно перпендикулярным осям. ДМ с помощью винтов установлен на крышке поз.11. ДМ работает по принципу клапанного электромагнита, якорем которого является ротор поз.9 гироскопа.

Система съема выходной информации об угловом отклонении ротора поз.9 гироскопа содержит двухкоординатный емкостный датчик угла (ДУ).

ДУ состоит из дифференциального конденсатора, образованного платой поз.8 и ротором поз.9 гироскопа, и двух измерительных трансформаторов поз.4, первичные обмотки которых образуют с рабочими емкостями резонансные контуры. Плата поз.8 представляет собой пластину из керамики ВК94-1, на торцах которой имеются четыре металлизированные площадки, являющиеся одной из обкладок дифференциального конденсатора. Второй обкладкой конденсатора является поверхность ротора поз.9.

Трансформатор поз.4 выполнен на кольцевом ферритовом сердечнике, на который намотаны две обмотки: первичная, состоящая из двух секций, и вторичная. Трансформаторы поз.4 установлены на корпусе поз. 6 прибора с помощью кронштейнов поз.19.

Питание ДУ осуществляется от источника переменного тока 11 В

235 кГц. Для исключения прохождения переменного тока через подшипники

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

питание на оба измерительных контура датчика угла, соединенных последовательно, подается от развязывающего трансформатора поз.4, усиливающего

напряжение питания в 2 раза.

ЯУ ДНГ усиливает высокочастотные сигналы с выхода трансформаторов и преобразует их в код, пропорциональный углам отклонения ротора гироскопа относительно корпуса.

Для обеспечения высокой точности монтажа подшипников отверстия для их установки в корпусе поз.6 и крышке поз.11 выполняются с одного установка.

Для установки в ИБ на корпусе ДНГ предусмотрен опорный фланец, в котором выполнены установочные пазы, связанные с осями ДУ и ДМ.

Герметичность соединения корпуса поз.6 с колпаком поз. 14 и крышкой поз.1 осуществляется лазерной сваркой.

Герметизация внутренней полости прибора осуществляется пережимом медного штенгеля, впаянного в колпак поз.14.

Для обеспечения минимального демпфирования ротора гироскопа предусмотрены следующие конструктивно-технологические меры:

- внутренняя полость прибора вакуумирована до давления не более 1 Па;
- сведено к минимуму применение материалов с повышенным газоотделением (лаков, красок, клеев и др.);
- предусмотрено стопорение винтов лучом лазера;
- проводится длительное температурное обезгаживание деталей, сборочных единиц и собранного прибора перед герметизацией;
- применен молекулярный насос, осуществляющий откачку остаточного газа из полости ротора гироскопа в полость двигателя.

Для того, чтобы улучшить условия перераспределения газа между этими полостями на корпусе поз.6 установлена крышка поз.1, увеличивающая объем полости приводного двигателя.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Для поддержания вакуума в течение всего срока службы прибора на корпусе поз.6 под крышкой поз.1 установлены два газопоглотителя ПЦ-1М.

Для уменьшения влияния на гироскоп внешних магнитных полей на корпус поз.6 надеты кожух из магнитомягкого материала 79НМ и экран поз.13 из магнитномягкого сплава 50Н.

Для измерения температуры ДНГ на корпусе установлен терморезистор поз.21.

Масса прибора составляет 650 г.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

3. Существующие методы калибровки.

3.1 Алгоритмы контроля и замены аномальной информации с ДК и МА и учета погрешности ДК.

В режиме удержания для каждой серии произвести следующие вычисления по формулам 3.1.1, 3.1.2:

$$N_{vcp}^j = med(\bar{N}_v^j), \quad (3.1.1)$$

$$N_v^j(i) = \begin{cases} \bar{N}_v^j(i), & \text{если } |\bar{N}_v^j(i) - N_{vcp}^j| \leq \Delta \\ N_{vcp}^j, & \text{если } |\bar{N}_v^j(i) - N_{vcp}^j| > \Delta \end{cases}, \quad (3.1.2)$$

$$i = 1, \dots, n.$$

В нормальных условиях:

$\Delta = 2560$ – для ДК;

$\Delta = 5$ – для МА.

При климатических испытаниях:

$\Delta = 5120$ – для ДК;

$\Delta = 7$ – для МА.

Здесь:

$\bar{N}_v^j(i)$ – фиксируемая информация с ДК и МА;

$N_v^j(i)$ – информация с ДК и МА после замены аномальных точек;

med – медиана (срединное значение);

$v = T, P, B, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ – индекс источника информации ДКТ, ДКР, ДКВ, МАХ, МАУ, MAZ;

j – номер серии;

i – номер опроса в серии.

В режиме стабилизации для МА и режиме стабилизации и управления для ДК произвести следующие вычисления:

$$\Delta \bar{N}_v^j(i) = \bar{N}_v^j(i) - \bar{N}_v^j(i-1), \quad i = 2, \dots, n,$$

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$m_v^j(i) = \begin{cases} 1, & \text{если } |\Delta \bar{N}_v^j(i)| \leq \Delta \\ 0, & \text{если } |\Delta \bar{N}_v^j(i)| > \Delta \end{cases},$$

$$\Delta \bar{N}_{vcp}^j(i) = \frac{\sum_{i=2}^n m_v^j(i) \Delta \bar{N}_v^j(i)}{\sum_{i=2}^n m_v^j(i)},$$

$$N_v^j(1) = \begin{cases} \bar{N}_v^j(1), & \text{если } |\Delta \bar{N}_v^j(2)| > \Delta \text{ и } |\Delta \bar{N}_v^j(3)| > \Delta \text{ или } |\Delta \bar{N}_v^j(2)| \leq \Delta \\ \bar{N}_v^j(2) - \Delta \bar{N}_{vcp}^j, & \text{если } |\Delta \bar{N}_v^j(2)| > \Delta \text{ и } |\Delta \bar{N}_v^j(3)| \leq \Delta \end{cases},$$

$$\Delta N_v^j(i) = \bar{N}_v^j(i) - N_v^j(i-1), \quad i = 2, \dots, n,$$

$$N_v^j(i) = \begin{cases} \bar{N}_v^j(i), & \text{если } |\Delta N_v^j(i)| \leq \Delta \\ N_v^j(i-1) + \Delta \bar{N}_{vcp}^j, & \text{если } |\Delta N_v^j(i)| > \Delta \end{cases}.$$

В нормальных условиях:

$\Delta = 2560$ – для ДК в режиме стабилизации (инерциальный);

$\Delta = 5120$ – для ДК в режиме управления (ТП заданными уровнями);

$\Delta = 5$ – для МА.

При климатических испытаниях:

$\Delta = 5120$ – для ДК;

$\Delta = 7$ – для МА.

В режиме стабилизации и управления при необходимости учета погрешности ДК после замены аномальных точек выполнить следующие вычисления:

$$\tilde{N}_v^j(i) = N_v^j(i) - N_0^j,$$

$$\delta N_v^j(i) = \tilde{a}_v^l \cdot C \cdot \frac{h_1}{p_0},$$

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

$$l = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{N}_v^j(i) \leq -257 \\ 2, & \text{если } \tilde{N}_v^j(i) = -256 \\ 3, & \text{если } -256 < \tilde{N}_v^j(i) < 0 \\ 4, & \text{если } 0 \leq \tilde{N}_v^j(i) < 256 \\ 5, & \text{если } \tilde{N}_v^j(i) = 256 \\ 6, & \text{если } \tilde{N}_v^j(i) > 257 \end{cases},$$

$$C = |1 \quad \tilde{N}_v^j(i) \quad \tilde{N}_v^j(i)^2 \quad \dots \quad \tilde{N}_v^j(i)^m|,$$

$$m = \begin{cases} 4, & \text{если } l = 1, 3, 4, 6 \\ 0, & \text{если } l = 2, 5 \end{cases},$$

$$N_v^j(i) = \tilde{N}_v^j(i) - \delta N_v^j(i) + N_0^j,$$

где \vec{a}_v^l – вектор коэффициентов аппроксимирующего полинома;

$v = T, P, B$ – индекс ДК;

l – номер диапазона информации ДК;

N_0^j – номинальное значение уставки в j -ой измерительной серии.

3.2 Алгоритмы аппроксимации информации с ДК.

На каждом такте производятся следующие вычисления по формуле 3.2:

$$\Delta N_v^j(i) = N_v^j(i) - N_v^j(i-1),$$

$$N_{0v}^j(i) = N_v^j(i) - N_{vy}^j, \quad (3.2)$$

где $i = 1, \dots, n_j$ – номер такта;

j – номер ориентации;

$N_v^j(i)$ – массив информации v -го ДК ($v = T, P, B$).

$N_{vy}^j = N_v^j(1)$ – для режима стабилизации и управления;

$N_{vy}^j = 0$ – для режима удержания.

В режиме удержания по v -ой оси рассчитать по формуле 3.2.1:

$$\hat{U}_v^j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{0v}^j(i). \quad (3.2.1)$$

В режиме стабилизации и управления на каждом такте поступления информации провести следующие операции по формулам 3.2.2, 3.2.3:

$$x_i = x_{i-1} + 4 \left[\frac{4}{i} \varepsilon_i - 6 \left(\frac{5}{i} - \frac{3}{i-1} \right) \varepsilon_{i-1} + 12 \left(\frac{5}{i} - \frac{5}{i-1} + \frac{1}{i-2} \right) \varepsilon_{i-2} - \left(\frac{35}{i} - \frac{45}{i-1} + \frac{15}{i-2} - \frac{1}{i-3} \right) \varepsilon_{i-3} \right],$$

$$i = 4, \dots, n, n+1, n+2, n+3,$$

$$x_1 = x_2 = x_3 = 0, \quad (3.2.2)$$

$$\varepsilon_i = \begin{cases} \tau \sum_{l=1}^i N_{0v}^j(l), & i = 1, 2, 3 \\ \tau \Delta N_v^j(i) - z_{i-1} + 2\varepsilon_{i-1} - \varepsilon_{i-2}, & i = 4, \dots, n \\ 0, & i = n+1, n+2, n+3 \end{cases} ,$$

$$z_i = z_{i-1} + x_i, z_3 = 0, (3.2.3)$$

где Δ – относительная константа;

τ – такт съема информации.

Провести расчет коэффициентов аппроксимации:

$$l_1 = \frac{1}{2\tau} \left[\frac{1}{12} (3n^2 + 18n + 23)x_{n+3} - (n+2)x_{n+2} + \sum_{k=1}^{n+1} (n+2-2k)x_k \right],$$

$$l_2 = \frac{1}{4\tau^2} \left[-(n+3)x_{n+3} + 2 \sum_{k=1}^{n+2} x_k \right],$$

$$l_3 = \frac{1}{6\tau^3} x_{n+3}.$$

Пересчет коэффициентов аппроксимации выходной информации v -го ДК выполнить по формулам 3.2.4, 3.2.5, 3.2.6:

$$\hat{U}_v^j = l_1 - l_2\tau + l_3\tau^2, (3.2.4)$$

$$\hat{F}_v^j = 2l_2 - 3l_3\tau, (3.2.5)$$

$$\hat{V}_v^j = 3l_3, (3.2.6)$$

3.3 Алгоритмы аппроксимации информации с МА.

В режиме удержания на каждом такте провести следующие операции по формулам 3.3.1, 3.3.2:

$$x_i = x_{i-1} + 4 \left[\frac{4}{i} \varepsilon_i - 6 \left(\frac{5}{i} - \frac{3}{i-1} \right) \varepsilon_{i-1} + 12 \left(\frac{5}{i} - \frac{5}{i-1} + \frac{1}{i-2} \right) \varepsilon_{i-2} - \left(\frac{35}{i} - \frac{45}{i-1} + \frac{15}{i-2} - \frac{1}{i-3} \right) \varepsilon_{i-3} \right],$$

$$i = 4, \dots, n, \quad n+1, \quad n+2, \quad n+3,$$

$$x_1 = x_2 = x_3 = 0, \quad (3.3.1)$$

$$\varepsilon_i = \begin{cases} \tau \sum_{l=1}^i (i+1-l) N_{\mu}^j(l), & i = 1, 2, 3 \\ \tau [N_{\mu}^j(i) - N_{\mu}^j(i-1)] - x_{i-1} + 3(\varepsilon_{i-1} - \varepsilon_{i-2}) + \varepsilon_{i-3}, & i = 4, \dots, n \\ 0, & i = n+1, n+2, n+3 \end{cases}, \quad (3.3.2)$$

где $N_{\mu}^j(i)$ – массив информации μ -го МА ($\mu = \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$), формируемый в соответствии с п.1.1.1 или п.1.1.2 в зависимости от режима работы.

Рассчитать коэффициенты аппроксимации l_1, l_2, l_3 по соотношениям п.1.2.4 и $\hat{F}_{\mu}^j, \hat{V}_{\mu}^j$ по соотношениям п.1.2.5.

В режиме стабилизации СП на каждом такте провести следующие операции:

$$x_i = x_{i-1} + 5 \left[\frac{5}{i} \varepsilon_i - 20 \left(\frac{3}{i} - \frac{2}{i-1} \right) \varepsilon_{i-1} + 30 \left(\frac{7}{i} - \frac{8}{i-1} + \frac{2}{i-2} \right) \varepsilon_{i-2} - 20 \left(\frac{14}{i} - \frac{21}{i-1} + \frac{9}{i-2} - \frac{1}{i-3} \right) \varepsilon_{i-3} + \left(\frac{126}{i} - \frac{224}{i-1} + \frac{126}{i-2} - \frac{24}{i-3} + \frac{1}{i-4} \right) \varepsilon_{i-4} \right],$$

$$i = 5, 6, \dots, n, \quad n+1, \dots, n+4,$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 = 0,$$

$$z_i = z_{i-1} + x_i, \quad z_4 = 0,$$

$$\varepsilon_i = \begin{cases} \tau \sum_{k=1}^i (i+1-k) N_{\mu}^j(k), & i = 1, 2, 3, 4 \\ \tau [N_{\mu}^j(i) - N_{\mu}^j(i-1)] - z_{i-1} + 3(\varepsilon_{i-1} - \varepsilon_{i-2}) + \varepsilon_{i-3}, & i = 5, \dots, n \\ 0, & i = n+1, n+2, n+3, n+4 \end{cases}$$

где Δ – относительная константа в соответствии с п.1.1.2.

Рассчитать коэффициенты аппроксимации:

$$d_1 = \frac{1}{4\tau^2} \left[\frac{1}{12} (3n^2 + 24n + 43)x_{n+4} - (n+3)x_{n+3} + \sum_{k=1}^{n+2} (n+3-2k)x_k \right],$$

$$d_2 = \frac{1}{6\tau^3} \left[-\frac{1}{2} (n+4)x_{n+4} + \sum_{k=1}^{n+3} x_k \right],$$

$$d_3 = \frac{1}{24\tau^4} x_{n+4}.$$

Пересчет коэффициентов аппроксимации выходной информации с МА произвести по формулам 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5:

$$\hat{F}_{\mu}^j = 2d_1 - 3d_2\tau + 4d_3\tau^2, \quad (3.3.3)$$

$$\hat{V}_{\mu}^j = 3(d_2 - 2d_3\tau), \quad (3.3.4)$$

$$\hat{E}_{\mu}^j = 4d_3, \quad (3.3.5)$$

3.4 Алгоритмы определения составляющих скорости ухода СП вокруг базовых осей.

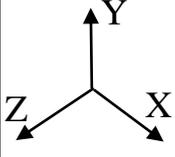
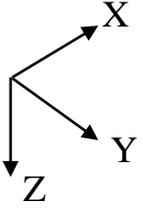
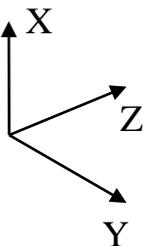
Описание измерительных серий

Положение СНП определяется углами $\vartheta_H = 0^\circ, \varphi_B = 270^\circ$. Положение СП прибора относительно плоскости горизонта в ориентациях, в которых реализуются

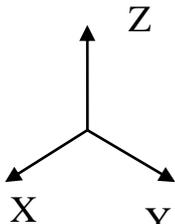
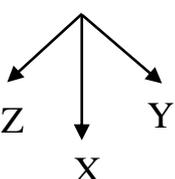
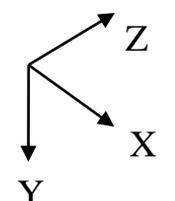
					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

измерительные серии для определения составляющих угловой скорости уходов, показано в таблицах 3.4.1, 3.4.2.

