

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 27.04.01 Стандартизация и метрология  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Измеритель моментов инерции роторов-маховиков</b>

УДК 681.2:531.23:62-25

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ81	Михеева Валерия Андреевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Казаков Вениамин Юрьевич	к.ф.-м.н, с.н.с		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер по метрологии 1 кат. «АО «НПЦ Полюс»	Вергасов Олег Юрьевич	-		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко Михаил Владимирович	К. Т. Н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., профессор		

Томск – 2020 г.

**Планируемые результаты обучения по направлению  
27.04.01 «Стандартизация и метрология»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения комплексных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения
P2	Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, определять номенклатуру измеряемых и контролируемых параметров, устанавливать оптимальные нормы точности и достоверности контроля, выбирать средства измерений и контроля, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа
P3	Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: по созданию проектов стандартов, методических и нормативных материалов и технических документов, по нормоконтролю и экспертизе технической документации, участвовать в проведении сертификации продукции, услуг, систем качества и систем экологического управления предприятием, участвовать в аккредитации органов по сертификации, измерительных и испытательных лабораторий
P4	Выполнять работы в области контроля и управления качеством: участвовать в оперативной работе систем качества, анализировать оценку уровня брака и предлагать мероприятия по его предупреждению и устранению, участвовать в практическом освоении систем менеджмента качества
P5	Использовать базовые знания в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; проводит анализ затрат на обеспечение требуемого качества и деятельности подразделения, проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений
<b>Универсальные компетенции</b>	
P6	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности
P9	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 27.04.01 Стандартизация и метрология  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ С.В. Муравьев  
 (Подпись)     (Дата)     (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>магистерской диссертации</b> (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
---

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ81	Михеевой Валерии Андреевне

Тема работы:

Измеритель моментов инерции роторов-маховиков	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№59-40/с от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Опытный образец установки измерителя момента инерции роторов-маховиков «ИМИР».</li> <li>2 Принципиальная электрическая схема счетчика «ИМИР».</li> <li>3 Перечень элементов счетчика «ИМИР».</li> <li>4 Конструкторская и технологическая документация на механическую установку «ИМИР».</li> </ol>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Обзор научно-исследовательских публикаций в области механики, в частности область динамики. Поиск патентов и обзор установок, измеряющих момент инерции.</li> <li>2 Анализ актуальности выбранной тематики. Описание системы ориентации и стабилизации КА. Описание недавно разработанного двигателя-маховика, на котором используются контролируемые маховики.</li> </ol>

	<p>3 Описание инструкции измерения момента инерции, проводимые с помощью «ИМИР».</p> <p>4 Выявления проблем в области метрологического обеспечения процесса измерения массово-инерционных характеристик. Определение метрологического обеспечения измерителя момента инерции роторов-маховиков «ИМИР».</p> <p>5 Разработка методики испытаний и технического условия ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ на измеритель моментов инерции роторов-маховиков «ИМИР».</p> <p>6 Расчет надежности эксплуатационной безотказности элементов счетчика «ИМИР».</p>
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	В.Ю. Конотопский
Социальная ответственность	М.В. Горбенко
Раздел, выполненный на английском языке	И.Л. Пичугова
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Ротор-маховик в системе ориентации и стабилизации космического аппарата The flywheel rotor in the spacecraft orientation and stabilization system	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	17.02.2020 г.
---	---------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер по метрологии 1 кат. «АО «НПЦ Полюс»	Вергасов Олег Юрьевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ81	Михеева Валерия Андреевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ГМ81	Михеевой Валерии Андреевне

<b>Инженерная школа</b>	<b>Инженерная школа информационных технологий и робототехники</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Отделение автоматизации и робототехники</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Магистратура</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>27.04.01 «Стандартизация и метрология»</b>

Тема ВКР:

Измеритель моментов инерции роторов-маховиков «ИМИР»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	-
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Единый социальный налог 30 %; НДС 20 %

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Дать характеристику существующих и потенциальных потребителей (покупателей) результатов ВКР, ожидаемых масштабах их использования
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Разработать проект такого устава в случае, если для реализации результатов ВКР необходимо создание отдельной организации или отдельного структурного подразделения внутри существующей организации
3. <i>Построение процесса управления НТИ: структуры и графика проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результатов ВКР
4. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка экономической эффективности использования результатов ВКР, характеристика других видов эффекта

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

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка

3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НИИ - выполнить
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ - выполнить
8. Потенциальные риски

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н., доцент		17.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ81	Михеева Валерия Андреевна		17.02.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 8ГМ81	ФИО Михеевой Валерии Андреевны
-----------------	-----------------------------------

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 «Стандартизация и метрология»

Тема ВКР:

Измеритель моментов инерции роторов-маховиков

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером. Данные условия необходимы для патентного поиска, обоснования актуальности введения в эксплуатацию нового стенда для измерения момента инерции и дальнейшей разработки документации на исследуемое средство измерения. Объектом исследования является измеритель моментов инерции роторов-маховиков «ИМИР».</p>
---	--

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

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b></p>	<p>Обзор специальных правовых норм ТК РФ и рекомендаций по организационным мероприятиям при компоновке рабочей зоны.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p>Анализ выявленных вредных факторов производственной среды, таких как:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>- отклонение показателей микроклимата;</li> <li>- повышенный уровень электромагнитных излучений;</li> <li>- повышенный уровень шума;</li> <li>- психофизические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность работы).</li> </ul>

	Анализ выявленных опасных факторов производственной среды, таких как: - электробезопасность.
<b>3. Экологическая безопасность</b>	Анализ воздействия объекта на литосферу. Отходы, связанные с поломкой или утилизацией персонального компьютера, измерителя моментов инерции роторов-маховиков. Утилизация люминесцентных ламп.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	Защита в чрезвычайных ситуациях: - наиболее возможное ЧС при данных рабочих условиях – пожар; - обзор возможных источников пожара и предотвращение их появлений; - обзор способов обеспечения пожарной безопасности.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	17.02.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко Михаил Владимирович	к. т. н.		17.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ81	Михеева Валерия Андреевна		17.02.2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 27.04.01 Стандартизация и метрология  
 Уровень образования – Магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения – осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года  
 Форма представления работы:

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2020 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.12.19	Обзор научно-исследовательских публикаций в области механики, в частности область динамики. Поиск патентов и обзор установок, измеряющих момент инерции.	5
10.01.20	Анализ актуальности выбранной тематики. Описание системы ориентации и стабилизации КА. Описание недавно разработанного двигателя-маховика, на котором используются контролируемые маховики.	5
01.02.20	Описание инструкции измерения момента инерции, проводимые с помощью «ИМИР».	10
01.03.20	Выявления проблем в области метрологического обеспечения процесса измерения массово-инерционных характеристик. Определение метрологического обеспечения измерителя момента инерции роторов-маховиков «ИМИР».	15
01.04.20	Разработка методики испытаний и технического условия ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ на измеритель моментов инерции роторов-маховиков «ИМИР».	15
01.05.20	Расчет надежности эксплуатационной безотказности элементов счетчика «ИМИР».	15
01.06.2020	Социальная ответственность	10
01.06.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
01.06.2020	Раздел на английском языке	10
15.06.2020	Оформление расчетно-пояснительной записки	5

**СОСТАВИЛ:****Консультант**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер по метрологии 1 кат. «АО «НПЦ Полюс»	Вергасов Олег Юрьевич			

**СОГЛАСОВАНО:****Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., профессор		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 167 страниц, 12 рисунков, 14 таблиц, 33 источника, 4 приложения.

Ключевые слова: момент инерции, ротор-маховик, система ориентации и стабилизации, испытательное оборудование, методика испытаний, техническое условие.

Актуальность работы заключается в повышении уровня метрологического обеспечения полу-автоматической установки, предназначенной модернизировать процесс измерения момента инерции роторов-маховиков в АО «НПЦ «Полюс».

Объектом исследования являются методы испытаний полу-автоматизированных установок контроля массово-инерционных характеристик.

Предметом исследования является измеритель момента инерции роторов-маховиков «ИМИР».

Цель работы: повышение уровня метрологического обеспечения процесса контроля инерционных характеристик роторов-маховиков в объеме разработки методики испытаний при предъявительских, приемо-сдаточных и типовых испытаниях и оформления соответствующего документа, технического условия.

В процессе выполнения работы были выполнены следующие задачи: теоретическое обоснование современных проблем контроля массово-инерционных характеристик роторов-маховиков, входящих в систему ориентации и стабилизации КА, расчет эксплуатационной безотказности элементов счетчика «ИМИР», разработка методики измерений и методики испытаний на «ИМИР».

В результате выполнения магистерской диссертации было разработано техническое условие на измеритель момента инерции роторов-маховиков «ИМИР».

Область применения разработанного технического условия— метрологического обеспечения при проведении испытаний испытательного оборудования в отделе главного метролога АО «НПЦ «Полюс».

## Определения

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**метрологическое обеспечение измерений:** Систематизированный, строго определенный набор средств и методов, направленных на получение измерительной информации, обладающей свойствами, необходимыми для выработки решений по приведению объекта управления в целевое состояние [12];

**испытание:** Экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий [13];

**испытательное оборудование:** Средство испытаний, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения условий испытаний [13];

**надежность:** Свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [16];

**вероятность безотказная работы:** Вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет [16].

## Обозначения и сокращения

АО – акционерное общество;

И – излучатель;

КА – космический аппарат;

МИ – момент инерции;

НИР – научно-исследовательская работа;

НПЦ – научно-производственный центр;

ОКР – опытно-конструкторская работа;

ОТК – отдел технического контроля;

ПК – персональный компьютер;

ПО – программное обеспечение;

РЭУ – радиоэлектронные устройства;

ТУ – технические условия;

ФП – фотоприёмник.

## Содержание

	С.
Введение	18
1 Ротор-маховик в системе ориентации и стабилизации космического аппарата	21
1.1 Система ориентации и стабилизации космического аппарата	21
1.2 Двигатели-маховики	21
1.3 Актуальность совершенствования систем контроля массово-инерционных характеристик роторов-маховиков	26
1.4 Выводы к главе	27
2 Измерение момента инерции	29
2.1 Момент инерции	29
2.2 Методы измерения момента инерции	31
2.2.1 Вращательные методы определения момента инерции	31
2.2.2 Маятниковые методы определения момента инерции	34
2.3 Выводы к главе	34
3 Измеритель моментов инерции роторов-маховиков	36
3.1 Модернизация процесса измерения момента инерции	36
3.2 Метрологическое обеспечение «ИМИР»	41
3.3 Выводы к главе	46
4 Разработка технической документации	48
4.1 Разработка технического условия	48
4.2 Расчет надежности	54
4.3 Выводы к главе	62
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
5.1 Организация и планирование НИР	63
5.1.1 Определение трудоемкости выполнения работ	65
5.1.2 Разработка графика проведения научного исследования	65
5.2 Расчет сметы на выполнения проекта	67

5.2.1	Расчет материальных затрат НТИ	67
5.2.2	Расчет заработной платы исполнителей темы	68
5.2.3	Расчет затрат на социальный налог	69
5.2.4	Расчет затрат на электроэнергию	70
5.2.5	Расчет амортизации расходов	71
5.2.6	Расчет прочих расходов	73
5.2.7	Расчет бщей себестоимости разработки	73
5.3	Оценка экономической эффективности работы	74
5.4	Выводы к главе	74
6	Социальная ответственность	76
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
6.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	77
6.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	77
6.2	Производственная безопасность	78
6.2.1	Анализ вредных и опасных факторов	78
6.2.1.1	Микроклимат	79
6.2.1.2	Повышенный уровень электромагнитных излучений	81
6.2.1.3	Повышенный уровень шума на рабочем месте	82
6.2.1.4	Недостаточная освещенность рабочей зоны и расчет искусственного освещения	83
6.2.1.5	Психофизические факторы	85
6.2.1.6	Электробезопасность	86
6.3	Экологическая безопасность	88
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
6.5	Выводы к главе	91
	Заключение	92
	Список использованных источников	94
	Приложение А (справочное) The flywheel rotor in the spacecraft orientation and stabilization system	98

Приложение Б (обязательное) Технические условия на измеритель момента инерции роторов-маховиков «ИМИР»	112
Приложение В (обязательное) Расчет эксплуатационной безотказности элементов счетчика «ИМИР»	163
Приложение Г (обязательное) Временные показатели проведения научного исследования	165
Приложение Д (обязательное) Календарный план-график проведения НИР	166

## Введение

Система ориентации представляет собой сложную автоматическую систему, в которой объектом управления является космический аппарат. Известны реактивные, маховичные и гиросиловые системы ориентации. Свое название они получили от исполнительных органов, создающих управляющие моменты: реактивных двигателей, электродвигателей-маховиков и силовых гироскопов. Ограниченность запасов реактивного топлива и мощности бортовых источников питания предъявляет высокие требования к экономичности системы ориентации. Система должна оптимизироваться не только по общепринятым показателям качества для систем управления, таким как точность ориентации, время переходных процессов, полоса пропускания, надежность, но также по расходам реактивного топлива и электроэнергии бортовых источников питания. Выбор того или иного типа системы ориентации в значительной степени определяется ее показателями экономичности и надежности.

Маховичные системы в отличие от реактивных систем используют для работы не реактивное топливо, а электроэнергию, запасы которой на борту восполняются при помощи солнечных батарей. Маховичные системы широко применяются на метеорологических спутниках Земли и космических аппаратах для исследования природных ресурсов [1].

Каждый ротор-маховик, установленный на космическом аппарате (далее – КА), имеет строго установленные параметры, начиная с геометрических и заканчивая параметрами вращения. Уклонение от них может негативно сказаться на управлении КА и в последствие привести к катастрофе.

Таким образом, в настоящее время актуально создание полу-автоматизированных измерительно вычислительных комплексов контроля, обеспечивающих высокие показатели точности.

Цель работы – повышение уровня метрологического обеспечения процесса контроля инерционных характеристик роторов-маховиков в объеме

разработки методики испытаний при предъявительских, приемо-сдаточных и типовых испытаниях и оформления соответствующего документа, технического условия.

Объект исследования – методы испытаний полу-автоматизированных установок контроля инерционных характеристик.

Предмет исследования – измеритель момента инерции роторов-маховиков «ИМИР» (далее – «ИМИР»).

В соответствии с поставленной целью были решены следующие задачи.

1 Обзор научно-исследовательских публикаций в области механики, в частности область динамики. Поиск патентов и обзор установок, измеряющих момент инерции.

2 Анализ актуальности выбранной тематики. Описание системы ориентации и стабилизации КА. Описание недавно разработанного двигателя-маховика, на котором используются контролируемые маховики.

3 Описание инструкции измерений момента инерции, проводимые с помощью «ИМИР».

4 Выявления проблем в области метрологического обеспечения процесса измерения массово-инерционных характеристик. Определение метрологического обеспечения «ИМИР».

5 Разработка методики испытаний и технического условия ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ на «ИМИР».

6 Расчет надежности эксплуатационной безотказности элементов счетчика «ИМИР».

Научная и практическая значимость:

— теоретически обоснована актуальность совершенствования систем контроля массово-инерционных характеристик роторов-маховиков, входящих в систему ориентации и стабилизации космических аппаратов;

— разработана инструкция измерения момента инерции роторов-маховиков на полу-автоматизированной разработанной установке «ИМИР»;

— теоретически обосновано метрологическое обеспечение «ИМИР», в объеме методики испытаний, реализующие проверку соответствия характеристик «ИМИР» требованиям единства и необходимой точности измерений;

— разработано техническое условие на «ИМИР»;

— проведен расчёт эксплуатационной безотказности элементов счетчика «ИМИР».

Разработанная документация будет присоединена к комплекту технической документации на «ИМИР». Предъявительские, приемо-сдаточные испытания «ИМИР» будут проводиться по разработанной методике, после положительных результатов которых «ИМИР» введут в эксплуатацию на АО «НПЦ «Полус».

# **1 Ротор-маховик в системе ориентации и стабилизации космического аппарата**

## **1.1 Система ориентации и стабилизации космического аппарата**

Термин «космические аппараты» объединяет искусственные спутники Земли и других планет, орбитальные и межпланетные станции, космические аппараты, транспортные аппараты снабжения. Автоматические спутники, преобладающие по количеству среди космических аппаратов, наблюдают за поверхностью Земли и облачным покровом, осуществляют связь и ретрансляцию телевизионных сигналов, решают навигационные задачи, исследуют космическое пространство и далекие астрономические объекты.

Движущийся в космическом пространстве аппарат испытывает слабое воздействие со стороны внешней окружающей среды. Большую часть времени его полет происходит вне плотных слоев атмосферы, с выключенными двигателями, под действием сил всемирного тяготения. В таких условиях движение центра масс КА и движение вокруг центра масс становятся независимыми друг от друга [1].