Таблица 3.4.1

Номер ориентации	Положение СП	Номер серии, j	$\vartheta(T)$	$\Delta\vartheta$	$\psi(P)$	$\Delta\psi$	$\varphi(B)$	$\Delta\varphi$
1		1	0	-	0	-	0	0
2		02	$\frac{\pi}{2}$	$\mathcal{E}_{BX} + \mathcal{E}_{BZ}$ + + $\Delta\vartheta_0$	0	$-(\mathcal{E}_{TX} + \mathcal{E}_{TY})$ + + $\mathcal{E}_{BZ} - \mathcal{E}_{BX}$ - $\Delta\varphi_0$	$-\frac{\pi}{2}$	\mathcal{E}_{TY} - \mathcal{E}_{TX} + + $\Delta\psi_0$
		2	$\frac{\pi}{2}$	$\mathcal{E}_{BX} + \mathcal{E}_{BZ}$ ++ $\Delta\vartheta_0$ - $\Delta\vartheta_1$	0	$-(\mathcal{E}_{TX} + \mathcal{E}_{TY})$ + + $\mathcal{E}_{BZ} - \mathcal{E}_{BX}$ - $\Delta\varphi_0$ - $\Delta\psi_1$	$-\frac{\pi}{2}$	\mathcal{E}_{TY} - \mathcal{E}_{TX} + + $\Delta\psi_0$ - - $\Delta\varphi_1$
3		03	$\frac{\pi}{2}$	$2\mathcal{E}_{BX} + \Delta\vartheta$ 0	0	- $(\mathcal{E}_{TX} + \mathcal{E}_{TY})$ + + $2\mathcal{E}_{BZ} - \Delta\varphi_0$	π	\mathcal{E}_{TY} - \mathcal{E}_{TX} + + $\Delta\psi_0$
		3	$\frac{\pi}{2}$	$2\mathcal{E}_{BX}$ + + $\Delta\vartheta_0$ - $\Delta\vartheta_1$	0	- $(\mathcal{E}_{TX} + \mathcal{E}_{TY})$ + + $2\mathcal{E}_{BZ}$ - - $\Delta\varphi_0$ - $\Delta\psi_1$	π	\mathcal{E}_{TY} - - \mathcal{E}_{TX} + + $\Delta\psi_0$ - - $\Delta\varphi_1$

Продолжение табл.3.4.1

Номер ориентации	Положение СП	Номер серии, j	$\vartheta(T)$	$\Delta\vartheta$	$\psi(P)$	$\Delta\psi$	$\varphi(B)$	$\Delta\varphi$
4		04	$\frac{\pi}{2}$	$\varepsilon_{BX}-\varepsilon_{BZ}+$ $+\Delta\vartheta_0$	0	$-(\varepsilon_{TX}+\varepsilon_{TY})+$ $+\varepsilon_{BX}+\varepsilon_{BZ}-$ $-\Delta\varphi_0$	$\frac{\pi}{2}$	$\varepsilon_{TY}-$ $-\varepsilon_{TX}+$ $+\Delta\psi_0$
		4	$\frac{\pi}{2}$	$\varepsilon_{BX}-\varepsilon_{BZ}+$ $+\Delta\vartheta_0-$ $-\Delta\vartheta_1$	0	$-(\varepsilon_{TX}+\varepsilon_{TY})+$ $+\varepsilon_{BX}+\varepsilon_{BZ}-$ $-\Delta\varphi_0-\Delta\psi_1$	$\frac{\pi}{2}$	$\varepsilon_{TY}-$ $-\varepsilon_{TX}+$ $+\Delta\psi_0-$ $-\Delta\varphi_1$
5		05	$\frac{\pi}{2}$	$\Delta\vartheta_0$	0	$-(\varepsilon_{TX}+\varepsilon_{TY})-$ $-\Delta\varphi_0$	0	$\varepsilon_{TY}-$ $-\varepsilon_{TX}+$ $+\Delta\psi_0$
		5	$\frac{\pi}{2}$	$\Delta\vartheta_0-\Delta\vartheta_1$	0	$-(\varepsilon_{TX}+\varepsilon_{TY})-$ $-\Delta\varphi_0-\Delta\psi_1$	0	$\varepsilon_{TY}-$ $-\varepsilon_{TX}+$ $+\Delta\psi_0-$ $-\Delta\varphi_1$
6		06	π	$2\varepsilon_{BX}+\Delta\vartheta$ 0	0	$-2(\varepsilon_{TY}-$ $-\varepsilon_{BZ})-\Delta\psi_0$	π	$-2\varepsilon_{TX}-$ $-\Delta\varphi_0$
		6	π	$2\varepsilon_{BX}+$ $+\Delta\vartheta_0-$ $\Delta\vartheta_1$	0	$-2(\varepsilon_{TY}-$ $-\varepsilon_{BZ})-$ $-\Delta\psi_0-\Delta\psi_1$	π	$-2\varepsilon_{TX}-$ $-\Delta\varphi_0-$ $-\Delta\varphi_1$

Продолжение табл.3.4.1

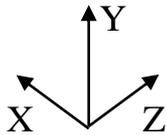
7		07	0	$2\varepsilon_{BX} + \Delta\theta$ 0	0	$2\varepsilon_{BZ} + \Delta\psi_0$	π	$-\Delta\varphi_0$
		7	0	$2\varepsilon_{BX} +$ $+\Delta\theta_0 -$ $\Delta\theta_1$	0	$2\varepsilon_{BZ} + \Delta\psi_0 -$ $-\Delta\psi_1$	π	$-\Delta\varphi_0 -$ $-\Delta\varphi_1$

Таблица 3.4.2

Номер серии, j	Режим работы	Такт опроса, τ (с)	Число тактов, n
1	ВТП по МАх, МАz ВТП по ДКВ	0,1	601
02	ВТП по ДК	0,1	901
2	Стабилизация	1	601
03	ВТП по ДК	0,1	901
3	Стабилизация	1	601
04	ВТП по ДК	0,1	901
4	Стабилизация	1	601
05	ВТП по ДК	0,1	901
5	Стабилизация	1	601
06	ВТП по ДК	0,1	901
6	Стабилизация	1	601

Продолжение табл.3.4.2			
07	ВТП по ДК	0,1	901
7	Стабилизация	1	601

Входной информацией для алгоритмов определения угловой скорости ухода СП являются:

$$\delta_1^c, \delta_2^c, \delta_3^c, \varepsilon_{TX}^c, \varepsilon_{TY}^c, \varepsilon_{PY}^c, \varepsilon_{PZ}^c, \varepsilon_{BX}^c, \varepsilon_{BZ}^c,$$

$\rho_x^c, \rho_y^c, \rho_z^c, \Delta\tau_x^c, \Delta\tau_y^c, \Delta\tau_z^c, \omega_{xv}^c, \omega_{yv}^c, \omega_{zv}^c, T_0^c, P_0^c, B_0^c$ – систематические значения точностных параметров;

g – ускорение силы тяжести;

p_0 – цена единицы младшего разряда кодового числа ДК;

C_H – номинальное значение масштабного коэффициента МА;

h_1, p_2 – коэффициенты перевода;

Φ – географическая широта места проведения испытаний;

A_{az} – азимутальный угол расположения корпуса прибора;

$\varphi_{np}, \alpha_{np}, \beta_{np}$ – углы установки приспособления.

Первичная обработка

Рассчитать значения углов отклонения корпуса прибора относительно плоскости горизонта по формулам 3.4.1:

- при установке прибора на СНП:

$$\Delta\vartheta_0 = \frac{\alpha_{np}}{p_2}, \quad \Delta\psi_0 = \frac{\beta_{np}}{p_2}, \quad \Delta\varphi_0 = \frac{\varphi_{np}}{p_2}; \quad (3.4.1)$$

- в остальных случаях по формулам 3.4.2:

$$\Delta\vartheta_0 = p_0(\hat{U}_{T_0}^1 - T_0^c), \quad \Delta\psi_0 = p_0(\hat{U}_{P_0}^1 - P_0^c), \quad \Delta\varphi_0 = 0. \quad (3.4.2)$$

Рассчитать проекции угловой скорости Земли на оси системы координат, связанные с корпусом прибора и с СП, по формулам 3.4.3:

$$\begin{aligned} \Omega_{xk} &= \Omega_x + \Delta\vartheta_0\Omega_y - \Delta\varphi_0\Omega_z, & \Omega_x &= \Omega \cos \Phi \cos A_{az}, \\ \Omega_{yk} &= \Omega_y - \Delta\vartheta_0\Omega_x + \Delta\psi_0\Omega_z, & \Omega_y &= \Omega \sin \Phi, \\ \Omega_{zk} &= \Omega_z - \Delta\psi_0\Omega_y + \Delta\varphi_0\Omega_x, & \Omega_z &= -\Omega \cos \Phi \sin A_{az}. \end{aligned} \quad (3.4.2)$$

Рассчитать значения углов упреждения по осям карданова подвеса по формулам 3.4.3-3.4.7:

$$\begin{vmatrix} \Delta\varphi_1^j \\ \Delta\psi_1^j \\ \Delta\vartheta_1^j \end{vmatrix} = \frac{1}{2} T_j \cdot B_j \cdot \left(A_j \cdot \begin{vmatrix} \Omega_{xk} \\ \Omega_{yk} \\ \Omega_{zk} \end{vmatrix} - \vec{\omega}_{y\tau}^j \right), \quad (3.4.3)$$

$$B_j = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \cos\varphi^j & 0 & -\sin\varphi^j \\ \sin\varphi^j & 0 & \cos\varphi^j \end{vmatrix}, \quad (3.4.4)$$

$$A_j = \begin{vmatrix} \cos\vartheta^j \cos\varphi^j & -\cos\varphi^j \sin\vartheta^j & \sin\varphi^j \\ \sin\vartheta^j & \cos\vartheta^j & 0 \\ -\cos\vartheta^j \sin\varphi^j & \sin\vartheta^j \sin\varphi^j & \cos\varphi^j \end{vmatrix}, \quad (3.4.5)$$

$$\vec{\omega}_{y\tau}^j = \begin{vmatrix} \omega_{x\tau}^c - \bar{\omega}_{xp}^c \sin\vartheta^j \cos\varphi^j + \bar{\omega}_{x\varepsilon}^c \sin\vartheta^j \sin\varphi^j + \bar{\omega}_{xh}^c \cos\vartheta^j \\ \omega_{y\tau}^c + \bar{\omega}_{yp}^c \cos\vartheta^j + \bar{\omega}_{y\varepsilon}^c \sin\vartheta^j \sin\varphi^j - \bar{\omega}_{yh}^c \sin\vartheta^j \cos\varphi^j \\ \omega_{z\tau}^c + \bar{\omega}_{zp}^c \sin\vartheta^j \sin\varphi^j - \bar{\omega}_{z\varepsilon}^c \sin\vartheta^j \cos\varphi^j + \bar{\omega}_{zh}^c \cos\vartheta^j \end{vmatrix}, \quad (3.4.6)$$

$$\bar{\omega}_{\mu v}^c = \frac{g}{10} \omega_{\mu v}^c, \quad \mu = x, y, z, \quad v = \rho, \varepsilon, h, \quad (3.4.7)$$

где $T_j = 600$ – время измерительной серии, с;

$j = 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

Расчет установок для приведения в измерительные ориентации

Рассчитать установки по осям Т, Р, В по формулам 3.4.8-3.4.10:

$$N_{Ty} = \text{entier} \left(\frac{\vartheta^j + \Delta\vartheta^j}{p_0} \right) + T_0^c; \quad (3.4.8)$$

$$N_{Py} = \text{entier} \left(\frac{\psi^j + \Delta\psi^j}{p_0} \right) + P_0^c; \quad (3.4.9)$$

$$N_{By} = \text{entier} \left(\frac{\varphi^j + \Delta\varphi^j}{p_0} \right) + B_0^c. \quad (3.4.10)$$

Формулы для расчёта углов ϑ^j , $\Delta\vartheta^j$, ψ^j , $\Delta\psi^j$, φ^j , $\Delta\varphi^j$ приведены в таблице 3.4.1, где:

$$\varepsilon_{v\mu} = \frac{1}{p_2} \varepsilon_{v\mu}^c, \quad \mu = x, y, z, \quad v = T, P, B.$$

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Алгоритмы определения составляющих угловой скорости ухода СП по информации с ДК

Рассчитать значения углов поворота СП вокруг осей карданова подвеса по формулам 3.4.11:

$$\begin{aligned}\alpha_1^j &= p_0 \left(\hat{U}_B^j + \frac{1}{12} \hat{V}_B^j (n-1)^2 \tau^2 + \bar{N}_B^j(1) - B_0^c \right), \\ \alpha_2^j &= p_0 \left(\hat{U}_P^j + \frac{1}{12} \hat{V}_P^j (n-1)^2 \tau^2 + \bar{N}_P^j(1) - P_0^c \right), \\ \alpha_3^j &= p_0 \left(\hat{U}_T^j + \frac{1}{12} \hat{V}_T^j (n-1)^2 \tau^2 + \bar{N}_T^j(1) - T_0^c \right),\end{aligned}\quad (3.4.11)$$

где $\bar{N}_v^j(1)$ – информация с ДК, измеренная на первом такте опроса ($v = T, P, B, j = 2, \dots, 7$).

Рассчитать относительные угловые скорости СП по осям карданова подвеса по формулам 3.4.12:

$$\begin{aligned}\dot{\alpha}_1^j &= p_0 \hat{F}_B^j, \\ \dot{\alpha}_2^j &= p_0 \hat{F}_P^j, \\ \dot{\alpha}_3^j &= p_0 \hat{F}_T^j.\end{aligned}\quad (3.4.12)$$

Рассчитать суммарные угловые скорости ухода СП по формуле 3.4.13:

$$\begin{aligned}\begin{Bmatrix} \omega_{x\partial}^j \\ \omega_{y\partial}^j \\ \omega_{z\partial}^j \end{Bmatrix} &= A'^j \cdot \begin{Bmatrix} \Omega_{xk} \\ \Omega_{yk} \\ \Omega_{zk} \end{Bmatrix} - B^j \cdot \begin{Bmatrix} \dot{\alpha}_1^j \\ \dot{\alpha}_2^j \\ \dot{\alpha}_3^j \end{Bmatrix},\end{aligned}\quad (3.4.13)$$

Рассчитать перегрузки по формулам 3.4.14:

$$n_x^j = a_{12}^j, \quad n_y^j = a_{22}^j, \quad n_z^j = a_{32}^j, \quad (3.4.14)$$

где a_{lm}^j – элементы матрицы A'^j .

Сформировать следующие матрицы:

$$C_x = \begin{vmatrix} 6 & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{12} & 2 & c_{23} & c_{24} \\ c_{13} & c_{23} & 2 & c_{34} \\ c_{14} & c_{24} & c_{34} & 2 \end{vmatrix}, \quad C_y = \begin{vmatrix} 6 & c_{14} & c_{13} & c_{12} \\ c_{14} & 2 & c_{34} & c_{24} \\ c_{13} & c_{34} & 2 & c_{23} \\ c_{12} & c_{24} & c_{23} & 2 \end{vmatrix},$$

$$C_z = \begin{vmatrix} 6 & c_{13} & c_{12} & c_{14} \\ c_{13} & 2 & c_{23} & c_{34} \\ c_{12} & c_{23} & 2 & c_{24} \\ c_{14} & c_{34} & c_{24} & 2 \end{vmatrix},$$

$$c_{12} = n_x^2 + n_x^4 + n_x^6 + n_x^7,$$

$$c_{13} = n_z^3 + n_z^5 + n_z^6 + n_z^7,$$

$$c_{14} = n_y^2 + n_y^3 + n_y^4 + n_y^5,$$

$$c_{23} = -n_x^2 + n_x^4 + n_z^3 - n_z^5,$$

$$c_{24} = n_y^3 - n_y^5 + n_x^7 - n_x^6,$$

$$c_{34} = n_y^4 - n_y^2 + n_z^7 - n_z^6,$$

$$Z_x = \begin{vmatrix} \sum_{j=2}^7 \Delta\omega_x^j \\ \sum_{j=2}^7 n_x^j \Delta\omega_x^j \\ \sum_{j=2}^7 n_z^j \Delta\omega_x^j \\ \sum_{j=2}^7 n_y^j \Delta\omega_x^j \end{vmatrix}, \quad Z_y = \begin{vmatrix} \sum_{j=2}^7 \Delta\omega_y^j \\ \sum_{j=2}^7 n_y^j \Delta\omega_y^j \\ \sum_{j=2}^7 n_z^j \Delta\omega_y^j \\ \sum_{j=2}^7 n_x^j \Delta\omega_y^j \end{vmatrix}, \quad Z_z = \begin{vmatrix} \sum_{j=2}^7 \Delta\omega_z^j \\ \sum_{j=2}^7 n_z^j \Delta\omega_z^j \\ \sum_{j=2}^7 n_x^j \Delta\omega_z^j \\ \sum_{j=2}^7 n_y^j \Delta\omega_z^j \end{vmatrix},$$

$$\Delta\omega_x^j = \omega_{x\partial}^j - 2n_x^j n_y^j \bar{\omega}_{xv}^c h_1,$$

$$\Delta\omega_y^j = \omega_{y\partial}^j - 2n_x^j n_y^j \bar{\omega}_{yv}^c h_1,$$

$$\Delta\omega_z^j = \omega_{z\partial}^j - 2n_z^j n_y^j \bar{\omega}_{zv}^c h_1,$$

$$\bar{\omega}_{\mu v}^c = \frac{g^2}{100} \omega_{\mu v}^c, \quad \mu = x, y, z.$$

Расчет составляющих скорости ухода СП по формулам 3.4.15:

$$\hat{\omega}_\mu = \frac{1}{h_1} C_\mu^{-1} Z_\mu, \quad \mu = x, y, z,$$

$$\hat{\omega}_\mu = \begin{Bmatrix} \omega_{\mu\tau} \\ \omega_{\mu\rho} \\ \omega_{\mu\varepsilon} \\ \omega_{\mu h} \end{Bmatrix}. \quad (3.4.15)$$

Расчет невязок по формулам 3.4.16:

$$\delta\omega_\mu^j = \frac{1}{h_1} \Delta\omega_\mu^j - \langle \bar{H}_\mu^j \cdot \hat{\omega}_\mu \rangle,$$

$$\bar{H}_x^j = \|1, n_x^j, n_z^j, n_y^j\|,$$

$$\bar{H}_y^j = \|1, n_y^j, n_z^j, n_x^j\|, \quad (3.4.16)$$

$$\bar{H}_z^j = \|1, n_z^j, n_x^j, n_y^j\|,$$

где $\langle \bullet \rangle$ – символ скалярного произведения.

Алгоритмы определения составляющих скорости ухода СП по информации с МА

Вычислить значения параметров МА по следующим формулам 3.4.17:

$$\rho_x = \frac{2g}{C_H(F_{*\bar{x}}^{03} - F_{*\bar{x}}^{05})} - 1 - \frac{1}{4}(\varphi_{y3}^2 + \varphi_{y5}^2 + \varphi_{z3}^2 + \varphi_{z5}^2),$$

$$\Delta\tau_x = \frac{F_{*\bar{x}}^{03} + F_{*\bar{x}}^{05}}{F_{*\bar{x}}^{03} - F_{*\bar{x}}^{05}} g - \frac{1}{4} g(\varphi_{y5}^2 - \varphi_{y3}^2 + \varphi_{z5}^2 - \varphi_{z3}^2),$$

$$\varphi_{y3} = \frac{1}{g} F_y^{03} + \frac{1}{p_2} \delta_2^c, \quad \varphi_{z3} = \frac{1}{g} F_z^{03} - \frac{1}{p_2} \delta_1^c,$$

$$\varphi_{y5} = \frac{1}{g} F_y^{05} - \frac{1}{p_2} \delta_2^c, \quad \varphi_{z5} = \frac{1}{g} F_z^{05} + \frac{1}{p_2} \delta_1^c,$$

$$\rho_y = \frac{2g}{C_H(F_{*\bar{y}}^{07} - F_{*\bar{y}}^{06})} - 1 - \frac{1}{4}(\varphi_{x6}^2 + \varphi_{x7}^2 + \varphi_{z6}^2 + \varphi_{z7}^2), \quad (3.4.17)$$

$$\Delta\tau_y = \frac{F_{*\bar{y}}^{07} + F_{*\bar{y}}^{06}}{F_{*\bar{y}}^{07} - F_{*\bar{y}}^{06}} g + \frac{1}{4} g(\varphi_{x7}^2 - \varphi_{x6}^2 + \varphi_{z7}^2 - \varphi_{z6}^2),$$

$$\varphi_{x7} = \frac{1}{g} F_x^{07} + \frac{1}{p_2} \delta_2^c, \quad \varphi_{z7} = \frac{1}{g} F_z^{07} - \frac{1}{p_2} \delta_3^c,$$

$$\varphi_{x6} = \frac{1}{g} F_x^{06} - \frac{1}{p_2} \delta_2^c, \quad \varphi_{z6} = \frac{1}{g} F_z^{06} + \frac{1}{p_2} \delta_3^c,$$

$$\rho_z = \frac{2g}{C_H(F_{*z}^{04} - F_{*z}^{02})} - 1 - \frac{1}{4}(\varphi_{x2}^2 + \varphi_{x4}^2 + \varphi_{y2}^2 + \varphi_{y4}^2),$$

$$\Delta\tau_z = \frac{F_{*z}^{04} + F_{*z}^{02}}{F_{*z}^{04} - F_{*z}^{02}} g + \frac{1}{4} g(\varphi_{x4}^2 - \varphi_{x2}^2 + \varphi_{y4}^2 - \varphi_{y2}^2),$$

$$\varphi_{x4} = -\frac{1}{g} F_x^{04} + \frac{1}{p_2} \delta_1^c, \quad \varphi_{y4} = -\frac{1}{g} F_y^{04} + \frac{1}{p_2} \delta_3^c,$$

$$\varphi_{x2} = \frac{1}{g} F_x^{02} + \frac{1}{p_2} \delta_1^c, \quad \varphi_{y2} = \frac{1}{g} F_y^{02} + \frac{1}{p_2} \delta_3^c,$$

$$F_{\mu}^j = (1 + \rho_{\mu}^c) C_H \hat{F}_{\mu}^j - \Delta\tau_{\mu}^c,$$

$$\hat{F}_{*\mu}^j = \hat{F}_{\mu}^j - \hat{V}_{\mu}^j (n^j - 1) \tau^j, \quad \mu = x, y, z, \quad j = 02, 03, 04, 05, 06, 07.$$

Расчет приведенных коэффициентов аппроксимации МА:

$$V_{\mu}^j = (1 + \rho_{\mu}) \hat{V}_{\mu}^j C_H,$$

$$E_{\mu}^j = (1 + \rho_{\mu}) \hat{E}_{\mu}^j C_H,$$

$$F_{\mu}^j = (1 + \rho_{\mu}) \hat{F}_{\mu}^j C_H - \Delta\tau_{\mu},$$

$$\hat{n}_{\mu a}^j = \frac{2V_{\mu}^j}{g}, \quad \hat{n}_{\mu a}^j = \frac{1}{g} \left(F_{\mu}^j + \frac{1}{4} E_{\mu}^j T^2 \right),$$

$$j = 2, \dots, 7, \quad T = (n - 1) \tau,$$

$$\begin{vmatrix} \hat{n}_{xa}^j \\ \hat{n}_{ya}^j \\ \hat{n}_{za}^j \end{vmatrix} = A_0 \cdot \begin{vmatrix} \hat{n}_{\bar{x}a}^j \\ \hat{n}_{\bar{y}a}^j \\ \hat{n}_{\bar{z}a}^j \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} n_{xa}^j \\ n_{ya}^j \\ n_{za}^j \end{vmatrix} = A_0 \cdot \begin{vmatrix} \hat{n}_{\bar{x}a}^j \\ \hat{n}_{\bar{y}a}^j \\ \hat{n}_{\bar{z}a}^j \end{vmatrix},$$

$$A_0 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \delta_2 & 1 & -\delta_3 \\ -\delta_1 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

$$\delta_i = \frac{1}{p_2} \delta_i^c, \quad i = 1, \dots, 3.$$

Расчет суммарных угловых скоростей ухода СП по информации с МА:

$$\omega_{xa}^2 = -\dot{n}_{ya}^2 - \Omega_z - n_{xa}^2 \omega_{z\partial}^2 + \Omega_x (\Delta\tilde{\psi}_1^2 - p_0 \hat{U}_P^2),$$

$$\omega_{ya}^2 = \dot{n}_{xa}^2 + \Omega_x - n_{ya}^2 \omega_{z\partial}^2 + \Omega_z (\Delta\tilde{\psi}_1^2 - p_0 \hat{U}_P^2),$$

$$\omega_{za}^2 = \omega_{z\partial}^2,$$

$$\omega_{xa}^3 = \omega_{x\partial}^3,$$

$$\omega_{ya}^3 = \dot{n}_{za}^3 + \Omega_x + n_{ya}^3 \omega_{x\partial}^3 + \Omega_z (\Delta\tilde{\psi}_1^3 - p_0 \hat{U}_P^3),$$

$$\omega_{za}^3 = -\dot{n}_{ya}^3 - \Omega_z + n_{za}^3 \omega_{x\partial}^3 + \Omega_x (\Delta\tilde{\psi}_1^3 - p_0 \hat{U}_P^3),$$

$$\omega_{xa}^4 = \dot{n}_{ya}^4 + \Omega_z + n_{xa}^4 \omega_{z\partial}^4 - \Omega_x (\Delta\tilde{\psi}_1^4 - p_0 \hat{U}_P^4),$$

$$\omega_{ya}^4 = -\dot{n}_{xa}^4 + \Omega_x + n_{ya}^4 \omega_{z\partial}^4 + \Omega_z (\Delta\tilde{\psi}_1^4 - p_0 \hat{U}_P^4),$$

$$\omega_{za}^4 = \omega_{z\partial}^4,$$

$$\omega_{xa}^5 = \omega_{x\partial}^5,$$

$$\omega_{ya}^5 = -\dot{n}_{za}^5 + \Omega_x - n_{ya}^5 \omega_{x\partial}^5 + \Omega_z (\Delta\tilde{\psi}_1^5 - p_0 \hat{U}_P^5),$$

$$\omega_{za}^5 = \dot{n}_{ya}^5 + \Omega_z - n_{za}^5 \omega_{x\partial}^5 - \Omega_x (\Delta\tilde{\psi}_1^5 - p_0 \hat{U}_P^5),$$

$$\omega_{xa}^6 = \dot{n}_{za}^6 + \Omega_x - n_{xa}^6 \omega_{y\partial}^6 + \Omega_z (\Delta\tilde{\varphi}_1^6 - p_0 \hat{U}_B^6),$$

$$\omega_{ya}^6 = \omega_{y\partial}^6,$$

$$\omega_{za}^6 = -\dot{n}_{xa}^6 - \Omega_z - n_{za}^6 \omega_{y\partial}^6 + \Omega_x (\Delta\tilde{\varphi}_1^6 - p_0 \hat{U}_B^6),$$

$$\omega_{xa}^7 = -\dot{n}_{za}^7 - \Omega_x + n_{xa}^7 \omega_{y\partial}^7 + \Omega_z (\Delta\tilde{\varphi}_1^7 - p_0 \hat{U}_B^7),$$

$$\omega_{ya}^7 = \omega_{y\partial}^7,$$

$$\omega_{za}^7 = \dot{n}_{xa}^7 - \Omega_z + n_{za}^7 \omega_{y\partial}^7 - \Omega_x (\Delta\tilde{\varphi}_1^7 - p_0 \hat{U}_B^7),$$

$$\Delta\tilde{\psi}_1^j = \psi^j + \Delta\psi^j + \Delta\psi_1^j + p_0 P_0^c - p_0 \bar{N}_P^j(1),$$

$$\Delta\tilde{\varphi}_1^j = \varphi^j + \Delta\varphi^j + \Delta\varphi_1^j + p_0 B_0^c - p_0 \bar{N}_B^j(1).$$

Рассчитать составляющие угловой скорости ухода СП по информации с МА:

$$\hat{\omega}_\mu^a = \frac{1}{h_1} C_\mu^{-1} Z_\mu, \quad \mu = x, y, z,$$

$$\hat{\omega}_\mu^a = |\omega_{\mu\tau}^a, \omega_{\mu\rho}^a, \omega_{\mu\varepsilon}^a, \omega_{\mu h}^a|^T.$$

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Рассчитать составляющие угловой скорости ухода СП, приведенные к 10 м/с²:

$$\omega_{\mu\tau} = \omega_{\mu\tau}^a,$$

$$\omega_{\mu\rho} = \frac{10}{g} \omega_{\mu\rho}^a,$$

$$\omega_{\mu\varepsilon} = \frac{10}{g} \omega_{\mu\varepsilon}^a,$$

$$\omega_{\mu h} = \frac{10}{g} \omega_{\mu h}^a,$$

Рассчитать разность составляющих скорости ухода, зависящих от действия линейного ускорения вдоль измерительной оси, определенных по алгоритмам с учетом и без учета статической погрешности ДК:

$$\Delta\omega_{\mu\rho} = \omega_{\mu\rho}^{a*} - \omega_{\mu\rho}^a,$$

где $\omega_{\mu\rho}^{a*}$ – составляющая скорости ухода.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

4.Использующие в настоящее время математические модели ДНГ.

Угловая скорость ухода ДНГ, в системе координат $Ox_{\Gamma}y_{\Gamma}z_{\Gamma}$, ось Oz_{Γ} которой направлена вдоль оси кинетического момента ДНГ, а оси Ox_{Γ} и Oy_{Γ} совпадают с измерительными осями, можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned}\omega_{x\Gamma} &= \omega_{x\tau} + \frac{1}{g}(\omega_{x\rho}\dot{W}_{x\Gamma} + \omega_{x\varepsilon}\dot{W}_{y\Gamma}) + \frac{2}{g^2}\omega_{x\nu}\dot{W}_{x\Gamma}\dot{W}_{z\Gamma} \\ \omega_{y\Gamma} &= \omega_{y\tau} + \frac{1}{g}(\omega_{y\rho}\dot{W}_{y\Gamma} + \omega_{y\varepsilon}\dot{W}_{x\Gamma}) + \frac{2}{g^2}\omega_{y\nu}\dot{W}_{y\Gamma}\dot{W}_{z\Gamma},\end{aligned}\quad (4.1)$$

где: $\omega_{\mu\tau}$ ($\mu = x, y$) - составляющие скорости ухода ДНГ, не зависящие от перегрузки;

$\omega_{\mu\rho}$ ($\mu = x, y$) - составляющие скорости ухода ДНГ, зависящие от перегрузки, действующей по измерительной оси;

$\omega_{\mu\varepsilon}$ ($\mu = x, y$) - составляющие скорости ухода ДНГ, зависящие от перегрузки, действующей перпендикулярно плоскости, содержащей ось кинетического момента и измерительную ось;

$\omega_{\mu\nu}$ ($\mu = x, y$) - составляющие скорости ухода ДНГ, зависящие от произведения перегрузок, действующих по оси кинетического момента и измерительной оси;

g - ускорение силы тяжести;

$\dot{W}_{x\Gamma}$, $\dot{W}_{y\Gamma}$, $\dot{W}_{z\Gamma}$ - ускорения, действующие по измерительным осям и оси кинетического момента ДНГ.

Проекция угловой скорости ухода СП на оси системы координат $Ox_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}$ с точностью до погрешностей измерения описывается следующим образом:

$$\begin{aligned}\omega_{x\Pi} &= \omega_{x\tau} + \omega_{x\rho}n_x + \omega_{x\varepsilon}n_z + 2\omega_{x\nu}n_xn_y \\ \omega_{y\Pi} &= \omega_{y\tau} + \omega_{y\rho}n_y + \omega_{y\varepsilon}n_z + 2\omega_{y\nu}n_xn_y \\ \omega_{z\Pi} &= \omega_{z\tau} + \omega_{z\rho}n_z + \omega_{z\varepsilon}n_x + 2\omega_{z\nu}n_yn_z\end{aligned}\quad (4.2)$$

Составляющие проекций угловой скорости ухода СП имеют положительный знак, когда под действием этой скорости поворот СП происходит против часовой стрелки, если смотреть с положительного направления соответствующей оси.