Современные конфигурации КА имеют в своем составе системы ориентации и стабилизации, которые представляют собой сложные системы, построенные с использованием точного оборудования. Данные системы обеспечивает движение центра масс по заданной траектории полета, заданное угловое положение и угловые скорости КА, и его исполнительных органов [2]. После того, как КА выведен на орбиту, движение центра масс КА эпизодически контролируется в течение коротких периодов времени. Примером такой системы является двигатель-маховик, который создает динамические управляющие моменты по трем осям связанных с системой координат КА.

## **1.2 Двигатели-маховики**

Электромеханические исполнительные органы предназначены для формирования управляющих динамических и гироскопических моментов по осям стабилизации КА.

Область применения – космические аппараты дистанционного зондирования Земли, метеорологические спутники, аппараты космической связи, телевидения и навигации [3].

Двигатель-маховик (далее - ДМ) обладает одной степенью свободы движения, связанной с его вращением вокруг оси симметрии (рисунок 1).

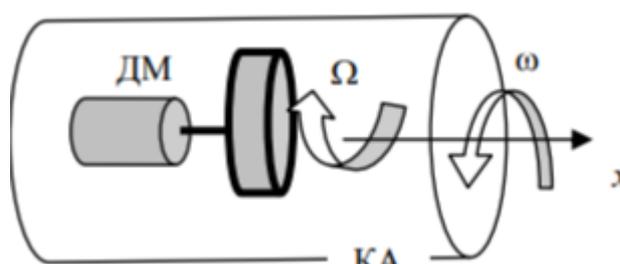


Рисунок 1 – Электродвигатель-маховик

Двигатели-маховики выполнены на основе управляемого моментного бесконтактного двигателя постоянного тока.

Двигатель-маховик представляет собой электродвигатель специальной конструкции, у которого инерционная нагрузка – маховик используется для управления угловым положением КА. Такое устройство иногда называют реактивным или инерционным маховиком. Электродвигатель обеспечивает реверсивное вращение и торможение ротора-маховика. В зависимости от управляющего сигнала на входе двигателя-маховика, величина управляющего (вращающего) момента будет плавно изменяться в заданном диапазоне.

Конструктивное исполнение двигателей-маховиков отличается большим разнообразием. Установка маховика в виде сплошного диска на выходном валу обычного электродвигателя имеет существенный недостаток – нерациональное использование инерционной массы, расположенной вблизи вала электродвигателя. Этого недостатка удастся избежать при использовании

обращенной конструкции электродвигателя, когда ротор находится снаружи статора, т. е. электродвигатель как бы встроен в маховик [1].

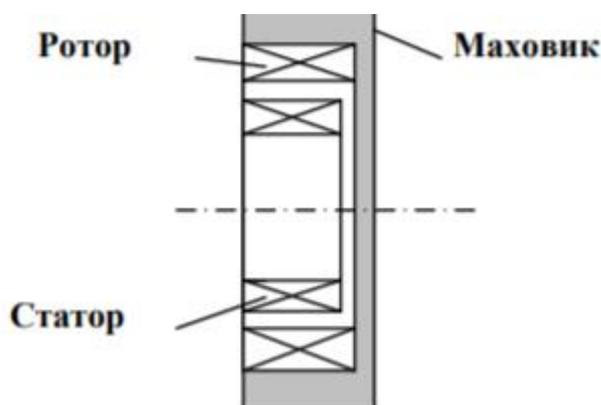


Рисунок 2 – Обращенная конструкция ДМ

Изменение кинетического момента маховика осуществляется регулированием числа оборотов двигателя. Вращение маховика с моментом инерции  $J_M$  под действием полного регулирующего момента статора электродвигателя  $M_M$  описывается уравнением (1)

$$J_M (\Omega' + \omega') = M_M, \quad (1)$$

где  $\Omega$  – скорость маховика относительно корпуса космического аппарата;

$\omega$  – скорость вращения космического аппарата.

В АО «НПЦ «Полюс» разработан малоразмерный двигатель-маховик, пригодный для применения в составе малых КА. Согласно приведенным данным на сайте АО «НПЦ «Полюс» [3] разработанный двигатель-маховик применяется во многих составах малых КА.

Например, космическая платформа «НТ-100», предназначенная для проектирования и изготовления малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли.

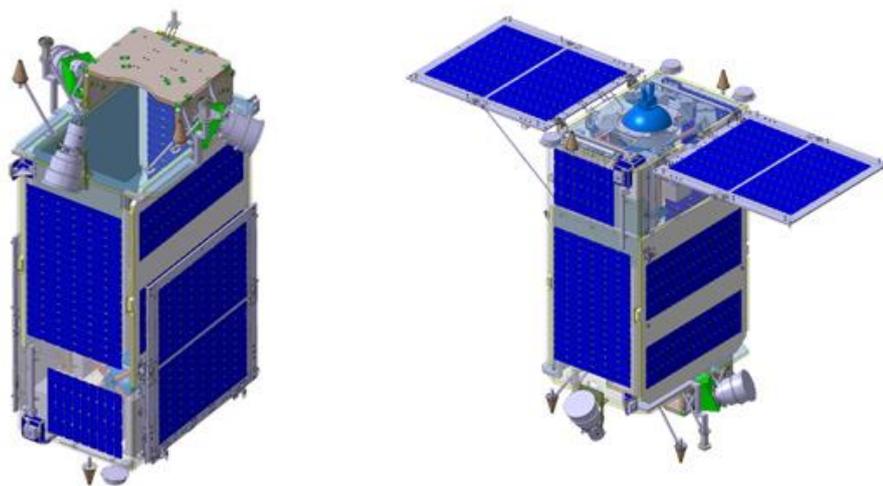


Рисунок 3 – Космическая платформа «НТ-100» в стартовом и рабочем положениях

Корпус разработанного двигателя-маховика выполнен в виде квадратного основания. Его посадочная поверхность технологически подготовлена под установку на космическом аппарате и имеет четыре технологических отверстия под крепеж, расположение которых исключает неоднозначность установки малого двигателя-маховика. На диске маховика закреплены активные части двигателя-маховика, которые состоят из двух индукторов - внешнего и внутреннего. На внешнем припаяны магниты из сплава «самарий-кобальт». Перед пайкой магниты подбираются по значению магнитного потока. Обмотка статора расположена на диэлектрическом каркасе. Вал ротора-маховика установлен на наружных кольцах прецизионных радиально-упорных шарикоподшипников, зажатых в осевом направлении фланцами. Внутренние кольца подшипников закреплены непосредственно на центральной оси ротора с натягом и зафиксированы гайкой.

Роторная система малоразмерного двигателя-маховика состоит из ротора-маховика, индукторов, магнитов, датчика углового положения и оси, на которой установлены внутренние кольца шарикоподшипников.

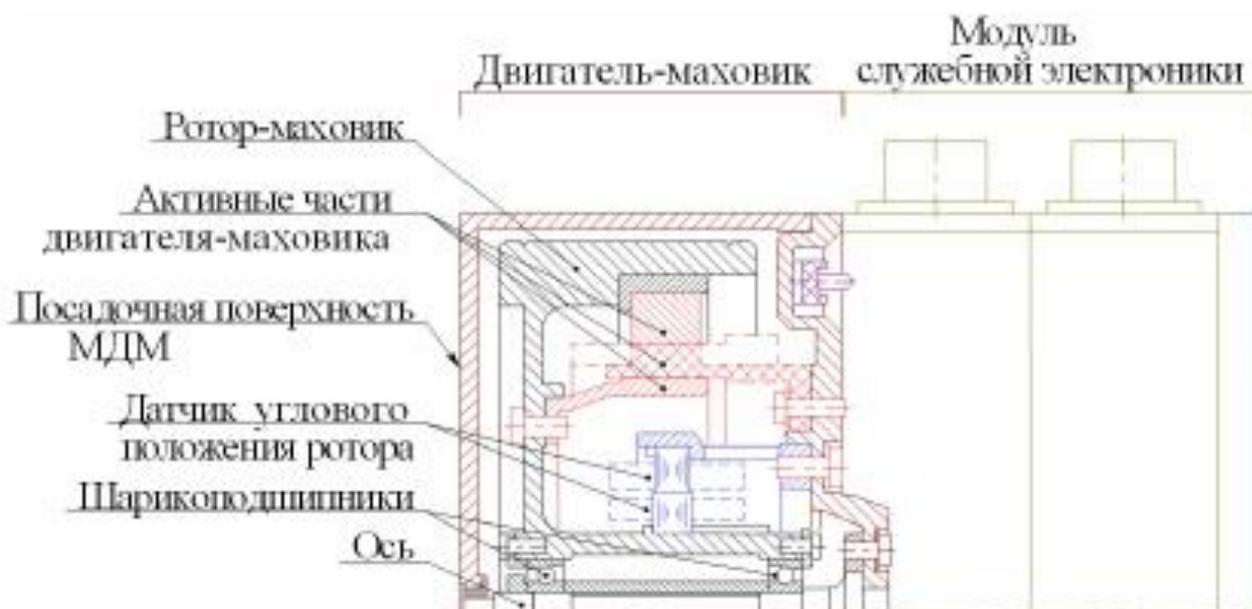


Рисунок 4 – Меридианное сечение малоразмерного двигателя-маховика

Внешний индуктор синхронной машины представляет собой втулку с припаянными магнитами, внутренний индуктор – втулку. Обе втулки выполнены из магнитопроводящей стали. Втулки крепятся болтами к маховику. В зазоре между магнитами и внутренним индуктором расположен немагнитный каркас, в пазы которого уложена обмотка.

Наиболее опасен момент остаточной неуравновешенности роторной системы, так как динамические нагрузки напрямую связаны с уровнем контактных напряжений между шариками и дорожками качения. При достижении значительных напряжений возможно усталостное выкрашивание дорожек и тел качения. Кроме того, давление из-за дисбаланса вала маховика неизбежно вызывает силы трения и, следовательно, выделение тепла, что приводит к росту момента сопротивления вращению ротора, а также ускоряет процесс старения смазки. В соответствии с общими требованиями к роторной системе она подвергалась динамической балансировке, поскольку только так устраняются все виды неуравновешенности с необходимой точностью.

Для проведения динамической балансировки ротор ДМ имеет две плоскости коррекции, расположенные на ободу маховика в местах наибольшего

удаления от оси вращения. Балансировка проводится путем удаления материала лазерным лучом в зонах кольцевых проточек плоскостей коррекции [4].

### **1.3 Актуальность совершенствования систем контроля массово-инерционных характеристик роторов-маховиков**

При сборке и изготовлении двигателей-маховиков, обычно возникает задача точного определения массово-инерционных характеристик роторов-маховиков. Стремление повысить эксплуатационную эффективность и снизить вероятность появления отклонений от нормальных условий работы двигателей-маховиков, что в свою очередь может привести к аномальному режиму полета КА, требует в свою очередь качественной балансировки аппарата при изготовлении и сборки с обеспечением указанных стандартов статической и моментной балансировки [5].

В настоящее время точность теоретического расчета значений массово-инерционных характеристик, как правило, получаемых на этапе проектирования КА, составляет от 5 до 20 % и более в зависимости от их фактических значений [6]. Одной из причин отклонения фактических характеристик от расчетных значений может быть наличие случайных погрешностей в характеристиках элементов оборудования, которые неизбежно возникают на этапах изготовления и сборки КА. Очевидно, что повышение требований к точности сборки КА на основе результатов теоретического расчета массово-инерционных характеристик до десятых и сотых долей процента, потребует использование дополнительных прецизионных контрольно-измерительных оборудования.

Так как при современном уровне развитии техники производство прецизионного оборудования является дорогостоящим, что в свою очередь ведет к увеличению себестоимости изготавливаемых КА, то для определения массово-инерционных характеристик обычно используют экспериментальные

или расчетно-экспериментальные методы. Так для определения момента инерции тел вращений, распространённым методом является метод перевернутого унифиляра благодаря удобству и простоте размещения изделия на измерительном столе установки и удобству доступа к штатной плоскости коррекции. Последующий расчет отклонения от заданных массово-инерционных параметров выполняется по специальным методикам, с использованием результатов, полученных на контрольно-измерительных установках.

На практике процесс определения массово-инерционных характеристик всех необходимых компонентов одного КА на контрольно-измерительных установках может занимать от одной рабочей смены до нескольких, и это не считая длительность процесса приведения массово-инерционных параметров к заданным по документации и дальнейшую повторную проверку. Вышеуказанные обстоятельства придают данной задаче актуальность дальнейшего усовершенствования и модернизации контрольно-измерительного оборудования, предназначенного для определения и обеспечения массово-инерционных характеристик КА.

#### **1.4 Выводы к главе**

Современные конфигурации КА имеют системы ориентации и стабилизации, измеряющие и определяющие угловое положение и угловые скорости КА, и его исполнительных органов. Одним из таких исполнительных механизмов является двигатель-маховик, который создает динамические управляющие моменты по системе координат КА. Функцию маховой массы двигателя-маховика выполняет ротор-маховик. Конструкция ротора-маховика представлена в виде диска с расположенными на нем постоянными магнитами.

Экспериментальный контроль массово-инерционных характеристик на заключительном этапе сборки КА осуществляется с использованием

специализированных испытательных и контрольно-измерительных установок, учитывающих конструктивные особенности аппаратов. Низкие характеристики точности и производительности таких установок не позволяют повысить точность контроля массово-инерционных характеристик, что делает актуальной задачу модернизации конструкции установок и методического обеспечения для измерений характеристик с целью уменьшения продолжительности экспериментальной работы и повышения точности определения характеристик.

Так как в лабораторных условиях необходимо контролировать управляющий момент двигателей-маховиков, в последующей главе будет рассмотрено математическое объяснение зависимости управляющего момента двигателя-маховика от момента инерции.

## 2 Измерение момента инерции

### 2.1 Момент инерции

Вращение корпуса двигателя-маховика осуществляется в соответствии с законом сохранения кинетического момента (2):

$$M_{\text{упр}} = \frac{dH}{dt} = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = J \cdot \alpha, \quad (2)$$

где  $H$  – кинетический момент маховика;

$J$  – момент инерции вращающихся элементов;

$\Omega$  – угловая скорость вращения маховика;

$\alpha$  – угловое ускорение электродвигателя [7].

Из данного уравнение можно заключить, что управляющий момент, прикладываемый к корпусу КА, зависит от момента инерции ротора-маховика [8].

Ротор-маховик представляет собой абсолютное твердое тело, состоящее из  $N$  материальных точек. Момент материальной точки вычисляется как произведение элементарной массы на ее координаты в некоторой степени. Учение об этих величинах носит название геометрии масс. В динамике абсолютно твердого тела используются моменты второй степени.

Мерой инерции материальной точки служит скалярная физическая величина масса ( $m$ ) – коэффициент пропорциональности между ускорением и величиной приложенной к точке силы в формулировке второй аксиомы классической механики [7].

Момент инерции массы является вращательным аналогом массы и является мерой распределения массы вокруг оси.

Масса твердого тела ( $M$ ) есть мера его инерции при поступательном движении и равна сумме масс, составляющих его точек ( $N$ ), по формуле (3):

$$M = \sum_{i=1}^N m_i. \quad (3)$$

Описать движения твердого тела невозможно, зная только его массу, также необходимо обладать информацией о распределении масс точек тела в

пространстве. Характеризующие это распределение величины – моменты масс (первой и второй степени) для твердых тел определяются, как суммы произведений масс точек на однородную функцию их линейных декартовых координат  $x, y, z$ . Моменты масс первой степени – статические моменты относительно координатных плоскостей ( $S_{0yz}, S_{0xz}, S_{0xy}$ ) по формуле (4):

$$S_{0yz} = \sum_{k=1}^N m_k x_k; S_{0xz} = \sum_{k=1}^N m_k y_k; S_{0xy} = \sum_{k=1}^N m_k z_k. \quad (4)$$

Центр масс твердого тела в классической механики – точка координаты которой равны отношению соответствующих статических моментов тела к его массе. Координаты центра масс вычисляются согласно соотношению (3), и могут быть рассчитаны в любой связанной с телом системе координат, описывая при этом одну и ту же точку в пространстве [8] по формулам (5):

$$x_0 = \frac{S_{0yz}}{M}; y_0 = \frac{S_{0xz}}{M}; z_0 = \frac{S_{0xy}}{M}. \quad (5)$$

Момент масс второй степени оказывают влияние на вращательное движение тела. Осевые моменты инерции относительно координатных осей  $J_{xx}, J_{yy}, J_{zz}$  и центробежными моментами инерции относительно координатных плоскостей  $J_{yz}, J_{xz}, J_{xy}$  [9] классифицируются, как динамические параметры геометрии масс по формулам (6):

$$J_{xx} = \sum_{k=1}^N m_k (y_k^2 + z_k^2); J_{yy} = \sum_{k=1}^N m_k (x_k^2 + z_k^2); J_{zz} = \sum_{k=1}^N m_k (x_k^2 + y_k^2); \quad (6)$$

$$J_{yz} = \sum_{k=1}^N m_k x_k^2; J_{xz} = \sum_{k=1}^N m_k y_k^2; J_{xy} = \sum_{k=1}^N m_k z_k^2.$$

Обладая знаниями о величинах осевых и центробежных моментах инерции, можно вычислить момент инерции относительно любой оси в пространстве [9].