Все составляющие угловой скорости ухода СП содержат систематические и случайные составляющие. Величины этих составляющих по максимальной величине приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Составляющая угловой скорости ухода СП	Значение систематической составляющей, угл. мин/мин	Значение случайной составляющей, угл. мин/мин
$\omega_{x\tau}, \omega_{y\tau}, \omega_{z\tau}$	± 2	$\pm 0,15$
$\omega_{x\rho}, \omega_{y\rho}, \omega_{z\rho}$	± 2	$\pm 0,08$
$\omega_{x\varepsilon}, \omega_{y\varepsilon}, \omega_{z\varepsilon}$	± 2	$\pm 0,08$
$\omega_{x\nu}, \omega_{y\nu}, \omega_{z\nu}$	$\pm 0,2$	$\pm 0,07$

Систематические значения составляющих угловой скорости ухода СП $\omega_{x\tau}, \omega_{y\tau}, \omega_{z\tau}, \omega_{x\rho}, \omega_{y\rho}, \omega_{z\rho}, \omega_{x\varepsilon}, \omega_{y\varepsilon}, \omega_{z\varepsilon}$ определяются при изготовлении прибора, гарантируются на межрегламентный период, равный трем годам, и подлежат уточнению один раз в три года.

Систематические значения составляющих угловой скорости ухода СП $\omega_{x\nu}, \omega_{y\nu}, \omega_{z\nu}$ определяются при изготовлении ДНГ и гарантируются на весь срок эксплуатации и хранения.

Систематические значения составляющих угловой скорости ухода СП паспортизируются при изготовлении прибора с ценой единицы младшего разряда $5 \cdot 10^{-10}$ рад/с. Перед записью в УЗПП систематические значения

составляющих $\omega_{x\rho}, \omega_{y\rho}, \omega_{z\rho}, \omega_{x\varepsilon}, \omega_{y\varepsilon}, \omega_{z\varepsilon}, \omega_{x\nu}, \omega_{y\nu}, \omega_{z\nu}$ приводятся к величине ускорения силы тяжести 10 м/с^2 по следующим формулам:

$$\omega_{\mu\tau} = \frac{10}{g} \omega_{\mu\tau} \omega_{\mu\rho} = \frac{10}{g} \omega_{\mu\rho} \quad (4.3)$$

$$\omega_{\mu\varepsilon} = \frac{10}{g} \omega_{\mu\varepsilon} \omega_{\mu\nu} = \frac{100}{g^2} \omega_{\mu\tau}$$

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

5. Выбор и описание программных средств моделирования.

В качестве инструментального средства разработки алгоритмов калибровки и ПО используется математический пакет Matlab. Язык программирования Matlab – это язык научных и технических вычислений, разработанный специально для инженеров и научных работников. Matlab и пакеты его расширений (ToolBox) постоянно обновляются с учетом всех последних достижений в научно-технической области, численных методов и алгоритмов обработки данных. Matlab позволяет легко программировать сложные алгоритмы обработки данных, визуализировать результаты вычислений, проводить моделирование сложных динамических систем и выполнять символьные вычисления. Разработанные в Matlab программы можно оформить в виде отдельных приложений со стандартным графическим интерфейсом.

Синтаксис языка Matlab почти полностью соответствует естественной математической нотации, но в отличие от нее не является вещью в себе, а может быть непосредственно введен в компьютер и выполнен на нем. Поэтому далее все выражения и алгоритмы обработки данных представлены в синтаксисе псевдокода Matlab.

К недостаткам использования Matlab для НПОЭ можно отнести то, что это коммерческий продукт, подозрительного иностранного происхождения, а НПОЭ – находится под санкциями. Делали бы ночные горшки было бы все нормально. В связи с этим в дальнейшем возможен переход на свободный софт, типа Python или SciLab или на отечественные математические пакеты типа SimInTech. MATLAB содержит несколько удивительных функций, делающих его самой простой и производительной средой программирования для инженеров и ученых.

Вот шесть причин, объясняющих, почему:

1. MATLAB разработан для инженеров и ученых.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

MATLAB часто преподается на количественных курсах бакалавриата (таких как инженерия, физика и прикладная математика), поэтому его чаще всего используют в этих областях работы. Кроме того, документация написана для инженеров и ученых, а не для компьютерных специалистов. Ученые-информатики уделяют больше внимания теории вычислений, в то время как инженеры и ученые берут эту теорию и применяют ее к примерам из реальной жизни.

2. Язык программирования, который позволяет пользователям напрямую выражать математические вычисления матриц и массивов. MATLAB разработан специально для численных вычислений. С помощью MATLAB преподают более 1500 учебников. MATLAB используется во многих отраслях, поэтому университеты вводят MATLAB на ранних этапах учебной программы. Некоторые из предметов с учебниками, использующими MATLAB, это биологические науки, экономика, физика, нейронные сети и робототехника. В учебниках представлена теория, реальные примеры и упражнения с использованием MATLAB. Эти тексты не только предоставляют материалы курса, но также служат авторитетным справочником для исследователей в отрасли и академических кругов.

3. Интегрированный рабочий процесс
Для реализации идей требуется координация между несколькими людьми командами, поэтому для минимизации ошибок и задержек MATLAB помогает автоматизировать путь от исследования до производства.

4. MATLAB имеет профессионально разработанные наборы инструментов. Ящики для инструментов проходят тщательные испытания, поэтому они не только гарантированно работают, но и хорошо работают вместе. Наборы инструментов MATLAB предоставляют возможность изучать и применять специализированные технологии. Наборы инструментов объединяют среды параллельных вычислений, графические процессоры и генерацию кода C.

5. Визуализация данных и интерактивные приложения

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

MATLAB имеет отличные встроенные возможности построения графиков. Приложение в MATLAB это программа с пользовательским интерфейсом, которая автоматизирует задачу или расчет.

6. MatLab доверяют многие.

Считается, что MATLAB будет использоваться для множества задач, начиная от отправки космического корабля на Плутон и заканчивая сопоставлением пациентов с трансплантатами и донорами органов до более простых задач, таких как составление отчета для управления. Работа в таких компаниях, как Tesla, Amazon, Facebook, Verizon и Apple, требует знаний о том, как использовать MATLAB и другие языки программирования.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

6.Методика калибровки ДНГ в составе ТГС

6.1Планирование эксперимента

Калибровка ДНГ и уточнение параметров МА проводится в режиме стабилизации. Ориентация платформы меняется только путем поворотов вокруг осей кардана в режиме точного приведения (ТП). Корпус прибора находится на СНП и точно выставлен в горизонт и азимут. Запуск состоит из 12 ориентаций. В каждой ориентации в режиме стабилизации проводится опрос МА и ДК в течении 300 секунд с тактом 1 с. Ориентации представлены в таблице 6.1

Таблица 6.1

N	tn(HP СНП)	Fb(BP СНП)	t(тангаж)	P(рысканье)	b(вращение)
1	0	270	-180	-45	180
2	0	270	-135	-45	-45
3	0	270	-135	0	-135
4	0	270	-135	0	0
5	0	270	-135	45	135
6	0	270	-90	45	0
7	0	270	-45	-45	180
8	0	270	45	0	-135
9	0	270	45	0	135
10	0	270	45	45	-90
11	0	270	45	45	0
12	0	270	90	0	-90

Выбор ориентации производился из подходящих систем, ищется путем перебора на компьютере случайных наборов из 12 ориентаций с углами поворота по осям кардана в диапазоне их проочки. Для расчета перегрузок по осям используются параметры МА и кардана, полученные в запуске (3.1).алгоритм в псевдокоде МАТЛАВприведен ниже.

```

%% Выбор системы ориентаций (планирование эксперимента)
% S - все возможные комбинации углов для ориентации платформы
% tn=0 ГСП в режиме стабилизации
S = combvec(0,0,[-pi -3*pi/4 -pi/2 -pi/4 0 pi/4 pi/2],[-pi/4 0 pi/4], ...
[-3*pi/4 -pi/2 -pi/4 0 pi/4 pi/2 3*pi/4 pi]);

Dx = zeros(height(S),5); Dy = Dx; Dz = Dx;
for i = 1:height(S)
    [tn, fb, t, p, b] = devec(S(i,:));
    % номинальная перегрузка
    [nx,ny,nz] = devec(CE(0,0,0,0,0,0,0,0,0,t,p,b)*Ry(fb)*Rz(tn)*[0; 1; 0]);
    [Dx(i,:),Dy(i,:),Dz(i,:)] = dng(nx,ny,nz);
end
% число обусловленности по всем ориентациям
cond0 = max([cond(Dx) cond(Dy) cond(Dz)]);
disp(cond0)
% ищем подходящее подмножество ориентаций
minC = inf;
n = 12; % 3*n >= 12 % 12 - число искоемых параметров (собственных уходов ДНГ)
for j = 1:2
    for k = 1:1000
        switch j
        case 1
            while true
                ind = union(randi([1 height(S)],1,n),[]);
            if length(ind) == n, break, end
            end
        case 2
            while true
                ind = minind;
                ind(randi([1,n],1)) = randi([1 height(S)],1);
                ind = union(ind,[]);
            if length(ind) == n, break, end
            end
        end
        % число обусловленности по всем ориентациям
        cond1 = max([cond(Dx(ind,:)) cond(Dy(ind,:)) cond(Dz(ind,:))]);
        if cond1 < minC
            minC = cond1;
            minind = ind;
            disp([k minC])
        end
    end
end
disp([minC cond0])
SO = sortrows(S(minind,:)/deg);
% план эксперимента (оптимальная система ориентаций)
Smin = sortrows(S(minind,:));

```

Число обусловленности является мерой чувствительности системы линейных алгебраических уравнений $A \cdot V = X$, определяемой матрицей коэффициентов A , к погрешностям вектора в правых частях уравнений. Чем больше число обусловленности, тем более неустойчив процесс решения

						27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			

системы. Число обусловленности меняется в диапазоне $[1, \infty]$. 1 – соответствует идеально спланированному эксперименту.

По результатам моделирования стабильно получаются системы ориентаций с числом обусловленности равным 2, что, по-видимому, соответствует теоретическому минимальному значению для данной задачи.

6.2 Первичная обработка информации.

Первичная обработка состоит в удалении аномальных измерений и полиномиальной аппроксимации измерительных серий полиномами второго порядка. Оценка показаний МА и угловой скорости проводится путем дифференцирования аппроксимирующих полиномов скорости и углов кардана с последующим вычислением значений в центре измерительной серии. Алгоритм обработки в псевдокоде MATLAB приведен ниже.

```
% Первичная обработка информации
np = 2; % порядок аппроксимирующего полинома
MADKW = zeros(nor, 9);
for i = 1:nor
    A = MaDk{i};
    m = height(A);
    time = dT(i)*(0:m-1)';
    T2 = mean(time); % сдвиг по времени на середину интервала
% переход от приращений скорости (МА(измерения)) к скорости
A(:, 1:3) = cumsum(A(:, 1:3)*dT(i));
for j = 1:3
    c = polyfit(time-T2, A(:, j), np);
    MADKW(i, j) = polyval(c(1:end-1).*(np:-1:1), 0); % МА
end
for j = 4:6
    B = A(:, j);
% удаляем разрывы в показаниях ДК
ind = B < -pi/2;
if any(B>pi/2) && any(ind)
    B(ind) = 2*pi + B(ind);
MaDk{i}(:, j) = B;
end
% удаляем аномальные измерения (медианный фильтр)
B = medfilt1(B, 5);
c = polyfit(time-T2, B, np);
MADKW(i, j) = polyval(c, 0); % ДК
% уг. скорости по осям подвеса W(ДК)
MADKW(i, j+3) = polyval(c(1:end-1).*(np:-1:1), 0);
end
end
```

6.3 Оценка уходов ДНГ в составе ТГС.

Рассмотрим модель собственного ухода платформы с установленными на ней двумя ДНГ. У каждого ДНГ две оси чувствительности. Избыточная ось одного ДНГ принудительно арретируется электрической пружиной.

$$\omega_{x\Pi} = \omega_{x\tau} + \omega_{x\rho}n_x + \omega_{x\varepsilon}n_z + \omega_{xh}n_y + 2\omega_{xv}n_xn_y$$

$$\omega_{y\Pi} = \omega_{y\tau} + \omega_{y\rho}n_y + \omega_{y\varepsilon}n_z + \omega_{yh}n_x + 2\omega_{yv}n_xn_y$$

$$\omega_{z\Pi} = \omega_{z\tau} + \omega_{z\rho}n_z + \omega_{z\varepsilon}n_x + \omega_{zh}n_y + 2\omega_{zv}n_yn_z$$

Всего имеется пять составляющих ухода на каждую ось. Одна не зависящая и четыре зависящие от перегрузки по осям платформы (более подробное описание и название каждой составляющей есть в ММ Союз-5).

Модель изначально линейна по составляющим ухода и распадается на три независимых уравнения по каждой оси. Что бы сформировать систему уравнений линейной регрессии для получения по методу МНК оценок ухода, требуется подобрать подходящую систему ориентаций с минимальным числом обусловленности, что сделано в ходе планирования эксперимента.

Метод наименьших квадратов (МНК) — математический метод, применяемый для решения различных задач, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений некоторых функций от искомым переменных. Он используется для «решения» переопределенных систем уравнений (когда количество уравнений превышает количество неизвестных). МНК является одним из базовых методов регрессионного анализа для оценки неизвестных параметров регрессионных моделей по выборочным данным.

Определение МНК и числа обусловленности смотри выше.

Формирование матриц линейной регрессии и невязок по осям платформы показано ниже.

⊘ поворот вектора

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

```

Rx = @(x) [1 0 0; 0 cos(x) -sin(x); 0 sin(x) cos(x)];
Ry = @(x) [cos(x) 0 sin(x); 0 1 0; -sin(x) 0 cos(x)];
Rz = @(x) [cos(x) -sin(x) 0; sin(x) cos(x) 0; 0 0 1];
M = @(D1,D2,D3) [1, 0, 0; -sin(D2), cos(D2)*cos(D3),
cos(D2)*sin(D3); sin(D1), 0, cos(D1)];
% МА ->Платформа
MAPL = @(Tx,Ty,Tz,Px,Py,Pz,D1,D2,D3,max,may,maz)
diag(1+[Px Py Pz])* ...
[inv(M(D1,D2,D3)) -[Tx; Ty; Tz]]*[max; may; maz; 1];

```

```

% цикл по всем ориентациям
for i = 1:12
tn = 0; fb = 270*deg; % углыповоротаСНП
A1 = Rx(Ex)*Rz(Ez);
    A2 = Ry(b(i)+Bo)*Rz(Ebz);
    A3 = Rx(p(i)+Po)*Ry(Epy);
% МА ->ускорениевПСК
    Gp = MAPL(Tx,Ty,Tz,Px,Py,Pz,D1,D2,D3,x(i),y(i),z(i));
    [nx,ny,nz] = devec(Gp/g); % перегрузкавПСК
% переход от осей подвеса к платформе
    B = [A1(:,2) A1*A2(:,1) A1*A2*A3(:,3)];
% формирование матриц линейной регрессии
Dx(i,:) = [1 nx nz ny 2*nx*ny];
    Dy(i,:) = [1 ny nz nx 2*nx*ny];
    Dz(i,:) = [1 nz nx ny 2*ny*nz];
% уг. скорости по осям подвеса
w = [bt(i) pt(i) tt(i)]';
% БСК ->платформа (ПСК)
    D = A1*A2*A3*Rz(t(i)+To)*...
Ry(Ety)*Rx(Ex)*Ry(fb)*Rz(tn);
w = D*Omega-B*w; % собственный уход платформы (ДНГ)
[Hx(i),Hy(i),Hz(i)] = devec(w);
end

```

Здесь:

$T_x, T_y, T_z, P_x, P_y, P_z, D_1, D_2, D_3, E_x, E_z, E_{bz}, E_{py}$ –параметры МА и кардана.

$x, y, z, t, p, b, tt, tp, tb$ –массивы с результатами первичной обработки информации с МА и ДК.

Получение оценки уходов по методу МНК.