Следовательно, для управления движением и обеспечения устойчивости системы измерение момента инерции вращательных элементов системы

необходимая процедура в испытательном цикле двигателя-маховика при его конструировании и сборке.

Работа по модернизации или разработки установки для измерения момента инерции требует выбора метода измерения момента инерции, а для этого необходимо проанализировать классификации существующих методов измерений момента инерции.

## **2.2 Методы измерения момента инерции**

Существует два принципиально разных способа определения момента инерции: аналитический и экспериментальный. Если деталь изготовлена из однородного материала и имеет простую, правильную геометрию актуально выбрать аналитический метод. Существует несколько специальных программ, которые наиболее удобно позволяют с высокой степенью точности рассчитать момент инерции деталей: T-PLEX CAD, SolidWorks, «Компас» и др. Чтобы рассчитать момент инерции ротора-маховика (или другой необходимой детали) потребуется построить ее 3D-модель. Что естественно потребует некоторого количества времени и сил от работника. Также, на практике детали редко имеют простую форму. В случае определения момента инерции роторов-маховиков аналитический способ расчёта момента инерции не подходит, так как ротор-маховик имеет сложную форму и расчет необходимо произвести быстро с требуемой высокой точностью. Поэтому, в этом случае следует использовать экспериментальный путь, который обладает высокой точностью даже для сложных деталей и сборочных единиц [10].

Для экспериментального определения момента инерции тел было разработано множество методов и создано большое количество специальных приборов и установок [11]. Их также можно разделить на две группы: вращательные и маятниковые.

### **2.2.1 Вращательные методы определения момента инерции**

Известен динамический метод, основанный на принципах работы машины Атвуда (рисунок 5).

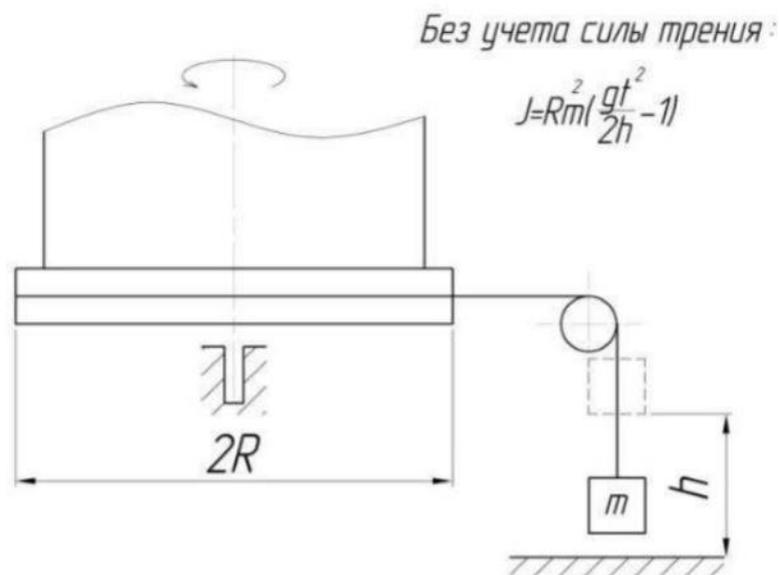


Рисунок 5 – Схема измерения по принципу Атвуда

Платформа станда, на которую устанавливается изделие, может вращаться вокруг своей оси. На нее намотана нить, на которой закреплен груз с известной массой  $m$ . Момент инерции изделия рассчитывается по измеренному времени падения груза с высоты  $h$ . Набор статистических данных требует многократного повторения измерений, что существенно превышает трудоемкость процесса.

Широкое распространение получил метод, основанный на принципе работы станка для динамической балансировки с вертикальной осью вращения. Платформа с изделием приводится в свободное вращение, с помощью датчиков силы измеряется динамические реакции, по которым вычисляют центробежные моменты инерции. Для измерения момента инерции относительно оси вращения прикладывается тормозящий момент известной величины и измеряется отрицательная величина углового ускорения. Коэффициент

пропорциональности между тормозящим моментом и ускорением и есть искомый момент инерции.

### **2.2.2 Маятниковые методы определения момента инерции**

Широкое экспериментальное применение получили маятниковые способы определения момента инерции. Эти методы предполагают придание системе стэнда с объектом измерения колебательного движения. Расчет величины момента инерции определяются по измеренным параметрам колебаний.

Обычно для получения простых аналитических формул для расчета момента инерции, искомая величина оценивается по периодам установившихся колебаний.

Маятниковый метод колебаний нитяного подвеса: измерение периода колебания изделия, подвешенного на гибких тросах относительно вертикальной оси. Известны способы реализации данного метода с двумя (бифиляр), тремя (трифиляр) и большим количеством тросов (мультифиляр). Метод обладает низкой точностью ввиду отсутствия надежного базирования оси колебаний.

Метод физического маятника: изделие подвешивается за неподвижную ось таким образом, что находится в устойчивом положении равновесия, вблизи которого совершает малые колебания. Момент инерции рассчитывается по периоду этих колебаний.

В наше время распространённый метод определения момента инерции – метод колебаний с упругой связью. Платформа стэнда с установленным на нее изделием соединена с подвижным основанием с помощью упругого элемента, в качестве которого обычно выступают пружинные конструкции, упругие стержни (торсионы). Под действием упругих сил возникают малые колебания, по периоду которых рассчитывается момент инерции.

При анализе литературы было выявлено, что находящиеся в использовании стенды характеризуются высокими эксплуатационными затратами. Специфика испытаний (негативное влияние колебаний фундамента, воздушных потоков и прочих косвенных факторов на результат испытаний) накладывает высокие требования к квалификации оператора стенда. Принципиальные схемы стендов контроля момента инерции предполагают проведение измерений большого количества угловых и линейных размеров, а также термодинамических параметров окружающей среды и других факторов. С учётом необходимого сбора больших массивов статистических данных, процесс испытаний, выполняемый в ручном режиме, занимает несколько рабочих смен, и сопровождается большими эксплуатационными затратами.

Выбранный путь снижения трудоемкости разрабатываемого стенда – автоматизация измерений.

На рынке также есть комбинационные стенды, совмещающие функции измерения нескольких разнородных параметров. Но, к сожалению, точность измерения на комбинационных стендах, разработанных в России, находится на низком уровне относительно традиционного оборудования раздельного базирования.

### **2.3 Выводы к главе**

Согласно закону сохранения кинетического момента было заключено, что управляющий момент, прикладываемый к корпусу КА, зависит от момента инерции ротора-маховика. Поэтому, в ходе лабораторных испытаний на этапах конструирования и сборки двигателей-маховиков необходимо проводить испытания по определению момента инерции роторов-маховиков.

Было выявлено математическое описание момента инерции, а также методов определения момента инерции. Проанализировав выявленные методы, можно заключить, что установка, определявшая момент инерции до решения

модернизации процесса измерения момента инерции роторов-маховиков, относилась к маятниковому методу. В последующей главе необходимо описать предыдущую установку и ее недостатки, «ИМИР» и его преимущества, а также пояснить его метрологическое обеспечение.

### 3 Измеритель моментов инерции роторов-маховиков

#### 3.1 Модернизация процесса измерения момента инерции

Контроль параметра момента инерции роторов-маховиков производится на этапе окончательной сборки двигателя-маховика для установления их действительным значениям и проверки соответствия заданным допускам. При несоответствии установленным значениям, ротор-маховик отправлялся на подточку и последующий контроль.

До решения модернизации процесса измерения момента инерции роторов-маховиков в качестве испытательного оборудования использовалась установка, реализующая маятниковый метод. Схематичное изображение представлено на рисунке 6.

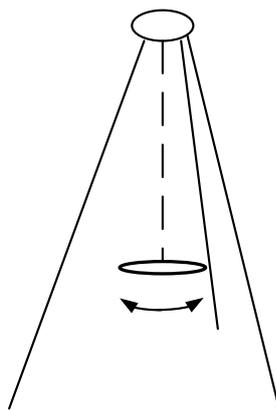


Рисунок 6 – Схематичное представление установки, реализующей маятниковый метод

Данная установка представляла собой массивную установку, напольную треногу. В качестве торсиона использовалась проволока, у которой должна была соблюдаться напряженность, поэтому толщина и материал проволоки определялся в зависимости от массы исследуемого ротора-маховика. В качестве счетчика-таймера использовались такие частотомеры как ЧЗ-53 и СНТ-90. После получения данных с счетчика-таймера расчёты выполнялись вручную, что могло привести к промахам вследствие человеческого фактора. Так как

отсутствовала какая-либо платформа для регулировки качения роторов-маховиков, колебания могли проходить в двух плоскостях, что также способствовало катастрофическому увеличению погрешности. Поэтому, во время процесса измерения оператор вручную производил регулировку качения ротора-маховика, что увеличивало трудоемкость процесса измерения.

Следовательно, исходя из вышеперечисленного, были выявлены следующие причины замены установки и модернизации процесса измерения момента инерции:

- необходимость увеличения точности измерений;
- необходимость уменьшения габаритов установки, преобразование установки в мобильную станцию;
- необходимость наличия автоматизированной регулировки качения роторов-маховиков;
- автоматизация процесса измерения;
- необходимость уменьшения трудоемкости и времени, затрачиваемого на расчет параметров инерции.

В ходе выполнения данных задач в отделе главного метролога была разработана установка, реализующая метод качающейся платформы, измеритель момента инерции роторов-маховиков «ИМИР».

«ИМИР» представляет собой специализированную контрольно-измерительную установку, позволяющую выполнять измерения инерционных характеристик методом качающейся платформы. В состав стенда входит механическая установка, цифровой измерительный блок и меры моментов инерции (меры МИ). Визуальное представление «ИМИР» изображено на рисунке 7.

Преимущество метода «ИМИР», метода качающейся платформы, перед другими методами в том, что позиционирование роторов-маховиков происходит на горизонтальной плоскости. Конструктивное исполнение «ИМИР» способствует автоматическому регулированию качения с помощью

столика-подушки. Так как предыдущая установка никак не контролировала качество роторов-маховиков, операторам, снимающим данные, приходилось производить данную регулировку в ручном режиме. Данное нововведение привело к упрощению работы с установкой, а также сокращению влияния человеческого фактора на процесс измерения, тем самым уменьшая погрешность измерения периодов вращения роторов-маховиков.

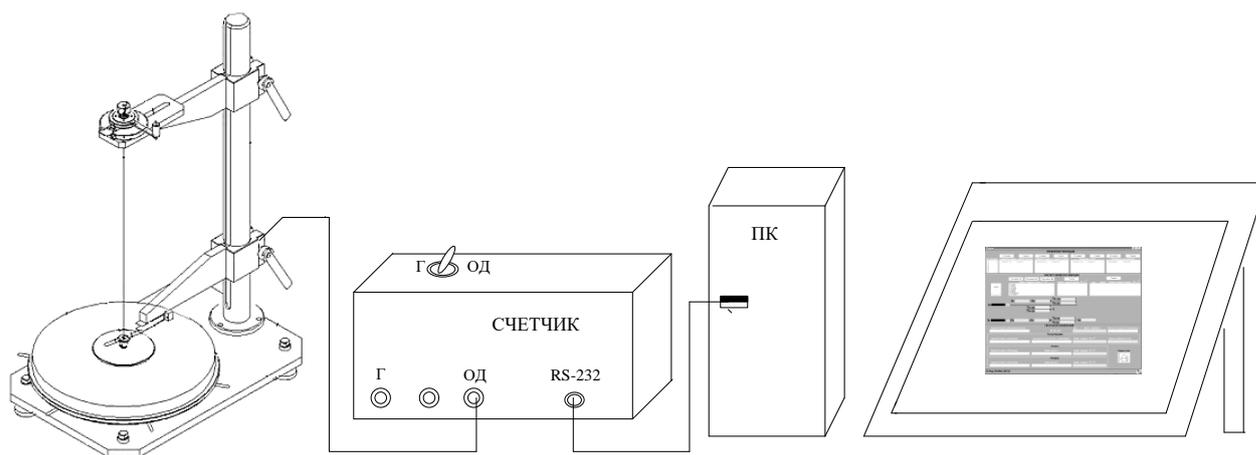
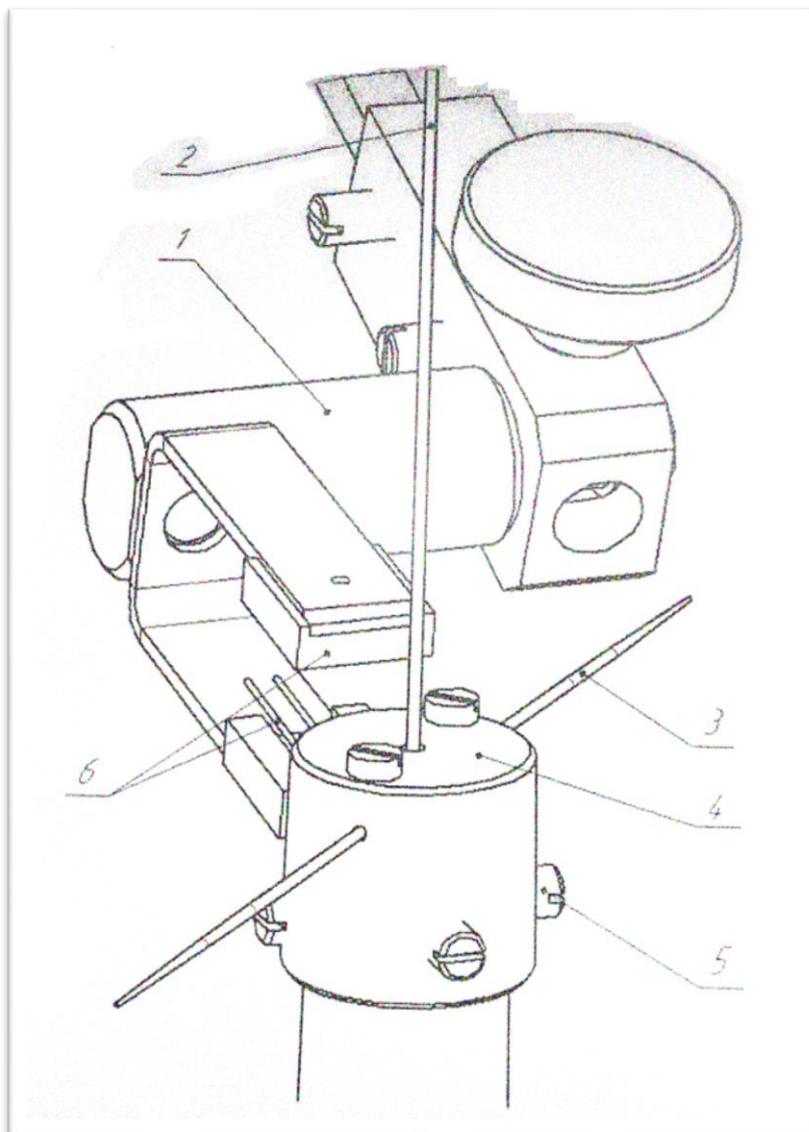


Рисунок 7 - Визуальное представление «ИМИР»

Цифровой измерительный блок обеспечивает бесконтактное измерение периодов вращения платформы, а также выполняет расчёт значений искомых метрологических величин, выводит результаты эксперимента в приложение на ПК. В состав цифрового измерительного блока входят оптический датчик с открытым каналом КТІR0411S, микроконтроллер (таймер-счётчик) и ПК.

Оптический датчик с открытым каналом является чувствительным элементом. Датчик выполнен в пластиковом корпусе шторочного типа с прорезью. Датчик состоит из оптического излучателя (арсенид галлиевый светодиод) и оптического приемника (кремневого фототранзистора) [10].

Датчик закреплён непосредственно на оси вращающейся платформы. На рисунке 8 представлено визуальное изображение блока оптопары и торсиона.



1 – блок оптопары; 2 – проволока торсиона; 3 – игла; 4 – головка торсиона;  
5 – винт; 6 – фотоэлементы

Рисунок 8 – Блок оптопары и торсион

Работа чувствительного элемента системы в соответствии с рисунком 9 основана на оптическом принципе механического модуляции интенсивности проходящего светового потока.