% основная формула

$$W_x = D_x \backslash H_x;$$

```

Wy = Dy\Hy;
Wz = Dz\Hz;

% ковариационные матрицы
Px = diag(inv(Dx'*Dx));
Py = diag(inv(Dy'*Dy));
Pz = diag(inv(Dz'*Dz));
% точность оценки параметров
rx = Hx-Dx*Wx1; % неучтенный остаток
ry = Hy-Dy*Wy1;
rz = Hz-Dz*Wz1];
stdWx = sqrt(Px*(rx'*rx/(12-5))); % СКОоценкиуходов
stdWy = sqrt(Py*(ry'*rz/(12-5)));
stdWz = sqrt(Pz*(ry'*rz/(12-5)));

```

6.4 Оценка азимута корпуса прибора.

Алгоритм вычисления проверки азимута прибора в псевдокоде MATLAB показан ниже.

```

% Азимут

for i = 1:nor
    [tn, fb] = devec(NPS(i,:)); % углыСНП
    [x,y,z,t,p,b,tt,pt,bt] = devec(MADKW(i,:)); % данные
    Gp = MAPL(Tx,Ty,Tz,Px,Py,Pz,D1,D2,D3,x,y,z); % ускорениевПСК
    [nx,ny,nz] = devec(Gp/g0); % перегрузки
    A1 = Rx(Ex)*Rz(Ez);
    A2 = Ry(b+Bo)*Rz(Ebz);
    A3 = Rx(p+Po)*Ry(Epy);
% переход от осей подвеса к платформе
    B = [A1(:,2) A1*A2(:,1) A1*A2*A3(:,3)];
    w = [btpttt]'; % уг. скоростипоосямподвеса
    D = A1*A2*A3*Rz(t+To)*Ry(Ety)*Rx(ETx)*U*Ry(fb)*Rz(tn); % БСК ->корпус
% уг. в ПСК -> уг. скорость в БСК
    Dx = [1 nx nz ny 2*nx*ny];
    Dy = [1 ny nz nx 2*nx*ny];
    Dz = [1 nz nx ny 2*ny*nz];
    Q = [Dx; Dy; Dz];
    WOM= D\(W'*Q'+B*w);
    Azimut(i) = atan2(WOM(3),WOM(1))/deg; % азимутСНПвБСК
OM(:,i) = WOM;
end

```


Wxt	-0,0011	0,0054	0,2895	0,0195
Wyt	-0,0227	0,0051	0,2895	0,0195
Wzt	0,0203	0,0078	0,2895	0,0195
Wxp	-0,1052	-0,1080	0,4871	0,0327
Wyp	0,1075	0,0409	0,5191	0,0349
Wzp	-0,1045	-0,0880	0,5010	0,0337
Wxe	-0,0093	0,0198	0,5017	0,0337
Wye	-2,0407	-1,9805	0,5017	0,0337
Wze	-0,0042	0,0901	0,4879	0,0328
Wxh	0,0029	0,0213	0,5191	0,0349
Wyh	0,0039	0,0098	0,4871	0,0327
Wzh	0,0019	-0,0316	0,5202	0,0350
Wxv	-0,0110	-0,0081	0,4726	0,0318
Wyv	0,0280	-0,0249	0,4726	0,0318
Wzv	-0,0110	0,0199	0,4890	0,0329

Результаты оценки азимута корпуса с учетом полученных оценок уходов платформы в таблице 6.5.3:

Таблица 6.5.3

№	Az[°]	Om["/с]	OmX["/с]	OmY["/с]	OmZ["/с]
1	315,2287	15,0363	6,0679	12,3708	-6,0197
2	315,3908	15,0371	6,1097	12,3476	-6,0269
3	314,7478	14,9905	6,0321	12,3002	-6,0854
4	315,0042	14,9890	6,0570	12,3006	-6,0561
5	314,5264	15,0736	6,0046	12,4053	-6,1047
6	315,0834	15,0612	6,0926	12,3619	-6,0749
7	314,8346	15,0542	6,0978	12,3220	-6,1331
8	314,9618	14,9608	6,0219	12,2964	-6,0300
9	314,7649	15,0235	6,0129	12,3611	-6,0625
10	315,5723	15,0597	6,1172	12,3862	-5,9962
11	314,7896	14,9910	6,0411	12,2964	-6,0856

12	314,8882	15,0744	6,0767	12,3732	-6,1005
МО	314,9827	15,0293	6,0610	12,3435	-6,0646
СКО	0,2961	0,0381	0,0387	0,0388	0,0404

Результаты моделирования измерительных серий

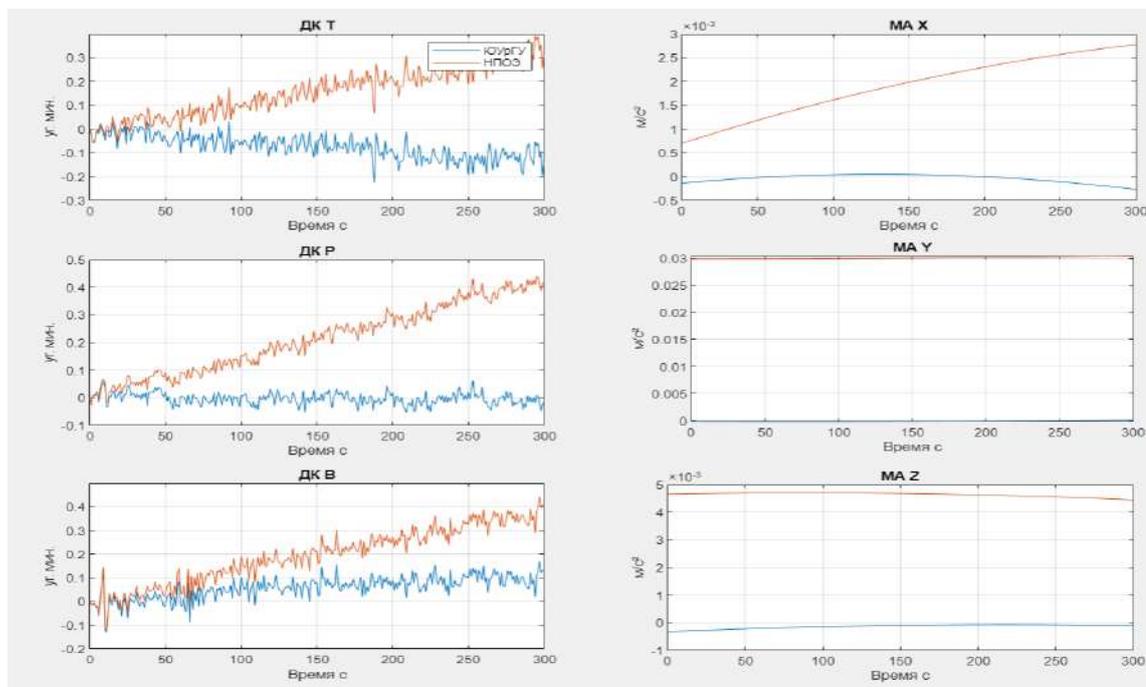


Рисунок 6.5.1

Рисунок 6.5.1 Ошибка между показаниями МА и ДК прибора в одной из измерительных серий и их предсказанием по модели с параметрами НПОЭ и ЮУрГУ.

6.6 Анализ результатов.

Полученные оценки уходов близки к результатам НПОЭ:

- НПОЭ оценивает уходы из шести специально подобранных ориентаций с углами поворота кардана кратными 90° . В экспериментальном запуске 12 ориентаций с более разнообразным набором углов, что дает более общую картину уходов.

- НПОЭ не использует МНК для вычисления оценки, а ограничивается более простыми формулами.

Результаты моделирования измерительных серий показывают, что оценка уходов по новой методике дает гораздо более точное определение показаний МА и ДК прибора, чем определение показаний МА и ДК в настоящее время на серийных ТГС.

Результаты оценки азимута корпуса прибора дают приемлемую точность только по осреднению по всем ориентациям.

Анализ точности оценки азимута корпуса, а также остаточного не учитываемого моделью ухода свидетельствует о том, что модель уходов платформы как минимум не полна. Ниже показан остаточный не учитываемый моделью уход.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

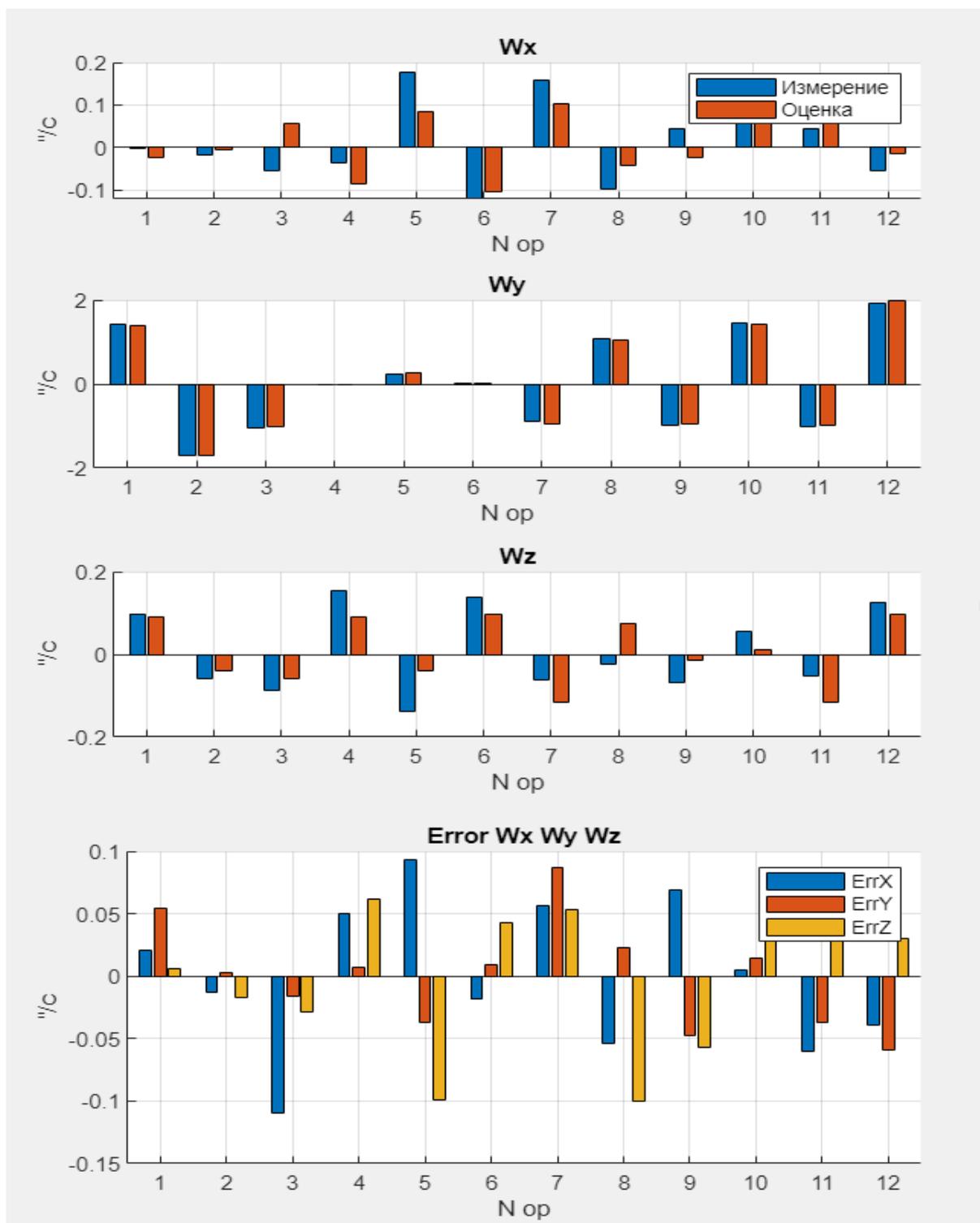


Рисунок 6.5.2

Рисунок 6.5.2. Остаточный не учитываемый моделью уход.

Это может свидетельствовать о наличии системного эффекта, т.е. уход платформы с установленными на нем ДНГ не сводится к модели ухода самого ДНГ. Возможно, в составе платформы на ДНГ влияют какие-то магнитные поля

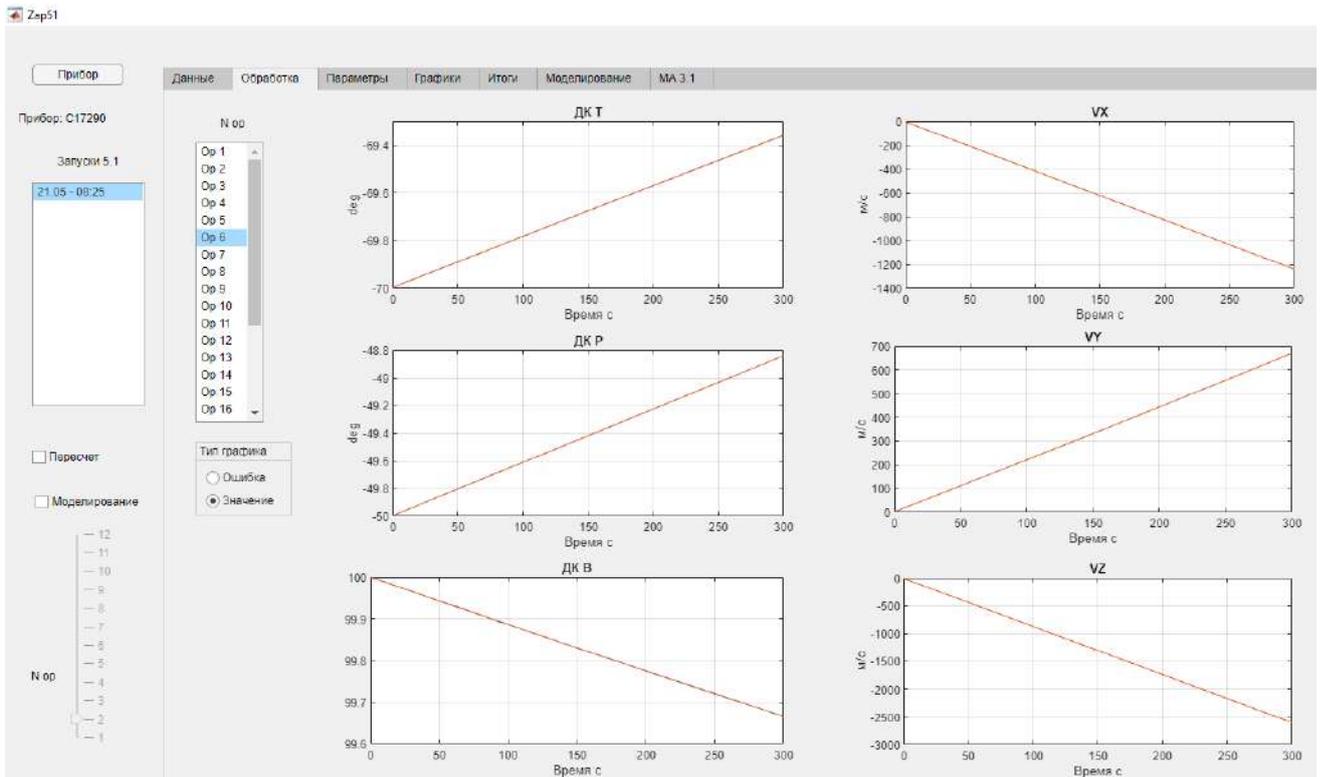


Рисунок 7.2 (Первичная обработка (графики))