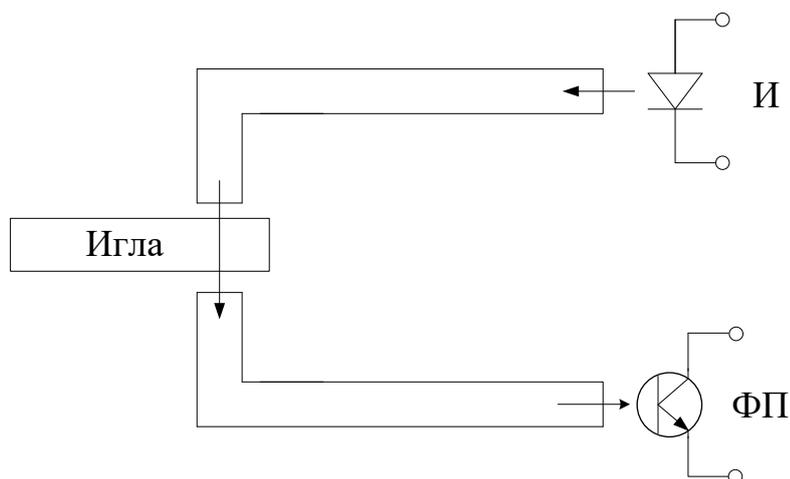


Рисунок 9

Когда платформа совершает колебательные движения, игла проходит через прорезь датчика, меняя световой поток, поступающий на фотоприемник (ФП) от излучателя (И). В свою очередь ФП преобразовывает падающий на него световой поток в фотоэлектрический сигнал. Обработку и измерение периодов выполняет микроконтроллер. В процессе эксперимента обеспечивается точность измерения периодов колебаний роторов-маховиков и мер МИ с точностью до 14 мкс.

Мера МИ представляет собой габаритно-массовый имитатор контролируемого ротора-маховика. Мера МИ выполнена в виде диска, обеспечивающего габаритно-массовые характеристики, аналогичные характеристикам контролируемых роторов-маховиков. Так, на каждый ротор-маховик, который впоследствии будет подтачиваться под определенный момент инерции, изготавливается его индивидуальный имитатор, инерционные характеристики которого известны с высокой точностью. Мера МИ используется при проведении процесса измерения, а также при метрологической аттестации «ИМИР».

В ходе проведения работ с «ИМИР» разработана программа «ИМИР» для ПК. Данная программа предназначена для расчета моментов инерции оправки (пустой платформы), момента инерции меры МИ, а далее момента

инерции ротора-маховика по полученным значениям периода вращения пустой платформы, платформы с мерой МИ и ротором-маховиком. Данная программа имеет простой и удобный пользовательский интерфейс.

Использование компьютерных технологий гарантирует скорость обработки, отображения и документирования полученных данных в виде таблиц и графиков в удобной для пользователя формате. Следует также отметить, что конструкция установки измерения момента инерции, реализующая метод качающейся платформы, предполагает возможность расширения функций измерительной системы установки за счёт разработки дополнительного программного обеспечения без изменения механической части «ИМИР».

### **3.2 Метрологическое обеспечение «ИМИР»**

Развитие экспериментальной базы для обеспечения исследований по новому поколению летательных аппаратов заключается в техническом переоснащении существующих уникальных установок с расширением областей исследования, создании новых экспериментальных стендов для более качественного моделирования обтекания скоростных винтокрылых ЛА, гиперзвуковых ЛА в условиях, близких к натурным.

Типичным примером такого измерения является измерение момента инерции, развитие которого является одним из перспективных и востребованных направлений деятельности средств измерений. За последние десятилетия в России различные предприятия авиакосмической и других отраслях промышленности создавали стенды для измерений массы, координат центра масс и моментов инерции летательных аппаратов, динамически подобных моделей, изделий двигателе- и турбиностроения (спутники, космические аппараты, ракеты, лопатки компрессоров и др.). Данный тип оборудования является уникальным и применяется для решения

узкоспециализированных задач управления движущимися объектами. Поэтому вопросы, связанные с его разработкой, применением и метрологическим обеспечением не нашли своего отражения в государственных или международных стандартах. Отсутствие эталонов таких единиц также не способствовало развитию метрологического обеспечения стендов для измерений массово-инерционных характеристик объектов. В результате на предприятие ставится вопрос их метрологического обеспечения.

Для технологического оборудования это операции обработки, формообразования, сборки и контроля. Для испытательного оборудования это воспроизведение условий испытаний на прочность, надежность, безопасность и функционирование. Для средств измерений это экспериментальное получение нормированного значения физической величины.

Процесс измерения моментов инерции изделий с помощью такого оборудования, как «ИМИР» наиболее точно соответствует понятию измерений, а сами установки, исходя из их назначения, можно отнести только к средствам измерений. Допустимо также отнести определение массово-инерционных характеристик изделий к такой части технологического процесса, как измерительный контроль, но в его основе все равно лежит определение величин средствами измерений.

Проанализируем определения по таблице 1, чтобы определить к какому оборудованию относится «ИМИР».

Таблица 1 – Основные определения

Понятие	Определение	Нормативный документ
Технологический процесс	Часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда	ГОСТ 3.1109-82 Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятия
Технологическое оборудование	Средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части технологического	

Продолжение таблицы 1 – Основные определения

Понятие	Определение	Нормативный документ
	процесса размещаются материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также технологическая оснастка	
Испытание	Экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий	ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения
Испытательное оборудование	Средство испытаний, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения условий испытаний	
Условия испытаний	Совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях	
Измерение (величины)	Совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины	Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»
	Процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине	РМГ 29-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
Средство измерений	Техническое средство, предназначенное для измерений	Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»

Продолжение таблицы 1 – Основные определения

Понятие	Определение	Нормативный документ
	Техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики	РМГ 29-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
Технические системы и устройства с измерительными функциями	Технические системы и устройства, которые наряду с их основными функциями выполняют измерительные функции	Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»

Анализируя определения из таблицы 1 можно сделать вывод, что

— определение технологическое оборудование нельзя относить к «ИМИР». Данное определение предполагает определенный принцип работы: воздействие, на изделие, не изменяющее его свойств, но придающее ему геометрию и размеры. Поэтому, примером такого оборудования являются рабочие машины и (или) промышленные станки (например, фрезерные станки ЧПУ), которые выполняют подточку роторов-маховиков при несоответствии значения момента инерции после измерения его на «ИМИР»;

— на первый взгляд, определение средство измерений можно отнести к «ИМИР», так как совпадает главная цель «ИМИР» со средством измерения – выполнение измерений. Но главная проблема в отнесении «ИМИР» к средствам измерения является отсутствие первичного эталонов единицы момента инерции, а значит отсутствие поверочной схемы на приборы, измеряющие момент инерции. Поэтому, отнести «ИМИР» к средству измерений нельзя;

— «ИМИР» не может считаться технической системой, так как имеет одну функцию, экспериментальное получение значений момента инерции.

Следовательно, на данном этапе, можно сделать вывод, что «ИМИР» относится к испытательному оборудованию, так как «ИМИР» выполняет воздействие на объект (роторы-маховики) и экспериментально получает его количественную характеристику (момент инерции).

«ИМИР» выполняет метод замещения. Метод измерения замещением – это метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают величиной, воспроизводимой мерой. Мерой, в нашем случае, является мера МИ, диск, массово-инерционные характеристики которых известны.

Основополагающим способом передачи единицу величины к специальной мере МИ в настоящее время является алгоритмический метод, который заключается в проведении косвенных измерений координат центра масс и моментов инерции на основании результатов прямых измерений массы и геометрических размеров элементов, из которых состоит мера момента инерции.

В соответствии с действующими нормативными документами испытательное оборудование подлежит аттестации.

Основная цель аттестации испытательного – подтверждение характеристик испытательного оборудования и возможности воспроизведения условий испытаний продукции или определенных видов испытаний в заданных пределах с допускаемыми отклонениями и установление пригодности использования ИО в соответствии с его назначением.

Различают первичную, периодическую и повторную аттестации испытательного оборудования.

Документы, используемые для аттестации: ПА и МА, методики испытаний, технические условия, ЭД и т.п.

Процедура подготовки меры МИ к аттестации предусматривает внешний осмотр меры МИ, очистку поверхности меры от пыли и грязи с

последующей просушкой, проверку предусмотренные эксплуатационными документами меры МИ, выдержку меры МИ в помещении рядом с испытательным оборудованием.

Процедура подготовки «ИМИР» предусматривает проверки наличия сопутствующей документации, проверки комплектности, внешний осмотр всех составных блоков «ИМИР», проверка функциональности всех элементов, проверка на соответствие стенда ТУ и проверка средств измерений, участвующих в аттестации.

В ходе аттестации необходимо проконтролировать, как механическую часть «ИМИР», так и цифровой измерительный блок «ИМИР».

### **3.3 Выводы к главе**

Модернизация процесса измерения момента инерции роторов-маховиков в АО «НПЦ «Полюс» была необходима, так как испытательная установка, реализующая маятниковый метод имела ряд недостатков: массивность, отсутствие мобильности; ручная регулировка качения роторов-маховиков; использование средства измерений для измерения периода качения роторов-маховиков, затраты на поверку; ручной расчет момента инерции.

В связи с вышеперечисленным процесс измерения момента инерции роторов-маховиков был трудоемким и время затратным процессом.

Разработанная полу-автоматизированная контрольно-измерительная установка, позволяющая выполнять измерения инерционных характеристик методом качающейся платформы, является точным мобильным устройством. Все учтённые пожелания при разработке установки привели к упрощению процесса измерения момента инерции и сокращению затрачиваемого времени. Добавление в конструкцию столика привело к сокращению влияния человеческого фактора на процесс измерения, тем самым уменьшая погрешность измерения периодов вращения роторов-маховиков. А замена

частотомера на программируемый микроконтроллер автоматизировало расчет момента инерции.

Процесс измерения моментов инерции изделий с помощью такого оборудования, как «ИМИР» наиболее точно соответствует понятию измерений, а сами установки, исходя из их назначения, можно отнести только к средствам измерений. Однако, из-за отсутствия первичного эталонов единицы момента инерции, а значит и отсутствия поверочной схемы на приборы, измеряющие момент инерции, «ИМИР» было решено отнести к испытательному оборудованию,

Рассчитаем вероятность безотказной работы и средний срок службы счетчика «ИМИР», для принятия решения о правильности введения цифрового измерительного блока. А также, разработаем методику испытаний и оформим техническое условие на «ИМИР».

## **4 Разработка технической документации**

### **4.1 Разработка технического условия**

Главная задача, на данный момент, ввод «ИМИР» в эксплуатацию, для этого необходимо проконтролировать готовность «ИМИР» к использованию – провести испытания. Для этого были разработаны технические условия, в которых пропишем основные параметры и характеристики «ИМИР»; требования безопасности при работе с «ИМИР»; требования по эксплуатации, хранению и транспортированию «ИМИР»; и поэтапные правила испытаний, проводимых над «ИМИР», для установления соответствия «ИМИР» его основным параметрам и характеристикам.

Впоследствии разработанные технические условия станут неотъемлемой частью комплекта конструкторской документации на «ИМИР». Задачи разработанного ТУ, осветить основные характеристики и их методы контроля при проведении испытаний.

Разработанные технические условия содержат следующие разделы и подразделы:

- вводная часть;
- технические требования;
  - основные параметры и характеристики;
  - требования к конструкции;
  - требования к надежности;
  - требования стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействиям;
  - требования эргономики и технической эстетики;
  - требования к метрологическому обеспечению;
  - комплектность;
  - маркировка;
  - упаковка;

- требования безопасности;
- правила приемки;
  - общие требования;
  - программа испытаний;
- методы испытаний;
  - средства испытаний;
  - указания мер безопасности;
  - подготовка к работе с «ИМИР»;
  - проведение испытаний;
- транспортирование и хранение;
- указания по эксплуатации;
- гарантии предприятия изготовителя.

Вводная часть содержит назначение «ИМИР», указание составных блоков «ИМИР», а также перечень приложений, прикрепленных к ТУ.

Раздел «Технические требования» приводит вышеизложенные подразделы.

Подраздел «Основные параметры и характеристики» излагает условия эксплуатации, способ передачи данных с автоматического измерительного блока на ПК, требования к пользовательскому интерфейсу ПК, основные параметры «ИМИР» (количество задаваемых периодов вращения, абсолютная погрешность измерения периода и момента инерции, время готовности «ИМИР» к работе и время непрерывной работы) и требования предъявляемые мера МИ (геометрические и параметры массы).

Подраздел «Требования к конструкции» описывает составные блоки «ИМИР», габаритные размеры, масса, требования к органам управления, находящихся на «ИМИР», а также требования к сопротивлению изоляции и электрической прочности изоляции.

Подраздел «Требования к надежности» приводит требования к техническому обслуживанию «ИМИР» и требования надежности, такие как

ресурс работы, средний срок службы и вероятность безотказной работы. Вероятность безотказной работы счетчика была рассчитана математически и приведена в подразделе 4.2.

Подраздел «Требования стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействиям» содержит требования стойкости к механическим воздействиям (вибрационным) и требования к стойкости к электромагнитным полям.

Стандарт [15] устанавливает общие требования к испытаниям всех технических изделий на воздействие внешних воздействующих факторов. Описанные испытания, актуальные к нашей установке, проводят во время предъявительских, приемо-сдаточных и типовых испытаниях.

Испытание включает в себя ряд операций, проводимых последовательно:

- начальная стабилизация (если требуется);
- выдержка;
- конечная стабилизация (если требуется);
- заключительные проверки и заключительные измерения (если требуются).

В процессе начальных (до выдержки) и заключительных (после выдержки) проверок и измерений проводят визуальный осмотр изделий и измерение параметров, указанных в стандартах и ТУ на изделия для испытаний данного вида.

В ходе данных испытаний также производят проверку крепления элементов по описанным методам в [15]. Изображение установки измерения момента инерции с указанием элементов приведено в приложении Б разработанного ТУ. Роторы-маховики или (и) меры МИ должны быть механически соединены с крепежной поверхностью испытательной установки непосредственно или с помощью жесткого крепежного приспособления.

Основание установки измерения момента инерции и крепление роторов-маховиков должно быть в достаточной степени жестким, чтобы быть достаточно универсальным для фиксации роторов-маховиков и мер МИ в требуемом положении.

Подраздел «Требования эргономики и технической эстетики» содержит требования к внешнему виду «ИМИР» для удобства пользователя.

Подраздел «Требования к метрологическому обеспечению» содержит требования к «ИМИР», как к испытательному оборудованию. Требования к мерам МИ, срокам проведения аттестации и методики аттестации.

Подраздел «Комплектность» устанавливает входящие в комплект «ИМИР» отдельные блоки, их обозначения, количество и примечания.

Подраздел «Маркировка» устанавливает требования к маркировке органов управления счетчика «ИМИР» и маркировке наносимой после ежегодной аттестации «ИМИР».

Подраздел «Упаковка» устанавливает требования к упаковочным ящикам, для обеспечения сохранности составных частей «ИМИР» при транспортировании и хранении. способу упаковывания продукции и т.п.

Раздел «Требования безопасности» обозначает требования, которые должны выполняться при работе оператора испытаний для предотвращения возникновения ситуации опасной для здоровья и жизни оператора.

Раздел «Правила приемки» устанавливает категории испытаний, необходимых для проведения над «ИМИР» для установления соответствия «ИМИР», изложенным параметрам и характеристикам. В разделе указаны общие требования и программа испытаний.

В ходе подготовки к разработке ТУ была поставлена задача, выбрать испытания, необходимые и достаточные для «ИМИР». Были выбраны следующие испытания.

Предъявительские испытания – контрольные испытания выпускаемой продукции, проводимые службой технического контроля изготовителя перед

предъявлением ее для приемки представителю заказчика, потребителю или другим органам приемки. Предъявительские испытания опытного образца является контрольными испытаниями, определяющие возможность предъявления опытного образца на приемо-сдаточные испытания.

Приемо-сдаточные испытания – контрольные испытания изготовленной продукции, по результатам которых принимается решение о ее пригодности к поставкам и (ИЛИ) использованию. Приемо-сдаточное испытание является контрольным испытанием готового изделия.

Периодические испытания проводятся в виде ежегодичной аттестации, так как изделие является испытательным оборудованием.

Типовые испытания – контрольные испытания выпускаемой продукции, проводимые с целью оценки эффективности и целесообразности вносимых изменений к конструкции, рецептуру или технологический процесс [15]. Типовое испытание это контрольное испытание, выполняемое после проведение работ по модернизации изделия. Типовые испытания проводятся для оценки целесообразности и эффективности внесенных изменений в конструкцию изделия или в процесс измерения/ испытания.

Подраздел «Программа испытаний» перечисляет наименования операций и соответствующие испытания.

Раздел «Методы испытаний» содержит вышеперечисленные подразделы. Данный раздел приводит требования к средствам измерений, применяемых в испытаниях, требования мер безопасности, правила подготовки «ИМИР» к работе и порядок проведения испытаний.

Подраздел «Средства испытаний» устанавливает требования и перечень средств измерений с их метрологическими и техническими характеристиками.

Подраздел «Указания мер безопасности» ссылается на раздел «Требования безопасности» для полной и безоговорочной подготовки оператора испытаний к безопасной работе с оборудованием.