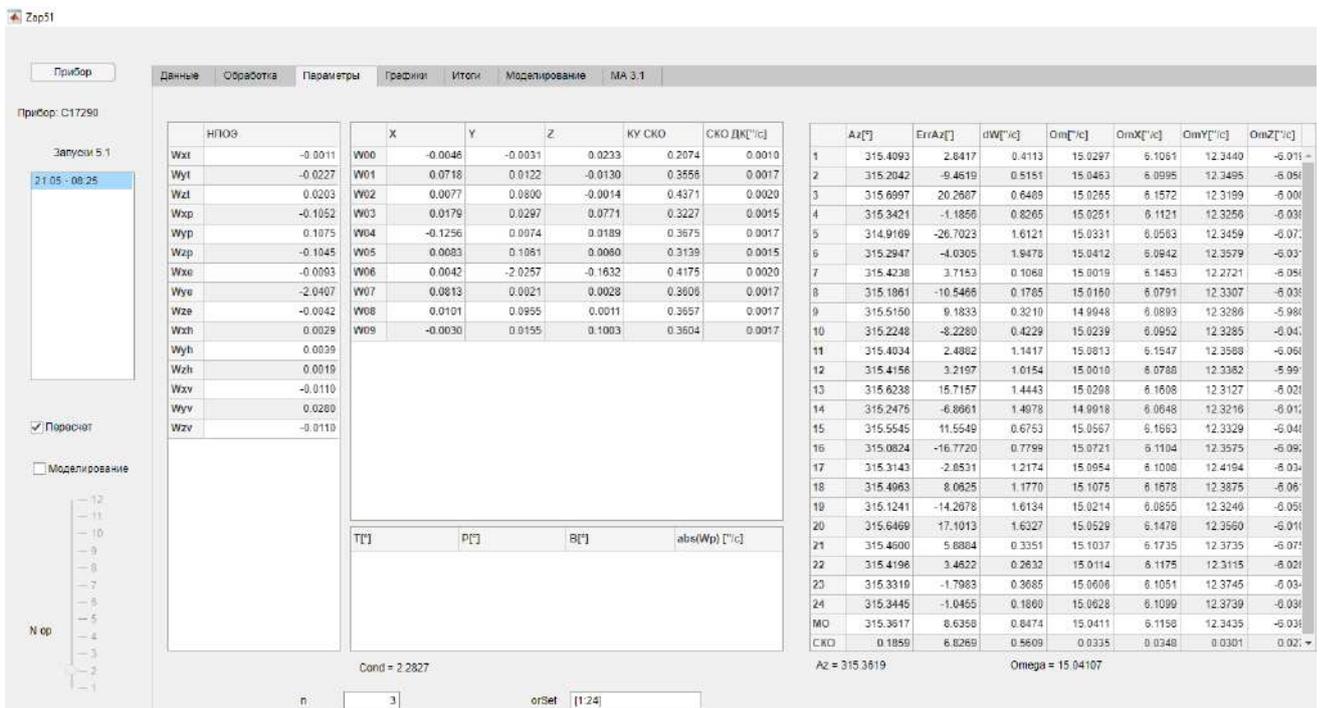


Рисунок 7.3 (Оценка параметров)

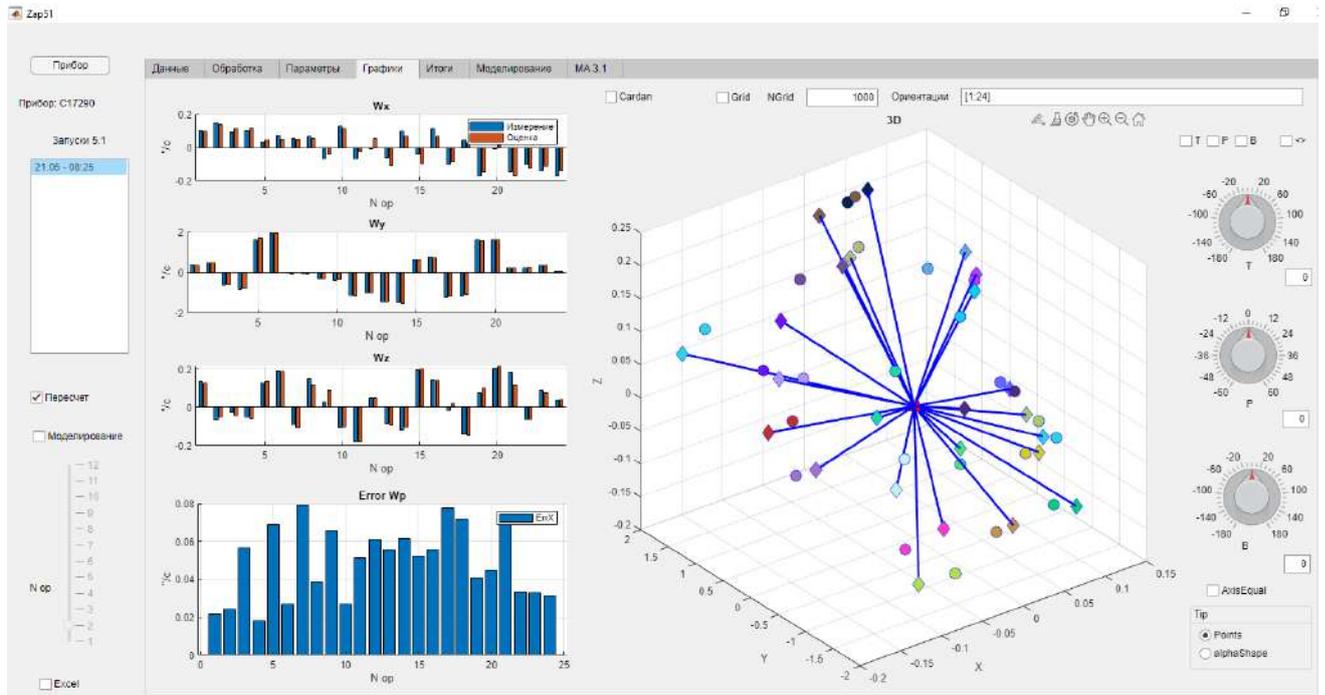


Рисунок 7.4 (Анализ результатов)

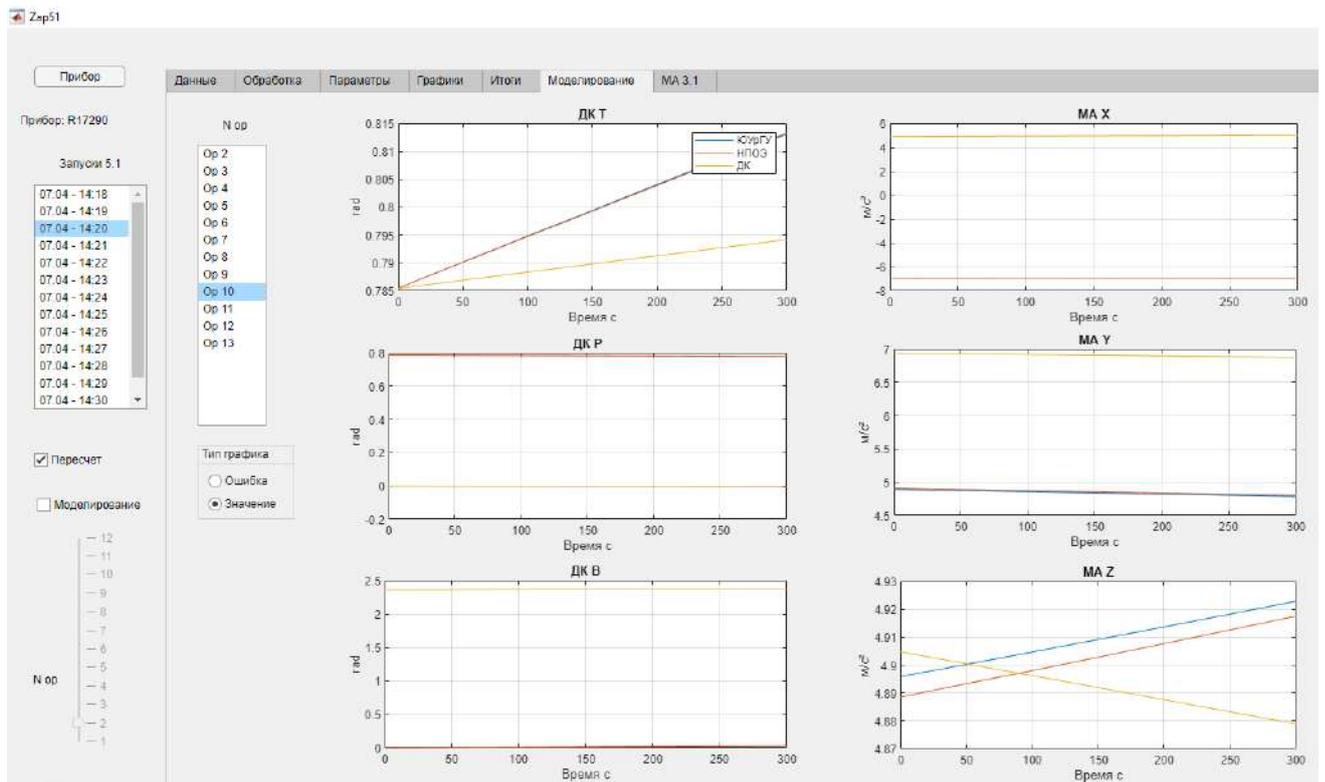


Рисунок 7.1 (Подтверждение (моделирование))

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана новая методика и алгоритмы калибровки ДНГ в составе ТГС.
2. Разработана программа калибровки с графическим интерфейсом.
3. Методика проверена на штатном приборе.
4. При наличии проблем с оценкой азимута и не учтенным моделью остаточным уходом, результаты, по крайней мере не хуже, чем у НПОЭ, а по результатам моделирования измерительных серий даже значительно ближе к реальности.
5. Результаты моделирования измерительных серий показывают, что оценка уходов по новой методике дает гораздо более точное определение показаний МА и ДК прибора, чем определение показаний МА и ДК в настоящее время на серийных ТГС.

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лекция № 23 Тема: БЕСПЛАТФОРМЕННЫЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (БИНС). – Копысов.О.Э 2011 – 18с.
2. Динамически настраиваемые гироскопы: Теория и конструкция / Д.С. Пельпор, В.А. Матвеев, В.Д. Арсеньев. – М., Машиностроение, 1988. – 264 с.Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов И.Н. Бронштейн К.А. Семендяев
3. Командно-измерительные приборы Б.И. Назаров С.А. Черников Г.А. Хлебников Г.В. Верхов
4. СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочная, Н.В. Сырейщикова, А.Е. Шевелев, Е.В. Шевелева. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 55 с.
5. Южно – Уральский Государственный Университет. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2008. – 56 с.
6. Индикаторные гироскопические платформы / Под редакцией
7. А.Д. Александрова. – Москва, Машиностроение, 1979. – 239с.
7. Математическая модель КЕАФ Э0-7144. БЦ-44. Редакция 2. Миасс, АО «НПО электромеханики», 2017. – 42 с.
8. Справочник по математике для научных работников и инженеров Г. Корн Т.Корн
9. <https://abc-import.ru/gps/1834-inercialnaja-navigacionnaja-sistema-obshhie-svedenija-princip-dejstvija-klassifikacija-i-sposoby-orientacii/>
10. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```

w00 , w09 , w10 , w11 ],
hs = 0; hp = 0;
R1 = []; H1 = []; W1 = []; NPS1 = []; U1 = []; X1 = []; nnn1 = 1; MADKW1 = [];
XYZ = [0 0 0]; v = [0;0;0];
end
methods (Access = private)
function results = funcmod(app)
deg = pi/180;
mr = pi/180/60;
sr = pi/180/60/60;
Cma = 0.0008; Cdk = pi/2^23; % цена единицы младшего разряда МА и ДК
dirzap = app.ListZaps.Value;
load([dirzap 'moddata.mat']);
load([dirzap 'data.mat']);
i = app.NListBox.Value;
tout = (0:height(dkma{i})-1)*.1;
T2 = mean(tout);
dT = 1;
time = (0:height(MaDk{i})-1)*dT;
np = 2;
c = polyfit(time-T2,cumsum(MaDk{i}(:,1))*dT,np);
max = polyval(c(1:end-1).*(np:-1:1),time-T2);
c = polyfit(time-T2,cumsum(MaDk{i}(:,2))*dT,np);
may = polyval(c(1:end-1).*(np:-1:1),time-T2);
c = polyfit(time-T2,cumsum(MaDk{i}(:,3))*dT,np);
maz = polyval(c(1:end-1).*(np:-1:1),time-T2);
if app.ButtonGroup.Buttons(1).Value
plot(app.UIAxesT,time,([dkma{i}(1:10:end,3) dkmao{i}(1:10:end,3)]-MaDk{i}(:,4))/mr)
app.UIAxesT.YLabel.String = 'уг. мин.';
legend(app.UIAxesT, 'ЮУрГУ', 'НПОЭ');
plot(app.UIAxesP,time,([dkma{i}(1:10:end,2) dkmao{i}(1:10:end,2)]-MaDk{i}(:,5))/mr)
app.UIAxesP.YLabel.String = 'уг. мин.';
plot(app.UIAxesB,time,([dkma{i}(1:10:end,1) dkmao{i}(1:10:end,1)]-MaDk{i}(:,6))/mr)
app.UIAxesB.YLabel.String = 'уг. мин.';
plot(app.UIAxesMAX, time,[dkma{i}(1:10:end,4) dkmao{i}(1:10:end,4)]-max)
plot(app.UIAxesMAY, time,[dkma{i}(1:10:end,5) dkmao{i}(1:10:end,5)]-may)
plot(app.UIAxesMAZ, time,[dkma{i}(1:10:end,6) dkmao{i}(1:10:end,6)]-maz)
e

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```

plot(app.UIAxesT, tout, [dkma{i}(:,2) dkmao{i}(:,2)], time, MaDk{i}(:,5));
app.UIAxesT.YLabel.String = 'rad';
legend(app.UIAxesT, 'ЮУрГУ', 'НПОЭ', 'ДК');
plot(app.UIAxesP, tout, [dkma{i}(:,1) dkmao{i}(:,1)], time, MaDk{i}(:,6));
app.UIAxesP.YLabel.String = 'rad';
plot(app.UIAxesMAX, tout, [dkma{i}(:,4) dkmao{i}(:,4)], time, max);
plot(app.UIAxesMAY, tout, [dkma{i}(:,5) dkmao{i}(:,5)], time, may);
plot(app.UIAxesMAZ, tout, [dkma{i}(:,6) dkmao{i}(:,6)], time, maz);
end
app.UIAxesT.XGrid = true;
app.UIAxesT.YGrid = true;
app.UIAxesP.XGrid = true;
app.UIAxesP.YGrid = true;
app.UIAxesB.XGrid = true;

```



```

t = app.KnobT.Value;
else
t = randi([-115 223]);
end
if app.PCheckBox.Value
p = app.KnobP.Value;
else
p = randi([-65 65]);
end
if app.BCheckBox.Value
b = app.KnobB.Value;
else
b = randi([-180 180]);
end
TPB(i,:) = [t p b];
t = t*deg; p = p*deg; b = b*deg;
[tn,fb] = devec(NPS(1,:));
A1 = app.Rx(Ex)*app.Rz(Ez);
A2 = app.Ry(b+Bo)*app.Rz(Ebz);
A3 = app.Rx(p+Po)*app.Ry(Epy);
D = A1*A2*A3*app.Rz(t+To)*app.Ry(Ety)*app.Rx(ETx)*U*app.Ry(fb)*app.Rz(tn);
Q(i,:) = dngGM(t,p,b,D,app.nnn1,app)*W/sr;
end

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```

r
[iminq,maxiq] = minq(maxq); [iminq,maxiq] = minq(maxq);
app.UITableMinMax.Data = table(TPB([imin imax],1),TPB([imin imax],2),TPB([imin
imax],3),[minq; maxq]);
if app.PointsButton.Value
h = (maxq-minq)/3;
ind = nQ<minq+h;
plot3(app.UIAxes3D,Q(ind,1),Q(ind,2),Q(ind,3),'g')
ind = nQ>minq+h & nQ<minq+2*h;
plot3(app.UIAxes3D,Q(ind,1),Q(ind,2),Q(ind,3),'b')
ind = nQ>minq+2*h;
plot3(app.UIAxes3D,Q(ind,1),Q(ind,2),Q(ind,3),'r')
else
k = boundary(Q,0);
trisurf(k,Q(:,1),Q(:,2),Q(:,3),'Facecolor','red','FaceAlpha',0.1)
axis equal
end
end
hold(app.UIAxes3D,"off");
grid(app.UIAxes3D,"on");
if app.AxisEqualCheckBox.Value
axis(app.UIAxes3D,'equal');
end
end
function results = funcTPB(app)
results = false;
if isempty(app.W1)
return
end
gridN(app);
deg = pi/180; mr = deg/60; sr = mr/60;
[Ex, Ez, Ebz, Epy, ETx, Ety, Tx, Ty, Tz, Px, Py, Pz, D1, D2, D3, To, Po, Bo] =
devec(app.X1);

```

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