Подраздел «Подготовка к работе с «ИМИР» приводится правила выдержки в необходимых климатических условиях «ИМИР», необходимых мер МИ и средств испытаний, также приводятся правила и этапы подключения составных частей «ИМИР» между собой и включения их к питающей сети.

Подраздел «Проведение испытаний» приводит следующие этапы

- проверка сопроводительной документации;
- внешний осмотр «ИМИР»;
- определение условий проведения испытаний;
- проверка электрического сопротивления и прочности изоляции;
- проверка работоспособности «ИМИР»;
- испытания цифровой измерительной части «ИМИР»;
- испытания механической части «ИМИР».

Так как сигнал, получаемый с выхода фотодатчика можно представить в виде импульсного сигнала, где логическая «1» - время, при котором на ФП попадает световой поток от И, в то время как логический «0» - время, при котором световой поток от И заслоняется иглой. Поэтому, при испытаниях цифрового измерительного блока «ИМИР» вместо установки можно выбрать в качестве средства испытания импульсный генератор.

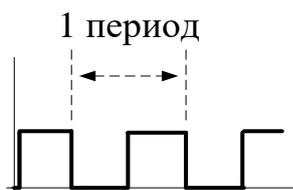


Рисунок 10

После проведения испытаний цифрового измерительного блока «ИМИР» необходимо провести испытаний над установкой измерения момента инерции. При этом в качестве средств измерений используются мера МИ и испытанный цифровой измерительный блок «ИМИР». Однако, если испытаний

цифрового испытательного блока «ИМИР» были провальными, тогда испытания установки на данный момент не имеют смысла и откладываются до выяснения причин провала испытаний и проведения ремонтных работ.

Подраздел «Оформление результатов испытаний» поясняет правила оформления протоколов испытаний при положительных и отрицательных испытаниях.

Раздел «Транспортирование и хранение» устанавливает требования к обеспечению сохраняемости продукции при ее транспортировании и хранении, в том числе по обеспечению безопасности.

Раздел «Указания по эксплуатации» устанавливает допускаемые требования по эксплуатации, ремонту и аттестации.

Раздел «Гарантии предприятия изготовителя» устанавливает права и обязанности изготовителя по гарантии в соответствии с действующим законодательством.

В приложении к ТУ, приведены перечень документов, на которые есть ссылки по тексту ТУ; визуальное изображение установки «ИМИР», протоколы предъявительских, приемо-сдаточных и типовых испытаний.

## **4.2 Расчет надежности**

На этапе проектирования устройства необходимо провести оценку показателей надежности радиоэлектронных устройств (РЭУ). Данная процедура актуальна, так как на данном этапе получают ответ на вопрос о целесообразности дальнейших затрат на опытно-конструкторскую разработку (ОКР).

*Надежность* устройства заключается в способности сохранять свои основные параметры и характеристики, позволяющие выполнять необходимые функции в заданных режимах в течении установленного времени с учетом условий эксплуатации, хранения и транспортирования.

Надежность – комплексное свойство, состоящее из таких параметров, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Сохраняемость понимается как свойство устройства, позволяющее сохранять параметры и характеристики при заданных требованиях по эксплуатации, хранению и транспортированию.

Так для устройства, которое при эксплуатации можно ремонтировать, важным параметром является ремонтпригодность. Под *ремонтпригодностью* можно понимать свойство устройства, сохранять работоспособность устройства при его постоянном техническом обслуживании. Для не ремонтируемых устройств параметр уже другой – безотказность. Под *безотказностью* понимают как срок, при котором устройство будет поддерживать работоспособность без проявления отказа, так и свойство, при котором рассматривается, возможно, допустимы срок хранения устройства [16].

*Отказ* устройства - это частичная или полная потеря работоспособности вследствие отклонения одного из параметров устройства из допустимого диапазона, при не соответствии требованиям по эксплуатации, хранению и транспортированию.

*Наработка* устройства *до отказа* или время работы устройства до отказа - это общая продолжительность работы устройства до его первого отказа.

На рисунке 11 изображены основные составляющие надежности и показатели безотказности, которые в дальнейшем будут рассчитаны.

Физическое проявление отказа элементов, и, следовательно устройств, является случайным. Поэтому для количественного описания отказов используются методы теории вероятности.

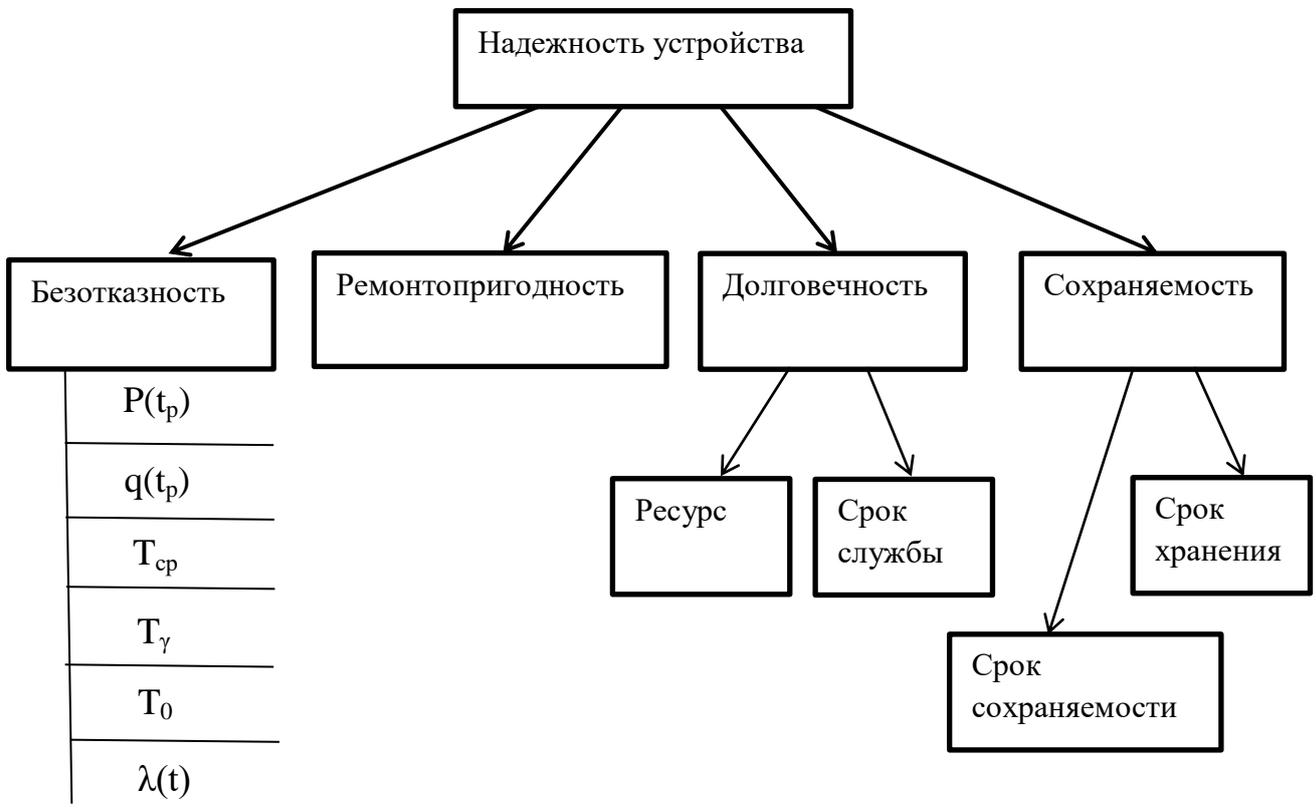
Если функция плотности распределения времени до отказа  $\omega(t)$  при (7)

$$\omega(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}; \lambda > 0, t \geq 0, \quad (7)$$

то вероятность безотказной работы может быть рассчитана по формуле (8)

$$P(t_3) = \int_{t_3}^{\infty} \omega(t) dt, \quad (8)$$

геометрическое изображение выражения представлена на рисунке 12.



$P(t_3)$  – вероятность безотказности за время  $t_3$ ;  $q(t_3)$ - вероятность отказа за время  $t_3$ ;  $T_{cp}$  – средняя наработка до отказа;  $T_\gamma$  – гамма-процентная наработка до отказа;  $T_0$  –наработка на отказ;  $\lambda(t)$  – интенсивность отказов

Рисунок 11 – Основные составляющие надежности и показатели безотказности

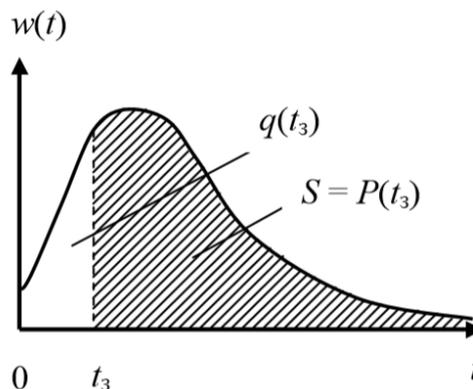


Рисунок 12 – Экспоненциальное распределения

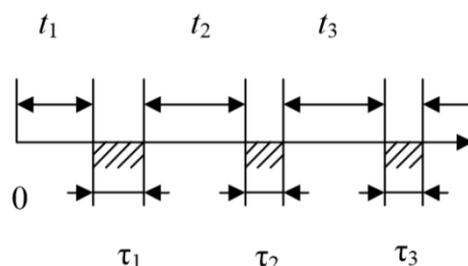
Экспоненциальный закон надежности (9)

$$P(t_3) = e^{-\lambda t_3}, \quad (9)$$

где  $\lambda$  – параметр экспоненциального распределения (интенсивность отказов).

*Интенсивность отказа* (или частота отказов) элементов для интервала времени  $\Delta t_i$  представляет собой значение условной плотности распределения времени до отказа при условии, что в начале рассматриваемого момента времени  $\Delta t_i$  не проявления отказов обнаруженное не было.

Надежность однообразных РЭУ и их элементов характеризуются *средним временем безотказной работы*. Данный параметр является моделью ожидаемого времени безотказной работы, также известный как – *средняя наработка до отказа*. Визуальное представление данного параметра можно пронаблюдать по процессу функционирования РЭУ (рисунок 13) и рассчитать по формуле (10).



$t_1, t_2, t_3$  – интервалы безотказной работы РЭУ;  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  – интервалы

Рисунок 13 – Процесс функционирования РЭУ

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{m}, \quad (10)$$

где  $m$  – количество отказов РЭУ, на рассмотренное время работы РЭУ.

Под гамма-процентной наработкой,  $T_\gamma$ , до отказа можно понимать время, за которое не возникнет отказов с вероятностью  $\gamma$ .

Значение интенсивности отказов рассчитываются по индивидуальным математическим моделям для каждого элемента РЭУ. Общее значение интенсивности  $\lambda_\Sigma$  рассчитывается по формуле (11)

$$\lambda_\Sigma = \lambda_B \prod_{i=1}^m K_i, \quad (11)$$

где  $\lambda_B$  – базовая интенсивность отказов элементов данной группы;

$K_i$  – коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной интенсивности отказов в зависимости от различных факторов;

$m$  – число учитываемых факторов.

Дальнейший расчет показателей безотказности счетчика «ИМИР» будет произведен по учебно-методическому пособию [17].

Уровень качества элементов, использованных при конструировании счетчика, соответствуют приемке ОТК. Пусть заданное время работы составляет  $t_p = 1000$  ч. Необходимо рассчитать следующие показатели безотказности –  $T_0$ ,  $P(t_p)$  и  $T_\gamma$  при  $\gamma = 95$  %. Перечень и информация об элементах, входящих в счетчик, соответствует таблице 2.

Таблица 2 – Перечень элементов

Элемент, компонент	Позиционное обозначение	Тип	Функциональное назначение	Кол-во	Примечание
Пьезоизлучатель	BQ1	ПЗ-3	Воспроизведение звука	1	$P_{эв} = 75$ дБ; $f = 4,10 \pm 0,05$ кГц; $U_{раб} = 3,00 \pm 0,12$ В
Конденсаторы керамические	C1	K10-17Б	-	8	$C = 0,039$ мкФ $U = 50$ В
	C2	K50-29			$C = 470$ мкФ $U = 16$ В
	C3, C4	K10-17Б			$C = 33$ пФ $U = 50$ В
	C5-C8	K10-17А			$C = 0,1$ мкФ $U = 50$ В
Микросхемы	DA1	TEN 5-121	Преобразователь напряжения	1	5652 элемента; $P = 6$ Вт
	DD1	PIC16 F876 А	Микроконтроллер	1	8192 элементов; $f = 20$ МГц
	DD2	MAX 3232 СРЕ	Двойной RS-232 трансивер	1	2500 элементов
Вставка плавкая	FU1	ВП1-1	Предохранитель керамический	1	$U_{ном} = 250$ В $I_{ном.раб} = 0,5$ А
Индикатор жидкокри-	HG1	MT-10S1	-	1	-

Продолжение таблицы 2 – Перечень элементов

Элемент, компонент	Позиционное обозначение	Тип	Функциональное назначение	Кол-во	Примечание
Резисторы	R1	C2-23	Металлодиэлектрические, для работы с постоянным, переменным и импульсным током	1	$P_{ном} = 0,25 \text{ Вт};$ $U_{мах.раб} = 250 \text{ В};$ $R = 300 \text{ Ом};$ допуск $\pm 10 \%$
	R2	C2-23		1	$P_{ном} = 0,125 \text{ Вт};$ $U_{мах.раб} = 250 \text{ В};$ $R = 620 \text{ Ом};$ допуск $\pm 10 \%$
	R3	C2-23		1	$P_{ном} = 0,125 \text{ Вт};$ $U_{мах.раб} = 250 \text{ В};$ $R = 82 \text{ Ом};$ допуск $\pm 10 \%$
	R4	C2-23		1	$P_{ном} = 0,125 \text{ Вт};$ $U_{мах.раб} = 250 \text{ В};$ $R = 510 \text{ Ом};$ допуск $\pm 10 \%$
	R5	C2-23		1	$P_{ном} = 0,125 \text{ Вт};$ $U_{мах.раб} = 250 \text{ В};$ $R = 7,5 \text{ кОм};$ допуск $\pm 10 \%$
	R6-R9	C2-23		4	$P_{ном} = 0,125 \text{ Вт};$ $U_{мах.раб} = 250 \text{ В};$ $R = 5,1 \text{ кОм};$ допуск $\pm 10 \%$
	R10	C2-23		1	$P_{ном} = 0,25 \text{ Вт};$ $U_{мах.раб} = 250 \text{ В};$ $R = 240 \text{ Ом};$ допуск $\pm 10 \%$
	R11	C2-23		1	$P_{ном} = 0,125 \text{ Вт};$ $U_{мах.раб} = 250 \text{ В};$ $R = 2,2 \text{ кОм};$ допуск $\pm 10 \%$
	R12	C2-23		1	$P_{ном} = 0,125 \text{ Вт};$ $U_{мах.раб} = 250 \text{ В};$ $R = 200 \text{ Ом};$ допуск $\pm 10 \%$
	R13	C2-23		1	$P_{ном} = 0,125 \text{ Вт};$ $U_{мах.раб} = 250 \text{ В};$ $R = 10 \text{ Ом};$ допуск $\pm 10 \%$
Переключатели	SA1	ПТ73-2-3	Переключатель тумблерный	1	$P = 250 \text{ Вт при}$ $U_{мах} = 250 \text{ В и}$ $I_{мах} = 1 \text{ А}$

Продолжение таблицы 2 – Перечень элементов

Элемент, компонент	Позиционное обозначение	Тип	Функциональное назначение	Кол-во	Примечание
Переключатели	SA2	ПД9-2	Переключатель движковый	1	$U_{\text{раб}} = 36 \text{ В}$ $I_{\text{раб}} = 0,3 \text{ А}$
	SB1-SB3	ПКн105	Кнопочный переключатель	3	$P_{\text{max}} = 70 \text{ Вт}$
Трансформатор	TV1	112035		1	ЕИЖА.ХХХХХХ.ХХХ
Диодный мост	VD1	DB102		1	$U_{\text{max.имп}} = 120 \text{ В};$ $I_{\text{max.имп}} = 30 \text{ А}$
Диоды	VD2, VD3	АЛ307ВМ	Светодиоды (зеленый)	2	$U_{\text{прям}} = 2,4 \text{ В};$ $I_{\text{прям}} = 20 \text{ мА.}$
Биполярные транзисторы	VT1, VT2	КТ315Г	Транзисторы кремниевые структуры n-p-n усилительные.	2	
Оптапара	VU1	КТIR0411S	Щелевой оптический датчик положения.	1	$P_{\text{рас}} = 75 \text{ мВт};$ $I_{\text{прям}} = 50 \text{ мА}$
Вилки	XP1	ВШ-2-03-6/220		1	4 контакта
	XP2	PC4БТВ		1	4 контакта 250 сопряжений
Розетка	XS1	PC4БТВ		1	4 контакта 250 сопряжений
Разъем	XS2	CP-50-74		1	4 контакта 500 сопряжений
	XS3	DE9S-FRS		1	9 контактов 500 сопряжений
Кварцевый резонатор	ZQ1	HC49/U		1	$f = 4 \text{ МГц}$

Определим максимальную температуру элементов при их работе. Для этого примем верхнее значение рабочей температуры счетчика «ИМИР» ( $t_{\text{раб.мах}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и возможное увеличение предельной рабочей температуры на значение  $\Delta t_c = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  при нагреве от солнечных лучей. Перегрев в нагретой зоне (гипотетическое пространство в устройстве, где нагретый воздух рассеивается),  $\Delta t_c$ , не более  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , а средний перегрев воздуха в счетчике,  $\Delta t_B$ , не более  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Предельная рабочая температура  $t_{эл.мах}$  теплонагруженных элементов (резисторы, транзисторы, диоды и ИМС) определяется по формуле (12)

$$t_{эл.мах} = (t_{раб.мах} + \Delta t_C) + \Delta t_3 = (25 + 10) + 10 = 45 \quad (12)$$

Предельная рабочая температура  $t_{эл.мах}$  малонагруженных элементов (соединители, кварцевый резонатор и конденсаторы) определяется по формуле (13)

$$t_{эл.мах} = (t_{раб.мах} + \Delta t_C) + \Delta t_B = (25 + 10) + 5 = 40 \quad (13)$$

Рассчитаем интенсивность отказа элементов счетчика «ИМИР» по математическим моделям и занесем результаты в таблицу В.1 в приложении В.