```

t = app.KnobT.Value*deg;
p = app.KnobP.Value*deg;
b = app.KnobB.Value*deg;
A1 = app.Rx(Ex)*app.Rz(Ez);
A2 = app.Ry(b+Bo)*app.Rz(Ebz);
A3 = app.Rx(p+Po)*app.Ry(Epy);
fb = 3*pi/2; tn = 0; U = eye(3);
D = A1*A2*A3*app.Rz(t+To)*app.Ry(Ety)*app.Rx(Ex)*U*app.Ry(fb)*app.Rz(tn); % БСК -
>корпус
% уг. в ПСК -> уг. скорость в БСК
H = dngGM(t,p,b,D,app.nnn1,app)*app.W1/sr;
axis(app.UIAxes3D, 'manual');
set(app.hs, 'XData',H(1), 'YData',H(2), 'ZData',H(3));
set(app.hp, 'XData',[0 H(1)], 'YData',[0 H(2)], 'ZData',[0 H(3)]);
if app.CardanCheckBox.Value
hold(app.UIAxes3D, "on");
Q = zeros(360,3);
i = 1;
for u = -179:180
A1 = app.Rx(Ex)*app.Rz(Ez);
A2 = app.Ry(u*deg+Bo)*app.Rz(Ebz);
A3 = app.Rx(p+Po)*app.Ry(Epy);
fb = 3*pi/2; tn = 0; U = eye(3);
D = A1*A2*A3*app.Rz(t+To)*app.Ry(Ety)*app.Rx(Ex)*U*app.Ry(fb)*app.Rz(tn); % БСК -
>корпус
Q(i,:) = dngGM(t,p,u*deg,D,app.nnn1,app)*app.W1/sr;
i = i + 1;
end
plot3(app.UIAxes3D,Q(:,1),Q(:,2),Q(:,3), '-b')
Q = zeros(121,3);
i = 1;
for u = -60:60
A1 = app.Rx(Ex)*app.Rz(Ez);
A2 = app.Ry(b+Bo)*app.Rz(Ebz);
A3 = app.Rx(u*deg+Po)*app.Ry(Epy);
fb = 3*pi/2; tn = 0; U = eye(3);
D = A1*A2*A3*app.Rz(t+To)*app.Ry(Ety)*app.Rx(Ex)*U*app.Ry(fb)*app.Rz(tn); % БСК -
>корпус
Q(i,:) = dngGM(t,u*deg,b,D,app.nnn1,app)*app.W1/sr;
i = i + 1;
end
plot3(app.UIAxes3D,Q(:,1),Q(:,2),Q(:,3), '-r')
Q = zeros(360,3);
i = 1;
for u = -179:180
A1 = app.Rx(Ex)*app.Rz(Ez);
A2 = app.Ry(b+Bo)*app.Rz(Ebz);
A3 = app.Rx(p+Po)*app.Ry(Epy);
fb = 3*pi/2; tn = 0; U = eye(3);
D = A1*A2*A3*app.Rz(u*deg+To)*app.Ry(Ety)*app.Rx(Ex)*U*app.Ry(fb)*app.Rz(tn); % БСК
->корпус
Q(i,:) = dngGM(u*deg,p,b,D,app.nnn1,app)*app.W1/sr;
i = i + 1;
end
plot3(app.UIAxes3D,Q(:,1),Q(:,2),Q(:,3), '-k')
hold(app.UIAxes3D, "off");

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А


```

app.UIAxesMAY_2.XGrid = true;
app.UIAxesMAY_2.YGrid = true;
app.UIAxesMAZ_2.XGrid = true;
app.UIAxesMAZ_2.YGrid = true;
title(app.UIAxesB_2, 'ДКВ');
title(app.UIAxesP_2, 'ДКР');
t
t
title(app.UIAxesMAY_2, 'VY');
title(app.UIAxesMAZ_2, 'VZ');
xlabel(app.UIAxesB_2, 'Время');
xlabel(app.UIAxesT_2, 'Время');
xlabel(app.UIAxesP_2, 'Время');
xlabel(app.UIAxesMAX_2, 'Время');
xlabel(app.UIAxesMAY_2, 'Время');
xlabel(app.UIAxesMAZ_2, 'Время');
ylabel(app.UIAxesMAX_2, 'м/с');
ylabel(app.UIAxesMAY_2, 'м/с');
ylabel(app.UIAxesMAZ_2, 'м/с');
end
end
% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)
% Button pushed function: LoadData
function LoadDataButtonPushed(app, event)
app.plantdir = uigetdir('..\Data\', 'Прибор');
if ~app.plantdir
return
end
app.plant = app.plantdir(end-5:end); % № прибора
app.Plant.Text = "Прибор: " + app.plant;
dirdata = {};
q = dir([app.plantdir '\51\']);
k = 1;
LZI = {}; LZV = {};
app.ListZaps.Items = {};
app.ListZaps.ItemsData = {};
for i = 3:length(q)
if q(i).isdir
s = dir([app.plantdir '\51\' q(i).name]);
for j = 3:length(s)
if s(j).isdir
dirdata{k} = s(j).folder + "\" + s(j).name + "\";
c = split(dirdata{k}, '\');
app.ListZaps.Items{k} = char(c{end-2}(4:5)+ " "+c{end-2}(1:2)+ " - "+c{end-
1
a.
k = k + 1;
end
end
end
end
end
app.UITableTotal.Data = [];
plot(app.UIAxesB,0,0);
plot(app.UIAxesP,0,0);
plot(app.UIAxesT,0,0);

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

										Лист
										64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР					


```

[x,y,z,t,p,b,tt,pt,bt] = devec(MADKW(i,:)); % данные
Gp = MAPL(Tx,Ty,Tz,Px,Py,Pz,D1,D2,D3,x,y,z); % ускорение в ПСК
[nx,ny,nz] = devec(Gp/app.g0); % перегрузки
A1 = app.Rx(Ex)*app.Rz(Ez);
A2 = app.Ry(b+Bo)*app.Rz(Ebz);
A3 = app.Rx(p+Po)*app.Ry(Epy);
wt = [bt pt tt]';
B = [A1(:,2) A1*A2(:,1) A1*A2*A3(:,3)]; % переход от осей подвеса к платформе
S = U*app.Ry(fb)*app.Rz(tn);
D = A1*A2*A3*app.Rz(t+To)*app.Ry(Ety)*app.Rx(ETx)*S;
wp = D*Omega-B*wt; % собственный уход платформы
H(i,:) = wp';
R(i,:) = dngGM(t,p,b,D,nnn,app);
% R(i,:) = dngGM(t,p,b,[D(:,2) D+app.Ry(b)*app.Rz(t)],nnn);
% МА 3.1
ax = x; ay = y; az = z;
Hma = [Hma; 2*[-ax, -ay, -az, ax^2, ay^2, az^2, -ax*az, ax*ay, -ay*az]];
ErrorG2 = [ErrorG2; app.g0^2-ax^2-ay^2-az^2];
end
% =====
cR = cond(R(o,:));
W = R(o,:)\H(o,:); % основная формула (МНК)
P = sqrt(diag(inv(R(o,:)'*R(o,:))));
% точность оценки параметров
D = H(o,:)-R(o,:)*W;
stddk = P*std(D(:))/sqrt(3*length(o)-numel(W));
% МА
XLA = Hma\ErrorG2;
% -----
f
Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
[...; ...] = devec(MADKW(i,:)); % данные
[x,y,z,t,p,b,tt,pt,bt] = devec(MADKW(i,:)); % данные
Gp = MAPL(Tx,Ty,Tz,Px,Py,Pz,D1,D2,D3,x,y,z); % ускорение в ПСК
[nx,ny,nz] = devec(Gp/app.g0); % перегрузки
A1 = app.Rx(Ex)*app.Rz(Ez);
A2 = app.Ry(b+Bo)*app.Rz(Ebz);
A3 = app.Rx(p+Po)*app.Ry(Epy);
B = [A1(:,2) A1*A2(:,1) A1*A2*A3(:,3)]; % переход от осей подвеса к платформе
w = [bt pt tt]'; % уг. скорости по осям подвеса
D = A1*A2*A3*app.Rz(t+To)*app.Ry(Ety)*app.Rx(ETx)*U*app.Ry(fb)*app.Rz(tn); % БСК -
>корпус
% уг. в ПСК -> уг. скорость в БСК
Q = dngGM(t,p,b,D,nnn,app);
WOM= D\ (W'*Q'+B*w);
Azimut(i) = atan2(WOM(3),WOM(1))/deg; % азимут СНП в БСК
OM(:,i) = WOM;
end
xyz = app.XYZ;
save([value 'data.mat'], 'nor', 'MADKW', 'Wo', 'W', 'cR', 'P', ...
'stddk', 'Xo', 'XMA', 'ux', 'uy', 'uz', 'Fi', 'Az', 'NPS', ...
'MaDk', 'Azimut', 'OM', 'Omega', 'i0', 'H', 'R', 'U', 'xyz', 'nnn', 'XLA');
end
app.NListBox_2.Items = {};
app.NListBox_2.ItemsData = [];
for i = 1:nor
app.NListBox_2.Items{i} = ['0p ' num2str(i+i0)];

```

```

end
app.NListBox_2.ItemsData = (1:nor)+i0;
app.EditFieldOr.Value = "[1:"+num2str(nor)+"]";
app.H1 = H; app.R1 = R; app.W1 = W; app.NPS1 = NPS;
app.U1 = U; app.X1 = XMA.*emr; app.nnn1 = nnn; app.XYZ = xyz;
app.MADKW1 = MADKW;
T = array2table(MADKW./[1 1 1 deg deg deg sr sr sr]);
app.UITableMADKW.Data = T;
app.UITableMADKW.RowName = num2cell((1:nor)+i0);
c = split(value, '\');
sheet = sheet/(end(1)/4-5); sheet = sheet/(end(1)/4-3); sheet = sheet/(end(1)/4-5);
f
Т...oper...variableNames = app.UITableMADKW.ColumnNames;
T.Row = string((1:nor)+i0);
if app.CheckBoxExcel.Value
writetable(T,file,'Sheet',sheet,'Range','A1','WriteRowNames',true,'WriteMode','inplace');
end
app.UITableParNPOE.Data = table(Wo);
app.UITableParNPOE.RowName = app.cpo;
T = table(Wo);
T.Properties.VariableNames = "НПОЭ";
T.Row = string(app.cpo);
if app.CheckBoxExcel.Value
writetable(T,file,'Sheet',sheet,'Range','A50','WriteRowNames',true,'WriteMode','inplace');
end
% числообусловленности
app.Cond.Text = "Cond = " + num2str(cR);
app.AzSNP.Text = "Az = " + num2str(Az/deg);
app.OmegaE.Text = "Omega = 15.04107";
% SKOпоMA
T = table(W(:,1)/sr,W(:,2)/sr,W(:,3)/sr,P,stdk/sr);
app.UITableParam.Data = T;
switch nnn
case 1
app.UITableParam.RowName = app.cp1(1:4,:);
T.Row = string(app.cp1(1:4,:));
case 2
app.UITableParam.RowName = app.cp1(1:7,:);
T.Row = string(app.cp1(1:7,:));
case {3,4,5,6,7,8,9,10}
for i = 1:length(W(:,1))
cpn(i,:) = "W"+num2str(i-1,'%02d');
end
app.UITableParam.RowName = cpn;
T.Row = string(cpn);
end
Т
Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
if app.CheckBoxExcel.Value
writetable(T,file,'Sheet',sheet,'Range','D50','WriteRowNames',true,'WriteMode','inplace');
end
rn = num2cell((1:nor)+i0); rn{end+1} = 'MO'; rn{end+1} = 'CKO';
AA = Azimut(:)+360; AA(end+1:end+2) = [mean(AA); std(AA)];
OO = vecnorm(OO',2,2)/sr; OO(end+1:end+2) = [mean(OO); std(OO)];

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А


```

save([value 'moddata.mat'], 'dkma', 'dkmao');
end
end
app.NListBox.Items = {};
app.NListBox.ItemsData = [];
if isfile([value 'moddata.mat'])
for i = 1:nor
app.NListBox.Items{i} = ['Op ' num2str(i+i0)];
end
app.NListBox.ItemsData = (1:nor)+i0;
end
end
%
+
S1 = pi/180/360/360;
k = 0;
for i = 1:length(app.ListZaps.Items)
if isfile([app.ListZaps.ItemsData{i} 'data.mat'])
k = k + 1;
CN(k) = string(app.ListZaps.Items{i});
load([app.ListZaps.ItemsData{i} 'data.mat'])
A = Azimut+360;
O = vecnorm(OM)/sr;
D(:,k) = [W/sr; mean(A); std(A); mean(O); std(O)];
end
end
if k > 0
app.UITableTotal.ColumnName = [CN, "Среднее", "СКО"];
D(:,k+1:k+2) = [mean(D,2) std(D,0,2)];
for i = 1:width(D)
T(1:height(D),i) = table(D(:,i));
end
app.UITableTotal.Data = T;
cpxyz = [app.cpx; app.cpy; app.cpz];
for i = 1:length(app.cpo)
cc{i} = cpxyz(i,:);
end
cc{end+1} = 'MO Az[°]';
cc{end+1} = 'CKO Az';
cc{end+1} = 'MO Om["/c]';
cc{end+1} = 'CKO Om';
app.UITableTotal.RowName = cc;
end
T.Row = string(cc);
T.Properties.VariableNames = app.UITableTotal.ColumnName;
file = [app.plant '_51.xlsx'];
if app.CheckBoxExcel.Value
writetable(T,file,'Sheet','Игор','Range','A1','WriteRowNames',true,'WriteMode','inplace');
end
end
% Value changed function: NListBox

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

						27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			

```

function NListBoxValueChanged(app, event)
value = app.NListBox.Value;
dirzap = app.ListZaps.Value;
if isfile([dirzap 'moddata.mat'])
funcmod(app);
end
end
% Value changed function: CheckBoxGrid
function CheckBoxGridValueChanged(app, event)
value = app.CheckBoxGrid.Value;
funcTPB(app);
end
% Value changed function: EditFieldNGrid
function EditFieldNGridValueChanged(app, event)
value = app.EditFieldNGrid.Value;
funcTPB(app);
end
% Value changed function: KnobT
function KnobTValueChanged(app, event)
app.TEditField.Value = app.KnobT.Value;
funcTPB(app);
end
% Value changed function: KnobP
function KnobPValueChanged(app, event)
app.PEditField.Value = app.KnobP.Value;
funcTPB(app);
end
% Value changed function: KnobB
function KnobBValueChanged(app, event)
app.BEditField.Value = app.KnobB.Value;
funcTPB(app);
end
% Value changed function: EditFieldO
.
.
.
funcTPB(app);
app.UIAxes3D.ALimMode = 'auto';
end
% Value changed function: TCheckBox
function TCheckBoxValueChanged(app, event)
value = app.TCheckBox.Value;
funcTPB(app);
end
% Value changed function: PCheckBox
function PCheckBoxValueChanged(app, event)
value = app.PCheckBox.Value;
funcTPB(app);
end
% Value changed function: BCheckBox
function BCheckBoxValueChanged(app, event)
value = app.BCheckBox.Value;
funcTPB(app);
end
% Value changed function: AxisEqualCheckBox
function AxisEqualCheckBoxValueChanged(app, event)
value = app.AxisEqualCheckBox.Value;