Подсчитаем эксплуатационную интенсивность отказа счетчика «ИМИР» просуммировав общую эксплуатационную интенсивность отказа всех элементов счетчика.

$$\Lambda_M = 1,861 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.}$$

Наработка на отказ при 8-ми часовом рабочем дне:

$$T_0 = 1/\Lambda_M \approx 53731 \text{ ч} \approx 6716 \text{ дней} \approx 18 \text{ лет}$$

Вероятность безотказной работы при ресурсе времени в 1000 ч ( $t_p$ ):

$$P_M(t_p) = e^{-t_p/T_0} \approx 0,98.$$

Гамма-процентная наработка до отказа при  $\gamma = 95 \%$ :

$$T_\gamma = -T_0 \ln 0,95 \approx 2756 \text{ ч} \approx 344 \text{ дня} \approx 1 \text{ год.}$$

Следовательно, при 8-ми часовой рабочей недели минимальное время до предполагаемого первого отказа составляет 1 год. Поэтому, необходимо устанавливать ежегодно проверку работоспособности и плановые испытания. Так как счетчик входит в состав измерителя момента инерции «ИМИР», данная процедура будет проходить в виде ежегодной аттестации.

Срок службы при 8-ми часовой неделе рассчитывается при  $\gamma = 50 \%$

$$T_{сл} = -T_0 \ln 0,50 \approx 37243 \text{ ч} \approx 4655 \text{ дня} \approx 12 \text{ лет}$$

Данный срок службы рассчитан на счетчик «ИМИР». Согласно ТЗ на «ИМИР» данный параметр не должен быть менее, чем 10 лет. Значит, разработка счетчика, и использование выбранных радиоэлементов оправдано.

### **4.3 Вывод к главе**

В ходе расчета параметров надежности элементов счетчика «ИМИР» было выяснено, что с вероятностью 98 % минимальное время до предполагаемого первого отказа составляет 1 год. Что соответствует ежегодной аттестации на «ИМИР». Также был рассчитан средний срок службы, который составил 12 лет, что соответствует заданному параметру указанному в техническом задании на «ИМИР».

В качестве испытаний были выбраны предъявительские, премо-сдаточные и типовые испытания. Периодические испытания проводятся в виде ежегодной аттестации, так как изделие является испытательным оборудованием, по методике аттестации.

Главными этапами испытаний были выделены испытания механического блока «ИМИР» и цифрового автоматизированного блока «ИМИР». Так как сигнал, получаемый с выхода фотодатчика можно представить в виде импульсного сигнала, при испытаниях цифрового измерительного блока «ИМИР», вместо установки можно выбрать в качестве средства испытания импульсный генератор. После проведения испытаний цифрового измерительного блока «ИМИР» проводятся испытания над механической установкой измерения момента инерции. При этом в качестве средств измерений используются мера МИ и испытанный цифровой измерительный блок «ИМИР».

Оформленные технические условия представлены в приложения Б.

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» анализ коммерческой ценности магистерской диссертации - патентный поиск с целью обоснование актуальности и необходимости введения нового испытательного оборудования для измерения моментов инерции роторов-маховиков, и разработка технического условия и методики аттестации на измеритель моментов инерции роторов-маховиков «ИМИР» (далее – «ИМИР»), с целью введения данной установки в эксплуатацию в АО «НПЦ «Полус». Оценка данного параметра является необходимым условием на этапе проектирования, при поиске источников финансирования для проведения научных исследований по дальнейшей работе с этим прибором.

Коммерческая привлекательность данного прибора определяется тем, насколько часто и для каких испытаний «ИМИР» будет применяться в АО «НПЦ «Полус».

Для достижения цели раздела необходимо решить следующие задачи:

- планирование и формирование бюджета научных исследований;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки.

### **5.1 Организация и планирование НИР**

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Разделим выполнение выпускной квалификационной работы на этапы, в каждом из которых распределим исполнителей. Составленный перечень этапов, работ и распределение исполнителей приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя	Процент работы, %
Разработка задания на ВКР	1	Составление и утверждение задания для магистерской диссертации	Научный руководитель	100
Проведение НИР				
Выбор направления исследования	2	Выбор средства измерения и решение о количестве разрабатываемой документации	Научный руководитель	100
	3	Календарное планирование работ	Инженер	100
Теоретические исследования	4	Поиск, анализ и изучение литературы и нормативно-технической документации	Инженер	100
	5	Выявление причин для модернизации процесса измерения моментов инерции роторов	Инженер	100
	6	Патентный поиск	Инженер	100
	7	Изучение принципа работы «ИМИР»	Инженер	100
Разработка документации	8	Разработка технических условий	Научный руководитель Инженер	50 50
	9	Разработка методики аттестации	Научный руководитель Инженер	50 50
	10	Оформление комплекта документации	Научный руководитель Инженер	50 50
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка комплекта документации	Научный руководитель	100
	12	Анализ замечаний и внесение исправлений	Инженер	100
	13	Утверждение комплекта документации	Научный руководитель Инженер	50 50
Оформление пояснительной записки и сдача магистерской диссертации	14	Оформление пояснительной записки	Научный руководитель Студент	50 50
	15	Сдача готовой магистерской диссертации	Инженер	100

### 5.1.1 Определение трудоемкости выполнения работы

Основная часть стоимости проведения разработки образуется за счет трудовых затрат, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости  $t_{ожі}$  рассчитывается по формуле (14):

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5}, \quad (14)$$

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

$t_{mini}$  – минимальная возможная трудоемкость работ, чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимальная возможная трудоемкость работ, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работы, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$  по формуле (15), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (15)$$

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

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

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

### 5.1.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для анализа небольших по объему научных тем, наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

Для удобства построения графика следует перевести длительность каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные. Для этого можно использовать формулу (16):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (16)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по формуле (17):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (17)$$

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

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

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

Так как научный руководитель инженер-метролог с 5-ти дневной рабочей неделей, коэффициент календарности высчитаем по производственному календарю. На 2020 год выпадает 366 календарных дня, 248 рабочих и 118 выходных, включая праздники. Следовательно, коэффициент календарности 2020 года  $k_{\text{кал}} = 1,48$ . В 2019 году 365 календарных дней, 247 рабочих и 118 выходных, включая праздничные. Следовательно, коэффициент календарности 2019 года  $k_{\text{кал}} = 1,47$ . Все рассчитанные значения были сведены в таблицу Г.1 в приложении Г..

Временные показатели проведения научного исследования приведены в Приложении Г. Таким образом, общая длительность работ в рабочих днях составляет 165 дней, длительность работ в календарных днях – 219 дней. На основании таблицы Г.1 построен план-график. Календарный план график

проведения научно- исследовательской работы приведен в Приложении Д. График строился с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

## **5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта**

Для определения бюджета, потраченного при выполнении НТИ в рамках написания магистерской диссертации, были рассчитаны следующие виды затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата исполнителей;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

### **5.2.1 Расчет материальных затрат НТИ**

К данному пункту расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. К материальным затратам данного НТИ относятся картриджи для принтера, пачка бумаги А4, тетрадь, ручка и карандаш.

Кроме того пункт включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции).

Результаты расчетов материальных затрат представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Количество	Цена за ед., руб	Сумма, руб.
Тетрадь	шт.	1	250	250
Ручка	шт.	2	25	50
Карандаш	шт.	1	10	10
Картридж для принтера	шт.	1	1200	1200
Пачка бумага А4	шт.	1	500	500
Итого		2010		

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны

$$C_{\text{мат}} = 2010 \cdot 1,05 = 2110,50 \text{ руб.}$$

### 5.2.2 Расчет заработной платы исполнителей темы

В данном пункте приведены расчеты заработной платы каждого из участников исследовательской работы. Размер заработной платы определяется исходя из трудоемкости выполненной работы, действующей системы окладов и тарифных ставок. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 12.

Заработная плата рассчитывается по формуле (18):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \cdot K_{\text{доп}}(5), \quad (18)$$

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

$Z_{\text{дн}}$  - среднедневная заработная плата работника, руб;

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

$K_{\text{доп}}(5)$  – интегральный коэффициент дополнительной заработной платы работника, руб

Среднедневная заработная плата для 5-ти дневной рабочей недели рассчитывается по формуле (19):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{MO}{20,75}, \quad (19)$$

где MO – месячный оклад сотрудника.

Коэффициент дополнительной заработной платы состоит из премии, дополнительной заработной платы и районной надбавки и составляет  $K_{\text{доп}}(5) = 1,62$ .

Научный руководитель и студент работают в АО «НПЦ «Полюс» на должностях инженера метролога 1 кат. и техника-метролога 1 кат. соответственно, на 5-ти дневной рабочей неделе. Оклад инженера метролога 1 кат. составляет 27150,50; оклад техника-метролога 1 кат. составляет 12900,00. Согласно, таблице Г.1 «Временные показатели проведения научного исследования» рабочие дни научного руководителя составляют 95 дней, у студента 149 дней. Затраты на заработную плату представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэфф.	Фонд з/платы, руб.
Руководитель	<b>27150,50</b>	1308,46	95	1,62	201372,00
Инженер	<b>12900,00</b>	621,69	149	1,62	150063,50
Итого:					<b>351435,50</b>

### 5.2.3 Расчет затрат на социальный налог

В данном пункте рассчитываются обязательные отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются по формуле (20):

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot 0,3, \quad (20)$$

где  $k_{\text{свнеб}}$  – коэффициент уплаты во внебюджетные фонды  $k_{\text{внеб}} = 30\%$ .

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	201372,0
Инженер	150063,5
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3
Итого	
Руководитель	60411,60
Инженер	45019,05

### 5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле (21):

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}}, \quad (21)$$

где  $P_{\text{об}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$  – время работы оборудования, час.

В ходе выполнения магистерской диссертации были применены такие технические средства, как «ИМИР», ПК и струйный принтер. Так как установка «ИМИР» не подсоединяется к питанию сети, то его в расчет не учитываем.

Так как для АО «НПЦ «Полюс» тариф не известен, возьмем данный для ТПУ. Для ТПУ  $Ц_{\text{э}} = 6,59$  руб./квт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы «Временных показателей проведения научного исследования» для инженера (ТРД) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

Время работы оборудования вычисляется по формуле (22):

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рД}} \cdot K_t, \quad (22)$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к ТРД, определяется исполнителем самостоятельно. Для работы с персональным компьютером примем коэффициент 0,8.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле (23):

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_C \quad (23)$$

где  $P_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности  $K_C = 1$ .

Так как рабочий день состоит из 8 часов, то общее количество часов работы за персональным компьютер составляет:

$$t_{\text{об}} = 149 \cdot 8 \cdot 0,8 = 953,60.$$

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об}}$ , час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$ , кВт	Затраты $C_{\text{эл.об}}$ , руб.
Персональный компьютер	953,60	0,30	1885,27
Струйный принтер	5	0,10	3,30
Итого			1888,57

Следовательно, за время выполнения работы на электроэнергию потрачено 1888,57 руб.

### 5.2.5 Расчет амортизации расходов

В пункте «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта. В ходе выполнения магистерской диссертации были применены такие технические средства, как «ИМИР», ПК и струйный принтер. Так как «ИМИР» новая разработка, то ни его стоимость, ни амортизацию подсчитать пока не возможно.

Используя формулу (24) подсчитаем амортизационные отчисления для ПК и струйного принтера.

$$C_{AM} = \frac{N_A \cdot Ц_{ОБ} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D}, \quad (24)$$

где  $N_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{ОБ}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

$F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{рф}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

На 2020 год выпадает 366 календарных дня, 248 рабочих и 118 выходных, включая праздники. Следовательно,  $F_D = 248 \cdot 8 = 1984$ .

Расчет амортизационных отчислений приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Амортизационные отчисления

Оборудование	Стоимость, руб	Время работы, час	Годовая норма амортизации $N_A$	Амор-ые отчисления, $C_{AM}$ , руб
ПК	30000	953,60	0,4	5767,74
Струйный принтер	15000	5	0,5	18,90
Итого				5786,64

### 5.2.6 Расчет прочих расходов

Прочие расходы учитывают затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: оплата услуг связи, проезд до работы и обратно и т.д. Их величина определяется по следующей формуле (25):

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1, \quad (25)$$

Следовательно, накладные расходы составляют 46 665,19 рублей.

### 5.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Рассчитанная величина затрат на научно-исследовательскую работу является основой для формирования бюджета затрат на проект.

Определение бюджета затрат на НИИ представлено в таблице 9.

Таблица 9 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Усл. обоз.	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	2 110,50
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	351 435,50
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	105 430,65
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.об}}$	1888,57
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	5786,64
Статья затрат	Усл. обоз.	Сумма, руб.
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	46 665,19
<b>Итого</b>		<b>513 317,05</b>

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 513\,317,05$  руб.

Прибыль от реализации проекта зависит от конкретной ситуации. В нашем случае «сложно» рассчитать прибыль, так как разработка документации введет разработанный измеритель моментов инерции в эксплуатацию, как

испытательное оборудование для роторов-маховиков, используемые в двигателях-маховиках. Данные двигатели-маховики в свою очередь используются на множестве космических аппаратах.

Поэтому следует принять 20 % от полной себестоимости проекта.

Следовательно, прибыль составит **102 663,41** рублей.

НДС составляет 20 % от суммы затрат на разработку и прибыли.

В нашем случае это  $(513\,317,05 + 102\,663,41) * 0,2 = 123\,196,09$  руб.

Следовательно, цена разработки НИР равная сумме полной себестоимости, прибыли и НДС в нашем случае составит

$$C_{\text{НИР}} = 513\,317,05 + 102\,663,41 + 123\,196,09 = 739\,176,55 \text{ руб.}$$

### **5.3 Оценка экономической эффективности проекта**

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта. Так как последние являются единовременными, то мы имеем дело с частным случаем задачи оценки экономической эффективности инвестиций, т.е. вложением денежных средств в предприятие, организацию, отраслевую, региональную социально-экономическую систему и т.п. (т.н. объекты инвестиций) с целью получения определенного результата в будущем

### **5.4 Выводы к главе**

В данной магистерской диссертации проводятся научные исследования и разработка документации на измеритель моментов инерции роторов-маховиков «ИМИР».

В ходе разработки данного раздела, была определена трудоемкость выполнения работы, построен график выполнения НИИ и рассчитан бюджет затрат проведенных работ.

Расчет экономической эффективности или окупаемость произвести невозможно. Так как проект находится в стадии проектирования, а его дальнейшее применение будет затрагивать большую область. Прибор, который вводится в эксплуатации в АО «НПЦ «Полюс» будет непосредственно участвовать в испытаниях роторов-маховиков, имеющих для космических аппаратов непосредственную значимость.

## **6 Социальная ответственность**

В разделе социальная ответственность рассматриваются вопросы обеспечения безопасных условий труда на рабочем месте и минимизации негативного воздействия опасных (вредных) факторов, возникающих при работе с персональным компьютером и электрооборудованием. В разделе затрагиваются вопросы электро и пожарной безопасности, а также действий по обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Исследования проводились в лаборатории Акционерного Общества «Научно-Производственного Центра «Полюс», специально оборудованной и подготовленной для этих целей. Задачи работы является патентный поиск с целью обоснование актуальности и необходимости введения нового испытательного оборудования для измерения моментов инерции роторов-маховиков, а также разработка технического условия и методики аттестации на измеритель моментов инерции роторов-маховиков «ИМИР» (далее – «ИМИР»), с целью введения данной установки в эксплуатацию в АО «НПЦ «Полюс». «ИМИР» представляет собой установку, состоящую из механического стенда, микроконтроллера (фотодатчика) и персонального компьютера с предустановленным на нем специализированным ПО.