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		


```

app.ButtonVal_2.Position = [11 5 75 22];
% Create UIAxesT_2
app.UIAxesT_2 = uiaxes(app.Tab_Prepare);
title(app.UIAxesT_2, 'ДКТ')
xlabel(app.UIAxesT_2, 'Времяс')
ylabel(app.UIAxesT_2, 'рад')
zlabel(app.UIAxesT_2, 'Z')
app.UIAxesT_2.PlotBoxAspectRatio = [2.61728395061728 1 1];
app.UIAxesT_2.XGrid = 'on';
app.UIAxesT_2.YGrid = 'on';
app.UIAxesT_2.NextPlot = 'replace';
app.UIAxesT_2.Position = [176 414 387 185];
% Create UIAxesP_2
app.UIAxesP_2 = uiaxes(app.Tab_Prepare);
title(app.UIAxesP_2, 'ДКВ')
xlabel(app.UIAxesP_2, 'Времяс')
ylabel(app.UIAxesP_2, 'рад')
zlabel(app.UIAxesP_2, 'Z')

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```

app.UIAxesT_2.CameraPosition = [0.5 0.5 9.16025403784439];
app.UIAxesP_2.CameraViewAngle = 6.60861036031192;
app.UIAxesP_2.DataAspectRatio = [1 1 1];
app.UIAxesP_2.XGrid = 'on';
app.UIAxesP_2.YGrid = 'on';
app.UIAxesP_2.NextPlot = 'replace';
app.UIAxesP_2.Position = [176 219 387 185];
% Create UIAxesB_2
app.UIAxesB_2 = uiaxes(app.Tab_Prepare);
title(app.UIAxesB_2, 'ДКТ')
xlabel(app.UIAxesB_2, 'Времяс')
ylabel(app.UIAxesB_2, 'рад')
zlabel(app.UIAxesB_2, 'Z')
app.UIAxesB_2.CameraPosition = [0.5 0.5 9.16025403784439];
app.UIAxesB_2.CameraViewAngle = 6.60861036031192;
app.UIAxesB_2.DataAspectRatio = [1 1 1];
app.UIAxesB_2.XGrid = 'on';
app.UIAxesB_2.YGrid = 'on';
app.UIAxesB_2.NextPlot = 'replace';
app.UIAxesB_2.Position = [176 25 387 185];
% Create UIAxesMAX_2
app.UIAxesMAX_2 = uiaxes(app.Tab_Prepare);
title(app.UIAxesMAX_2, 'МА X')
xlabel(app.UIAxesMAX_2, 'Времяс')
ylabel(app.UIAxesMAX_2, 'м/с')
zlabel(app.UIAxesMAX_2, 'Z')
app.UIAxesMAX_2.CameraPosition = [0.5 0.5 9.16025403784439];
app.UIAxesMAX_2.CameraViewAngle = 6.60861036031192;
app.UIAxesMAX_2.DataAspectRatio = [1 1 1];
app.UIAxesMAX_2.XGrid = 'on';
app.UIAxesMAX_2.YGrid = 'on';
app.UIAxesMAX_2.NextPlot = 'replace';
app.UIAxesMAX_2.Position = [626 414 387 185];
% Create UIAxesMAY_2
app.UIAxesMAY_2 = uiaxes(app.Tab_Prepare);
title(app.UIAxesMAY_2, 'МА Y')
xlabel(app.UIAxesMAY_2, 'Времяс')
ylabel(app.UIAxesMAY_2, 'м/с')

```

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

```

zlabel(app.UIAxesMAY_2, 'Z');
app.UIAxesMAY_2.CameraPosition = [0.5 0.5 9.16025403784439];
app.UIAxesMAY_2.CameraViewAngle = 6.60861036031192;
app.UIAxesMAY_2.DataAspectRatio = [1 1 1];
app.UIAxesMAY_2.XGrid = 'on';
app.UIAxesMAY_2.YGrid = 'on';
app.UIAxesMAY_2.NextPlot = 'replace';
app.UIAxesMAY_2.Position = [624 223 387 185];
% Create UIAxesMAZ_2
app.UIAxesMAZ_2 = uiaxes(app.Tab_Prepare);
title(app.UIAxesMAZ_2, 'MA Z')
xlabel(app.UIAxesMAZ_2, 'Времяс')
ylabel(app.UIAxesMAZ_2, 'м/с')
zlabel(app.UIAxesMAZ_2, 'Z')
app.UIAxesMAZ_2.CameraPosition = [0.5 0.5 9.16025403784439];
app.UIAxesMAZ_2.CameraViewAngle = 6.60861036031192;
app.UIAxesMAZ_2.DataAspectRatio = [1 1 1];
app.UIAxesMAZ_2.XGrid = 'on';
app.UIAxesMAZ_2.YGrid = 'on';
app.UIAxesMAZ_2.NextPlot = 'replace';
app.UIAxesMAZ_2.Position = [624 24 387 185];
% Create Tab_Params
app.Tab_Params = uitab(app.TabGroup);
app.Tab_Params.Title = 'Параметры';
% Create UITableParNPOE
app.UITableParNPOE = uitable(app.Tab_Params);
app.UITableParNPOE.ColumnName = {'НПОЭ'};
app.UITableParNPOE.RowName = {};
app.UITableParNPOE.Position = [18 108 167 465];
% Create UITableParam
app.UITableParam = uitable(app.Tab_Params);
app.UITableParam.ColumnName = {'X'; 'Y'; 'Z'; 'КУСКО'; 'СКОДК["/с]'};
app.UITableParam.RowName = {};
app.UITableParam.Position = [196 223 419 350];
% Create Cond
app.Cond = uilabel(app.Tab_Params);
app.Cond.Position = [200 70 167 221];
a
% Create AzSNP
app.AzSNP = uilabel(app.Tab_Params);
app.AzSNP.Position = [652 81 136 22];
app.AzSNP.Text = 'Az';
% Create UITableAzOm
app.UITableAzOm = uitable(app.Tab_Params);
app.UITableAzOm.ColumnName = {'Az[°]'; 'ErrAz[']'; 'dW["/с]'; 'Om["/с]';
'OmX["/с]'; 'OmY["/с]'; 'OmZ["/с]'};
app.UITableAzOm.RowName = {};
app.UITableAzOm.Position = [644 107 491 465];
% Create OmegaE
app.OmegaE = uilabel(app.Tab_Params);
app.OmegaE.Position = [870 81 214 22];
app.OmegaE.Text = 'Omega';
% Create nEditFieldLabel
app.nEditFieldLabel = uilabel(app.Tab_Params);
app.nEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.nEditFieldLabel.Position = [149 41 25 22];

```

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

```

app.nEditFieldLabel.Text = 'n';
% Create nEditField
app.nEditField = uieditfield(app.Tab_Params, 'numeric');
app.nEditField.Limits = [1 10];
app.nEditField.RoundFractionalValues = 'on';
app.nEditField.ValueDisplayFormat = '%.0f';
app.nEditField.Position = [189 41 43 22];
app.nEditField.Value = 6;
% Create orSetEditFieldLabel
app.orSetEditFieldLabel = uilabel(app.Tab_Params);
app.orSetEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.orSetEditFieldLabel.Position = [374 41 34 22];
app.orSetEditFieldLabel.Text = 'orSet';
% Create orSetEditField
app.orSetEditField = uieditfield(app.Tab_Params, 'text');
app.orSetEditField.Position = [423 41 100 22];
app.orSetEditField.Value = '[1:42]';

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```

%
app.UITableMinMax = uitab(app.Tab_Params);
app.UITableMinMax.ColumnName = {'T[°]'; 'P[°]'; 'B[°]'; 'abs(Wp) ["/c]'};
app.UITableMinMax.RowName = {'Min'; 'Max'};
app.UITableMinMax.Position = [196 108 419 109];
% Create Tab_Plot3D
app.Tab_Plot3D = uitab(app.TabGroup);
app.Tab_Plot3D.Title = 'Графики';
% Create CheckBoxGrid
app.CheckBoxGrid = uicheckbox(app.Tab_Plot3D);
app.CheckBoxGrid.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @CheckBoxGridValueChanged, true);
app.CheckBoxGrid.Text = 'Grid';
app.CheckBoxGrid.Position = [623 579 45 22];
% Create NGridLabel
app.NGridLabel = uilabel(app.Tab_Plot3D);
app.NGridLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.NGridLabel.Position = [678 579 37 22];
app.NGridLabel.Text = 'NGrid';
% Create EditFieldNGrid
app.EditFieldNGrid = uieditfield(app.Tab_Plot3D, 'numeric');
app.EditFieldNGrid.Limits = [1000 50000];
app.EditFieldNGrid.ValueDisplayFormat = '%.0f';
app.EditFieldNGrid.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @EditFieldNGridValueChanged, true);
app.EditFieldNGrid.Position = [730 579 67 22];
app.EditFieldNGrid.Value = 1000;
% Create TLabel
app.TLabel = uilabel(app.Tab_Plot3D);
app.TLabel.HorizontalAlignment = 'center';
app.TLabel.Position = [1149 404 25 22];
app.TLabel.Text = 'T';
% Create KnobT
app.KnobT = uiknob(app.Tab_Plot3D, 'continuous');
app.KnobT.Limits = [-180 180];
app.KnobT.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @KnobTValueChanged, true);
app.KnobT.Position = [1130 429 60 60];

```

```

% Create PLabel
app.PLabel = uilabel(app.Tab_Plot3D);
app.PLabel.HorizontalAlignment = 'center';
app.PLabel.Position = [1150 290 25 22];
app.PLabel.Text = 'P';
% Create KnobP
app.KnobP = uiknob(app.Tab_Plot3D, 'continuous');
app.KnobP.Limits = [-60 60];
app.KnobP.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @KnobPValueChanged, true);
app.KnobP.Position = [1131 315 60 60];
% Create BLabel
app.BLabel = uilabel(app.Tab_Plot3D);
app.BLabel.HorizontalAlignment = 'center';
app.BLabel.Position = [1154 171 25 22];
app.BLabel.Text = 'B';
% Create KnobB
app.KnobB = uiknob(app.Tab_Plot3D, 'continuous');
app.KnobB.Limits = [-180 180];
app.KnobB.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @KnobBValueChanged, true);
app.KnobB.Position = [1135 196 60 60];
% Create TCheckBox
app.TCheckBox = uicheckbox(app.Tab_Plot3D);
app.TCheckBox.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @TCheckBoxValueChanged, true);
app.TCheckBox.Text = 'T';
app.TCheckBox.Position = [1089 527 29 22];
% Create PCheckBox
app.PCheckBox = uicheckbox(app.Tab_Plot3D);
app.PCheckBox.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @PCheckBoxValueChanged, true);
app.PCheckBox.Text = 'P';
app.PCheckBox.Position = [1121 527 30 22];
% Create BCheckBox
app.BCheckBox = uicheckbox(app.Tab_Plot3D);
app.BCheckBox.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @BCheckBoxValueChanged, true);
;
;
% Create Label_2
app.Label_2 = uilabel(app.Tab_Plot3D);
app.Label_2.HorizontalAlignment = 'right';
app.Label_2.Position = [807 580 74 22];
app.Label_2.Text = 'Ориентации';
% Create EditFieldOr
app.EditFieldOr = uieditfield(app.Tab_Plot3D, 'text');
app.EditFieldOr.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @EditFieldOrValueChanged, true);
app.EditFieldOr.Position = [896 580 318 22];
% Create AxisEqualCheckBox
app.AxisEqualCheckBox = uicheckbox(app.Tab_Plot3D);
app.AxisEqualCheckBox.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @AxisEqualCheckBoxValueChanged, true);
app.AxisEqualCheckBox.Text = 'AxisEqual';
app.AxisEqualCheckBox.Position = [1121 117 75 22];

```

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист 11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		


```

%
%
title(app.UIAxesWx, 'Wx')
xlabel(app.UIAxesWx, 'N op')
ylabel(app.UIAxesWx, '/c')
zlabel(app.UIAxesWx, 'Z')
app.UIAxesWx.Position = [18 473 430 116];
% Create UIAxesWy
app.UIAxesWy = uiaxes(app.Tab_Plot3D);
title(app.UIAxesWy, 'Wy')
xlabel(app.UIAxesWy, 'N op')
ylabel(app.UIAxesWy, '/c')
zlabel(app.UIAxesWy, 'Z')
app.UIAxesWy.Position = [18 341 430 125];
% Create UIAxesWz
app.UIAxesWz = uiaxes(app.Tab_Plot3D);
title(app.UIAxesWz, 'Wz')
xlabel(app.UIAxesWz, 'N op')
ylabel(app.UIAxesWz, '/c')
zlabel(app.UIAxesWz, 'Z')
app.UIAxesWz.Position = [18 215 430 117];
% Create UIAxesErrWp
app.UIAxesErrWp = uiaxes(app.Tab_Plot3D);
title(app.UIAxesErrWp, 'Error Wp')
xlabel(app.UIAxesErrWp, 'N op')
ylabel(app.UIAxesErrWp, '/c')
zlabel(app.UIAxesErrWp, 'Z')
app.UIAxesErrWp.Position = [18 15 430 185];
% Create UIAxes3D
app.UIAxes3D = uiaxes(app.Tab_Plot3D);
title(app.UIAxes3D, '3D')
xlabel(app.UIAxes3D, 'X')
ylabel(app.UIAxes3D, 'Y')
zlabel(app.UIAxes3D, 'Z')
app.UIAxes3D.Position = [471 15 613 557];
% Create Tab_Total
app.Tab_Total = uitab(app.TabGroup);
app.Tab_Total.Title = 'Итоги';
%

```

```

а
app.UItableTotal.ColumnNames = ,
app.UItableTotal.RowName = {};
app.UItableTotal.Position = [37 85 1056 476];
% Create ButtonTotal
app.ButtonTotal = uibutton(app.Tab_Total, 'push');
app.ButtonTotal.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @ButtonTotalPushed, true);
app.ButtonTotal.Position = [85 54 100 22];
app.ButtonTotal.Text = 'Итого';
% Create Tab_Modeling
app.Tab_Modeling = uitab(app.TabGroup);
app.Tab_Modeling.Title = 'Моделирование';
% Create NListBoxLabel
app.NListBoxLabel = uilabel(app.Tab_Modeling);
app.NListBoxLabel.HorizontalAlignment = 'right';

```

```

app.NListBoxLabel.Position = [48 567 31 22];
app.NListBoxLabel.Text = 'N op';
% Create NListBox
app.NListBox = uilistbox(app.Tab_Modeling);
app.NListBox.Items = {};
app.NListBox.ItemsData = 2;
app.NListBox.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @NListBoxValueChanged, true);
app.NListBox.Position = [34 353 59 205];
app.NListBox.Value = {};
% Create ButtonGroup
app.ButtonGroup = uibuttongroup(app.Tab_Modeling);
app.ButtonGroup.Title = 'Типграфика';
app.ButtonGroup.Position = [34 255 100 78];
% Create ButtonErr
app.ButtonErr = uiradiobutton(app.ButtonGroup);
app.ButtonErr.Text = 'Ошибка';
app.ButtonErr.Position = [11 29 67 22];
app.ButtonErr.Value = true;

% Create ButtonVal
app.ButtonVal = uiradiobutton(app.ButtonGroup);
;
;
% Create UIAxesI
app.UIAxesI = uiaxes(app.Tab_Modeling);
title(app.UIAxesI, 'ДКТ')
xlabel(app.UIAxesI, 'Времяс')
ylabel(app.UIAxesI, 'рад')
zlabel(app.UIAxesI, 'Z')
app.UIAxesI.PlotBoxAspectRatio = [2.61728395061728 1 1];
app.UIAxesI.XGrid = 'on';
app.UIAxesI.YGrid = 'on';
app.UIAxesI.NextPlot = 'replace';
app.UIAxesI.Position = [176 414 387 185];
% Create UIAxesP
app.UIAxesP = uiaxes(app.Tab_Modeling);
title(app.UIAxesP, 'ДКВ')
xlabel(app.UIAxesP, 'Времяс')
ylabel(app.UIAxesP, 'рад')
zlabel(app.UIAxesP, 'Z')
app.UIAxesP.CameraPosition = [0.5 0.5 9.16025403784439];
app.UIAxesP.CameraViewAngle = 6.60861036031192;
app.UIAxesP.DataAspectRatio = [1 1 1];
app.UIAxesP.XGrid = 'on';
app.UIAxesP.YGrid = 'on';
app.UIAxesP.NextPlot = 'replace';
app.UIAxesP.Position = [176 219 387 185];
% Create UIAxesB
app.UIAxesB = uiaxes(app.Tab_Modeling);
title(app.UIAxesB, 'ДКТ')
xlabel(app.UIAxesB, 'Времяс')
ylabel(app.UIAxesB, 'рад')
zlabel(app.UIAxesB, 'Z')
app.UIAxesB.CameraPosition = [0.5 0.5 9.16025403784439];
app.UIAxesB.CameraViewAngle = 6.60861036031192;

```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

					27.03.04.2021. 203.03.162 ПЗ ВКР	Лист
						84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		