Рабочее место представляет собой помещение, оборудованное компьютерным столом с персональным компьютером. Работа с компьютером производится сидя, что вызывает ощутимую нагрузку на мышцы рук и спины, что в дальнейшем может привести к болям и отекам спинного и плечевого отделов. Также работа с компьютером вызывает умственное напряжение и зрительную напряженность. Для исключения подобных случаев необходимо поддержание рабочей позы работника и грамотное распределение рабочего времени и отдыха.

В ходе работы над данным разделом необходимо выявить возможные вредные/опасные факторы, влияющие на инженера, разработать и проанализировать решения по их минимизации.

## **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Согласно [18] работа по разработке документации с использованием ПЭВМ относится к группе Б - работа по вводу информации. При I категории работы уровень нагрузки за рабочую смену для группы Б по суммарному числу вводимых знаков составляет до 15000 знаков. Суммарное время регламентированных перерывов при 8-часовой смене составляет 50 минут, а при 12-часовой – 80 минут.

Для предотвращения быстрой утомляемости рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него.

При возникновении зрительного дискомфорта и других неблагоприятных ощущениях рекомендуется ограничить время работы за ПЭВМ.

При работе с ПЭВМ в ночную смену (с 22 до 6 ч), независимо от категории и вида трудовой деятельности, продолжительность регламентированных перерывов следует увеличивать на 30 %.

### **6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Требования к рабочему месту инженера-метролога содержит СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [18]. При размещении

рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочим столом с монитором ПЭВМ, должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования.. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5-0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

## **6.2 Производственная безопасность**

### **6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов**

В ходе эксплуатации «ИМИР» в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [18] создаются как вредные факторы, так и опасные факторы.

В таблице 20 приведены опасные и вредные факторы, с которыми может столкнуться инженер, при проведении работ с объектом исследования.

### 6.2.1.1 Микроклимат

Микроклимат рабочих мест производственных помещений или внутренняя рабочая среда должна контролироваться и поддерживаться. Показатели микроклимат должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Неблагоприятные микроклиматические условия могут спровоцировать ослабление терморегуляции, ухудшение самочувствия и снижение работоспособности.

Таблица 10 – Опасные и вредные факторы, возникающие при разработке документации на измеритель моментов инерции роторов-маховиков «ИМИР»

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Измеритель моментов инерции роторов-маховиков «ИМИР».  Проведение испытаний, необходимых для разработки технических условий и методики аттестации.  Работа с персональным компьютером.	1)Отклонение показателей микроклимата;  2)Повышенный уровень электромагнитных излучений;  3)Повышенный уровень шума на рабочем месте;  4) Не достаточная освещенность рабочей зоны;  5)Умственные нагрузки;  6)Монотонность работы.	1)Опасность поражения электрическим током. Электробезопасность.	<b>Параметры микроклимата:</b> СанПиН 2.2.4.548-96 [19]. <b>Параметры уровня электромагнитных излучений:</b> СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [18]. <b>Параметры уровня шума:</b> СанПиН 2.2.4.3359-16 [20]. <b>Параметры освещенности:</b> СанПиН 2.1.1.1278-03 [22]. <b>Психофизические нагрузки:</b> Р 2.2.2006-05 [23]. <b>Электробезопасность:</b> ГОСТ 12.1.030-81 [24]; ГОСТ 12.1.038-82 [25]; ГОСТ Р 12.1.019-2009 [26]; СанПиН 2.2.4.1191-03 [27]; Р 2.2.2006-05 [23].

К показателям, характеризующим микроклимат рабочей зоны, относятся:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

К неблагоприятным микроклиматическим условиям может привести неподготовленность производственного помещения к холодному сезону при резкой смене погоды.

СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [19] устанавливает оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений. Деятельность инженера-метролога относят к категории работ Ia. Для нее существуют оптимальные и допустимые параметры микроклимата, которые должны соблюдаться в помещениях, приведены в таблицах 11 и 12.

Таблица 11 – Оптимальные значения микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(22-24)	(21-25)	(60-40)	0,1
Теплый	(23-25)	(22-26)	(60-40)	0,1

Таблица 12 – Допустимые значения микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
				для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	(20,0 -21,9)	(24,1 -25,0)	(15 – 75)	0,1	0,1
Теплый	(21,0 -22,9)	(25,1 -28,0)	(15 – 75)	0,1	0,2

В рабочей лаборатории были проведены измерения, с целью выяснения соблюдения норм и поддержания благоприятного самочувствия работников.

- температура окружающего воздуха 23 °С;
- относительная влажность 55 %;
- скорость движения воздуха 0,1 м/с.

Вывод: рабочее место безопасно для работника.

Микроклимат помещения поддерживается на оптимальном уровне с помощью приборов искусственного кондиционирования, системой водяного центрального отопления и естественной вентиляцией.

### 6.2.1.2 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Во время работы инженер-метролог находится в непосредственной близости к монитору, что вызывает воздействие электромагнитных полей (далее - ЭМП). Данное излучение пагубно влияет на здоровье человека, в особенности на его кровеносную систему, зрение и иммунную систему.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [20] устанавливает требования к персональным электронно-вычислительным машинам (далее - ПЭВМ). Временные допустимые уровни ЭМП на рабочих местах, создаваемые ПЭВМ, представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Временные допустимые уровни (далее - ВДУ) ЭМП, создаваемые ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Так как разработка документа (компоновка и анализ измерительных данных, набор текста) предполагает постоянное взаимодействие с

компьютером, то для сохранения здоровья, рекомендуется периодически переключать внимание на другие виды деятельности. Такие перерывы должны быть по 10-15 минут через каждые 45-60 минут работы. Расположение экрана монитора от глаз пользователя на расстояние не ближе 0,5 м, а в лучшем случае на расстоянии от 0,6 до 0,7 м.

Современные студенты вынуждены вести сидячий образ жизнь по многу часов в день, и вследствие чего, имеют проблемы со спиной и позвоночником. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 рекомендует делать динамические упражнения расслабления мышц, улучшения кровоснабжения и снижения напряжения. Также СанПиН рекомендует комплексы упражнений для глаз, с указанием методики проведения зрительной гимнастики во время работы на компьютере.

### **6.2.1.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте**

На рабочем месте инженера-метролога находятся ПЭВМ, он же и является основным источником шума, шумит его система охлаждения. Согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 [21] допустимый уровень звука, создаваемый ПЭВМ, не должен превышать значения 50 дБА.

Повышенный уровень шума может нанести непоправимый вред на его нервную систему и органы слуха, что непременно повлияет на работоспособность персонала.

Для снижения уровня шума, необходимо:

- своевременно проводить техническое обслуживание приборов;
- размещать вне рабочего помещения шумящее оборудование, шум которых превышает допустимый;
- установить герметичные стеклопакеты.

В рассматриваемом помещении уровень шума не превышает 50 дБА. Кроме ПЭВМ, находящегося на рабочем месте, источником дополнительного шума является шум, проникающий через открытые окна и двери. Так как шум в

пределах нормы, никаких мер защиты от шума в анализируемом помещении не предусмотрено.

#### **6.2.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны и расчет искусственного освещения**

Важнейший фактор создания приемлемых условий труда – качественное освещение рабочего места. Согласно СанПиН 2.1.1.1278-03 [22] рабочее место инженера должно быть освещено как естественным, так и искусственным освещением.

Недостаточная освещенность рабочего места приводит к быстрому утомлению организма, что естественно снижает производительность труда и увеличивает количество допускаемых инженером-метрологом ошибок.

В соответствии с СНиП 23-05-95 [28] разряд зрительных работ инженера-метролога относится к разряду III подразряду г (высокой точности). Наименьший размер объекта различения от 0,30 до 0,50 мм. Согласно пункту 4.2 уровень максимальной искусственной освещенности рабочих мест должен быть 200 лк. Нормы коэффициента пульсации для обозначенного вида работ составляют не более 15 %.

В рабочем помещении используется комбинированная система освещения – искусственное и естественное. Для освещения применяются люминесцентные лампы. Тип светильников выбирается с учетом следующих факторов:

- требуемое количество освещения;
- безопасность эксплуатации;
- удобство;
- экономичность.

Осуществим проверочный расчет с целью определения того, создает ли существующая система освещения требуемую освещенность по СНиП 23-05-95

и по МУ Расчета искусственного освещения [33]. Для этого определим количество требуемых ламп и их тип.

Размеры исследуемого помещения: длина помещения  $A = 6$  м, ширина помещения  $B = 4$  м, высота потолка в помещении  $H = 3,5$  м. В помещение используются люминесцентные лампы дневного света (ЛД).

Так как помещение со светлым потолком и стенами, примем коэффициенты отражения стен  $p_c = 30\%$  и потолка  $p_n = 70\%$ . Коэффициент  $k$  для помещений, освещаемых люминесцентными лампами, при условии чистки светильников не реже двух раз в год, берется равным от 1,4 до 1,5. Коэффициент запаса  $k = 1,5$ ; поправочный коэффициент  $z = 1,1$ .

По формуле (26) определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью ( $h$ ).

$$h = H - h_p - h_c, \quad (26)$$

где  $H$  – высота потолка в помещении, м,  $H = 3,5$  м;

$h_p$  – расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м,  $h_p = 0,8$  м;

$h_c$  – расстояние от потолка до светильника, м,  $h_c = 0,1$ .

Следовательно,  $h = 2,6$  м. Коэффициент использования может быть определен по индексу помещения ( $i$ ), рассчитываемому по формуле (27):

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (27)$$

где  $A$  – длина помещения, м,  $A = 6$  м;

$B$  – ширина помещения, м,  $B = 4$  м.

$$i = \frac{6 \cdot 4}{2,6 \cdot 10} = 0,92$$

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений  $i$ ,  $p_c$  и  $p_n$  примем  $\eta = 46\%$ .

Световой поток создаваемой каждой из ламп рассчитывается по формуле (28):

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta}, \quad (28)$$

где  $\Phi$  – световой поток одной лампы,  $F = 1650$  лк;  
 $E$  – минимальная освещенность, лк,  $E = 200$  лк;  
 $S$  – площадь помещения.  $m^2$ ,  $S = 24 m^2$ ;  
 $z$  – поправочный коэффициент,  $z = 1,1$ ;  
 $k$  – коэффициент запаса,  $k = 1,5$ ;  
 $\eta$  – коэффициент использования осветителей,  $\eta = 46 \%$ ;  
 $n$  – число светильников в помещении.

Рассчитаем количество лампочек в помещении, выразив отношение из формулы (28)

$$n = \frac{200 \cdot 24 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{1650 \cdot 0,46} = 10,4$$

Таким образом, используемые люминесцентные лампы дневного света (ЛД) в качестве 10 шт., мощностью 30 Вт, потребляемые ток 0,34 А при питании от сети 220 В, достаточны для обеспечения минимальной требуемой освещенности в анализируемом помещении.

Для обеспечения стабильной освещенности необходимо проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год. Также необходимо своевременно производить замену перегоревших ламп.

### **6.2.1.5 Психофизические факторы**

Метролог, разрабатывающий документацию, вынужден длительное время проводить за работой с ПЭВМ. После работы в сидячем положении у работника можно диагностировать напряжение зрительного аппарата, болезненные ощущения в глазах и пояснице, головную боль и усталость. Последствия работы в таких условиях грозят спаду работоспособности.

Работа с исследуемым объектом – «ИМИР» и пассивное наблюдением за его работой может привести к монотонности производственной обстановки.

Опасность монотонности труда заключается в снижении внимания к процессу работы, быстрой утомляемости и снижении интереса к трудовому процессу.

Для минимизации описанных последствий во время рабочей смены сотрудник должен выполнять комплекс физических упражнений. А также согласно [20] необходимо правильно устанавливать режим труда и отдыха. В том числе делать перерывы по 10-15 минут через каждые 45-60 минут работы.

#### **6.2.1.6 Электробезопасность**

При работе с ПЭВМ и исследуемым объектом – «ИМИР» при нарушении правил электробезопасности возможно поражение электрическим током. Основные причины воздействия тока на человека:

- наличие проводов с поврежденной изоляцией;
- прикосновение к токоведущим частям;
- отсутствие предохранительных кожухов у розеток сети питания.

Поражающее действие электрического тока зависит от значения и длительности протекания тока через тело человека, рода и частоты тока, индивидуальных свойств человека. Прохождение электрического тока через организм человека оказывает следующие виды воздействия:

- термическое: ожог отдельных участков тела, нагрев крови и кровеносных сосудов;
- электролитическое: разложение крови;
- биологическое действия.

Согласно [23] напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 14.

Таблица 14 - Значения напряжений и токов, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электрооборудования

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки и установлены исходя из реакции ощущения.

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по [25].

Электробезопасность должна обеспечиваться:

- конструкцией электроустановок;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- защитные барьеры;
- безопасное расположение токоведущих частей.
- изоляция токоведущих частей (основная, дополнительная, усиленная, двойная);
- изоляция рабочего места;
- малое напряжение;
- защитное отключение;
- электрическое разделение;
- предупредительная сигнализация, блокировки, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы:

- защитное заземление;
- зануление;
- систему защитных проводов;
- защитное отключение;
- изоляция нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- простое и защитное разделения цепей;
- компенсация токов замыкания на землю;
- электроизоляционные средства.

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить мероприятия, заключающиеся в проведении первичного, внеочередного и повторного инструктажа по электробезопасности.

При соблюдении вышеуказанных действий риск поражения электрическим током сводится к минимуму.

### **6.3 Экологическая безопасность**

Производственная деятельность человека оказывает существенное влияние на окружающую среду. Разработка комплекта документов на исследуемый объект – «ИМИР», в следствии работа с ПЭВМ не относится к промышленной и не является источником выброса вредных веществ, поступающих в окружающую среду.

В процессе эксплуатации ни усилитель, ни ПЭВМ не выделяют паров кислот и щелочей, газов и т.п.

При завершении срока службы ПЭВМ и «ИМИР» подлежат утилизации по технологии, принятой на предприятии, эксплуатирующем данные приборы. Если на предприятии нет отдела по утилизации, следует доверить утилизацию оборудования и оформление документов специалистам, обратившись в авторизованный центр сервисной поддержки в вашем регионе. Металлические и пластиковые составляющие прибора пойдут на переработку, а электронные платы будут отправлены на аффинажный завод для извлечения драгметаллов.

При работе может возникнуть проблема с утилизацией накопленных перегоревших люминесцентных ламп. Требования к хранению и утилизации ртутных и ртутносодержащих ламп отражены в СанПин 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления» [29] и Федеральном законе №89 «Об отходах производства и потребления» [30]. Так как при повреждении хрупкой колбы лампы, пары ртути мгновенно попадут в атмосферу, утилизация ламп, как бытовой мусор, недопустима. Согласно требованиям и правилам, порядок действий при утилизации ламп должен начинаться с помещения данных ламп в специальные контейнеры в оборудованных под эти нужды помещениях. При накоплении определенного количества ртутьсодержащих и прочих опасных видов ламп их сортируют, помещают в отдельные ячейки и отправляют в профильную компанию для последующей нейтрализации и переработки.

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016 [31] чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Источником чрезвычайных ситуации могут быть техногенное происшествие, авария, катастрофа, опасное природное явление, стихийное бедствие, широко распространенная инфекционная болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений.

При разработке комплекта документов с использованием ПЭВМ наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть во время работы, является пожар, причиной которого может послужить:

- несоблюдение норм пожарной безопасности;
- обрыв проводов;
- курение в неполюженном месте
- замыкание электропроводки оборудования.

Обязательные требования пожарной безопасности, которые необходимо соблюдать, установлены Правилами противопожарного режима в РФ, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 года N 390 (далее - ППР в РФ) [32].

Во избежание возникновения пожара:

- необходимо проводить регулярные проверки пожарной сигнализации, первичных средств пожаротушения;
- запрещается оставлять по окончании рабочего времени не обесточенными оборудование в помещениях, в которых отсутствует дежурный персонал, за исключением дежурного освещения, систем противопожарной защиты;
- запрещается размещать мебель, оборудование и другие предметы на подходах к пожарным кранам внутреннего противопожарного водопровода и первичным средствам пожаротушения, у дверей эвакуационных выходов, люков на балконах и лоджиях, в переходах между секциями и выходами на наружные эвакуационные лестницы;
- запрещается проводить уборку помещения быстроспламеняющимися средствами;

- необходимо проведение инструктажа работников по действиям при пожаре;
- необходимо создание плана эвакуации и размещение его экземпляров в доступных местах.

Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неисправности, проводить плановый осмотр и своевременно устранять все неисправности и неисправные электроприборы и не использовать неисправные электроприборы.

В случае возникновения пожара на рабочем месте, где используется ПЭВМ, необходимо отключить электросеть в помещении (в случае возникновения пожара по причине неисправности электропроводки). Тушение пожара допускается сухим песком или углекислотным огнетушителем.

## **6.5 Выводы к главе**

В ходе разработки раздела «Социальная ответственность» были установлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке документации на измеритель моментов инерции роторов-маховиков «ИМИР». По мере анализа данных факторов были представлены пути решения и установки мероприятий по исключению данных факторов. Так как работа по разработке документации производится сидя перед ПЭВМ, для установки более комфортного рабочего места, в разделе был рассмотрен комплекс мероприятий по организации и компоновке рабочей зоны инженера-метролога.

## Заключение

Задача системы ориентации и стабилизации космического аппарата (КА), заключается в обеспечении его устойчивого движения по заданной траектории. Надежность системы непосредственно зависит от точности технологических параметров КА, в том числе массово-инерционных параметров. Контроль массово-инерционных параметров составных частей системы ориентации и стабилизации КА проводится на этапе окончательной сборки изделия для установления их действительных значений и проверки соответствия заданным допускам.

Анализ литературы и патентный поиск показал, что современные установки контроля массово-инерционных характеристик показывают низкие характеристики точности. Производительность таких установок не позволяет повысить точность контроля массово-инерционных характеристик, что делает актуальной задачу модернизации конструкции установок и методического обеспечения для измерений характеристик с целью уменьшения продолжительности экспериментальной работы и повышения точности определения характеристик.

Таким образом, в настоящее время актуально создание полу-автоматизированных измерительно вычислительных комплексов контроля, обеспечивающие высокие показатели точности.

Модернизация процесса измерения момента инерции роторов-маховиков в АО «НПЦ «Полус» была произведена разработкой измерителя момента инерции роторов-маховиков «ИМИР». Ввод данной установки решит и исключит существующие описанные трудности и недостатки процесса измерения момента инерции.

В ходе работы над магистерской диссертацией были выполнены следующие задачи.

1 Обзор научно-исследовательских публикаций в области механики, в частности область динамики. Поиск патентов и обзор установок, измеряющих момент инерции.

2 Анализ актуальности выбранной тематики. Описание системы ориентации и стабилизации КА. Описание недавно разработанного двигателя-маховика, на котором используются контролируемые маховики.

3 Описание инструкции измерений момента инерции, проводимые с помощью «ИМИР».

4 Выявление проблем в области метрологического обеспечения процесса измерения массово-инерционных характеристик. Определение метрологического обеспечения измерителя момента инерции роторов-маховиков «ИМИР».

5 Разработка методики испытаний и технического условия ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ на измеритель моментов инерции роторов-маховиков «ИМИР».

6 Расчет надежности эксплуатационной безотказности элементов счетчика «ИМИР».

В ходе работы над магистерской диссертацией была проведена большая работа над повышением уровня метрологического обеспечения процесса контроля массово-инерционных характеристик роторов-маховиков в объеме разработки методики испытаний при предъявительских, приемо-сдаточных и типовых испытаниях и оформления соответствующего документа, технического условия. Также была проведена оценка целесообразности разработки опытно-конструкторской разработки, измерителя момента инерции роторов-маховиков «ИМИР» в объеме расчета эксплуатационной безотказности элементов счетчика «ИМИР».

## Список использованных источников

1. Васильев В.Н. Системы ориентации космических аппаратов – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009 – 310 с.
2. Динамический стенд исследования характеристик и режимов работы двигателя-маховика системы ориентации и стабилизации/ Д.Е. Сеницкий, А.В.Мурыгин// Сибирский журнал науки и техники. – 2013. – №47. – С. 82–86.
3. Комплектное электрооборудование для космических аппаратов [Электронный ресурс] – <http://www.polus.tomsknet.ru/?id=211> (дата обращения 05.03.20)
4. Двигатель маховик для малых космических аппаратов/ Д.В.Ермаков, А.А. Денисова, Н.А.Колеватова// Сибирский журнал науки и техники. – 2016. – №3. – С. 684–690.
5. Конструкции и пути совершенствования систем контроля характеристик геометрии масс летательных аппаратов/ А.В.Ключников, М.А. Васильев, Е.Н.Патокина// Надежность и качество сложных систем. – 2018. – №3. – С. 105–113.
- 9 Матвеев, Е. В. Направления развития технологий и оборудования для измерений инерционных характеристик изделий РКТ / Е. В. Матвеев // Новые технологии : тр. Всерос. науч.-техн. конф. - М. : РАН, 2012. - Т. 1. -С. 44-52.
- 10 Оптический датчик положения КТIR0411S. Характеристики, применение [Электронный ресурс] – [URL:http://mypractic.ru/shhelevoj-opticheskij-datchik-polozheniya-ktir0411s-xarakteristiki-primeneniye.html](http://mypractic.ru/shhelevoj-opticheskij-datchik-polozheniya-ktir0411s-xarakteristiki-primeneniye.html) - Загл.с экрана (дата обращения 28.04.2020)
- 11 ГОСТ 2.114-2016 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Технические условия. – М.:Стандартинформ. – 2019. – 24 с.
- 12 ГОСТ Р 8.820-2013 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Метрологическое обеспечение. Основные положения. – М.:Стандартинформ. – 2019. – 11 с.

13 ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – М.:Стандартинформ. – 2011. – 24 с.

14 ГОСТ 30630.0.0-99 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Общие требования. – М.:ИПК Издательство стандартов. – 2000. – 28 с.

15 ГОСТ 28231-89 Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов Часть 2 Испытания. Крепление элементов, аппаратуры и других изделий в процессе динамических испытаний, включая удар (Ea), многократные удары (Eb), вибрацию (Fc и Fd), линейное ускорение(Ga) и руководство. – М.:Стандартинформ. – 2006. – 15 с.

16 ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Термины и определения». – М.:ИПК Издательство стандартов. – 2002. – 24 с.

17 Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств/ С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян. – М.:БГУИР, 2010. – 71 с.

18 ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: «Стандартинформ», 2016. – 16 с.;

19 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: «Минздрав России», 1997. – 21 с.;

20 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: «Минздрав России», 2003. – 36 с.;

21 СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах – М.: «Минздрав России», 2017. – 72.;

22 СанПиН 2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: «Минздрав России», 2003. – 24.;

23 Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: «Госсанэпиднадзор», 2005. – 142.;

24 ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда. Защитное заземление, зануление. – М.: «Стандартинформ», 2016. – 10 с.;

25 ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.: «Стандартинформ», 2016. – 6 с.;

26 ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: «Стандартинформ», 2010. – 25 с.;

27 СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: «Минздрав России», 2003. – 19 с.;

28 СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение. – М.: «Госстрой России», 2003. – 43 с.;

29 СанПин 2.1.7.1322-03 Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления. – М.: «Минздрав России», 2004. – 16 с.;

30 Федеральный закон Российской Федерации от 24.06.1998 N 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (ред. от 13.07.2015)[Электронный ресурс] – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) – Загл. с экрана (дата обращения 13.05.2018).

31 ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения. – М.: «Стандартинформ», 2016. – 12 с.;

32 ППР - 2012. Правила противопожарного режима в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2012. - 92 с.

33 Назаренко О.Б. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 20 с.

**Приложение А  
(справочное)**

**The flywheel rotor in the spacecraft orientation and stabilization system**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ81	Михеева Валерия Андреевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер метролог 1 кат. АО «НПЦ Полюс»	Вергасов О.Ю.			

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Пичугова И.Л.			

## **Introduction**

The subject of the study is the test methods for semi-automated control installations of mass inertia characteristics.

The subject of research is the measurement instrument of the moment of inertia of the flywheel-rotors “IMIR”.

The scope of the developed documents is metrological support while carrying out tests of test equipment in the department of the chief metrologist of JSC Research and Production Center “Polus”.

The relevance of the work consists in increasing the level of metrological support of the developed semi-automatic installation, intended to modernize the process of measuring the moment of inertia of rotors-flywheels in JSC NPC “Polyus”.

The purpose of the work is to increase the level of metrological support for the process of monitoring the inertial characteristics of flywheel rotors to the extent of developing the test methodology for the presentation, acceptance and standard tests and the design of the relevant document, technical specifications.

The following tasks have been carried out in accordance with the stated objective.

- 1 To review research publications in the field of mechanics, in particular the field of dynamics; to search for patents and the review of installations measuring moment of inertia.

- 2 To analyse the relevance of the selected topic; to describe the system of the orientation and stabilisation of the spacecraft; to describe a newly developed flywheel engine using controlled flywheels.

- 3 To introduce and describe the method of measuring the moment of inertia carried out with the help of “IMIR”.

4 To identify problems in metrological support of mass inertia measurement.; to determine the metrological support of the measuring moment of inertia of flywheel rotors “IMIR”.

5 To develop test procedure and technical specifications for “IMIR”

6 To calculate the operational safety and reliability of the “IMIR” counter elements.

Modern spacecraft configurations have orientation and stabilization systems which measure and determine the angular position and velocity of the spacecraft and its executive organs. One of such actuating mechanisms is the flywheel engine, which generates dynamic control moments according to the coordinate system of the spacecraft. The flywheel rotor performs the function of flyweight of flywheel engine. The flywheel-rotor structure is in the form of a disk with permanent magnets on it.

The experimental mass inertia control of the final stage of the assembly of the spacecraft shall be carried out with the use of specialized test and test facilities that take into account the design features of the spacecraft. The low accuracy and performance characteristics of such installations do not allow improving the accuracy of mass inertia controls, what makes the necessity to modernize the design of the installations and the methodology for measuring the characteristics in order to reduce the duration of the trial work and improve the accuracy of the definition.

Since it is necessary to control the control torque of the flywheel engines under laboratory conditions, let us consider dependence of the control torque of the flywheel engine on the moment inertia.

The rotation of the flywheel engine body shall be carried out in accordance with the law of kinetic torque retention (1):

$$M_{\text{ypp}} = \frac{dH}{dt} = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = J \cdot \alpha, \quad (1)$$

where H is the kinetic moment of the flywheel;

J is the moment of inertia of the rotating elements;

$\Omega$  is the angular speed of rotation of the flywheel;

$\alpha$  is the angular acceleration of the electric motor.

From this equation it can be concluded that the control torque applied to the spacecraft body depends on the moment of inertia of the flywheel rotor.

The moment of inertia of the mass is a rotational analogue of the mass and a measure of the mass distribution about the axis.

The mass of a solid body ( $M$ ) is the measure of its inertia in forward motion and it is equal to the sum of the masses comprising its points ( $N$ ) according to the formula (2):

$$M = \sum_{i=1}^N m_i. \quad (2)$$

Consequently, in order to control the motion and to ensure the stability of the system, measurement of the moment of inertia of the rotational components of the system is a necessary procedure in the design and assembly test cycle of the flywheel engine.

The work on modernization or development of device for measure the moment of inertia requires the choice of a measurement method of moment of inertia, and for this purpose the classifications of existing methods for measuring the moment of inertia need to be analysed.

There are two fundamentally different ways of determining the moment of inertia: analytical and experimental. If the part is made of a homogeneous material and has a simple, correct geometry, it is relevant to choose an analytical method. There are several special programs that make it most convenient to calculate the moment of inertia of the parts with a high degree of precision: T-PLEX CAD, Solidworks, “Compass”, etc. In the case of determining the moment of inertia of the flywheel rotors, an analytical method for calculating the moment of inertia is not appropriate, as the flywheel rotor has a complex shape and the calculation has to be done quickly with the required high precision.

The modernization of the process of measuring the moment of inertia of the rotor-flywheels in JSC Research and Production Center “Polus” was necessary, since the test apparatus implementing the pendulum method had a number of disadvantages: massiveness, lack of mobility, manual adjustment of the rolling of the

rotors-flywheels; use of measuring means for rolling period of the flywheel rotors, cost of calibration; manual calculation of the moment of inertia.

Due to the above, the process of measuring the moment of inertia of the flywheel rotors was labour-intensive and time-consuming.

The developed semi-automated measuring and control installation, which makes it possible to perform measurements of inertial characteristics by the rolling platform method, is an accurate mobile device. All the considerations in the development of the installation have led to a simplification of the measurement of the moment of inertia and a reduction in the time spent. The addition of a table to the structure has reduced the impact of the human factor on the measurement process, thereby reducing the error in measuring the rotational periods of the flywheel rotors. And replacing the frequency meter with a programmable microcontroller automated the timing of inertia.

The process of measuring the moments of inertia of the products with such equipment as “IMIR” best describes the concept of measurements, and the installations, according to its purpose, can be attributed only to measurement instruments. However, due to the lack of the primary measurement standard of the moment of inertia unit and therefore the lack of the verification chains to the measurement instruments, which measure the moment of inertia, “IMIR” has been declared to the test equipment.

The probability of the fail-free operation and average service life of the «IMIR»’s counter was calculated to decide on the correctness of the introduction of the digital measuring part. Also, the test procedure was developed, which was formalized in the technical regulation on “IMIR”.

During the design phase of the device, the reliability of Radio Electronic Devices (Revs) should be evaluated. This procedure is relevant, as the question of whether further development costs are needed is being answered at this stage.

The reliability of the device consists in the ability to maintain its basic parameters and characteristics, which make it possible to perform the necessary

functions in the specified modes during the prescribed time, taking into account the conditions of operation, storage and transport.

During the calculation of parameters of reliability of elements of the counter “IMIR” it was found that with a probability of 98% the minimum time until the supposed first fail is 1 year. That corresponds to the date of annual validation of “IMIR”. The average service life, which was 12 years, was also calculated, which corresponds to the set parameter specified in the “IMIR” Specification.

Presentation, pre-delivery and type tests have been selected. The periodic tests are carried out in the form of an annual validation, since the product is a test equipment, according to the validation procedure.

The main stages of the tests were the tests of the mechanical part of “IMIR” and the digital automated part of “IMIR”. Since the signal received from the output of the photosensor can be presented in the form of a pulse signal, during the tests of the digital measuring part of “IMIR”, it is possible to choose as a measurement instrument the pulse generator. After the tests of the digital measuring part of “IMIR”, tests are carried out on the mechanical installation of the measurement of the moment of inertia. The material measure of moment inertia and the proven digital measuring part of “IMIR” are used as measuring instrument.

# **1 The flywheel rotor in the spacecraft orientation and stabilization system**

## **1.1 The spacecraft orientation and stabilization system**

The term "spacecraft" unites artificial satellites of the Earth and other planets, orbital and interplanetary stations, spacecraft, and transfer vehicles for supplying. Automatic satellites, which dominate in number among spacecraft, watch the Earth's surface and cloud cover, communicate and relay television signals, solve navigation problems, and explore outer space and distant astronomical objects.

The space vehicle moving in outer space experiences has little influence from the external environment. Most of the time its flight takes place outside re-entry into atmosphere, with its engines switched off, under the influence of gravitation force. In such conditions, the motion of the spacecraft's center of mass and the motion around the center of mass become independent of each other [1].

The current spacecraft configurations include orientation and stabilization systems, which are complex systems, constructed by using precision equipment. These systems support the motion of the center of mass along the fixed flight path, the fixed angular position and angular velocities of the spacecraft, and its executive devices [2]. Once the spacecraft has been placed in orbit, the motion of the spacecraft's center of mass is occasionally monitored for short periods of time. An example of such a system is a flywheel engine, which generated dynamic control moments along three axes related to the spacecraft coordinate system.

## **1.2 Flywheel engines**

The electromechanical executive devices are intended for forming dynamic and gyroscopic control moments along the axes of stabilization of the spacecraft.

Field of application is satellites for Earth remote sensing, meteorological satellites and spacecraft, which provide the orbital network of the space communications, television transmission and navigation systems [3].

The flywheel engine has one degree of freedom of movement associated with its rotation around the axis of symmetry (Figure A.1).

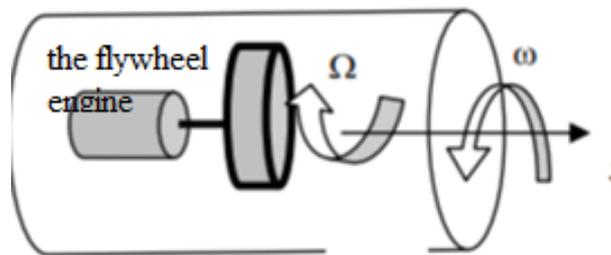


Figure A.1 An engine flywheel

The flywheels engines are based on a controlled momentum non-contact engine of the constant current.

The flywheel engine is a special-design electric motor with inertial load - the flywheel, which is used to control the angular position of the spacecraft. Such a device is sometimes called a reactive or inertial flywheel. The flywheel engine provides reversible rotation and braking of the flywheel rotor. Depending on the control signal at the inlet of the flywheel engine, the value of the control (rotation) moment will smoothly change in the given range.

The design of flywheel engines is very diverse. The installation of the flywheel in the form of a solid disk on the output shaft of a conventional flywheel engine has a significant disadvantage – irrational use of the inertial mass located near the shaft of the flywheel engine. This disadvantage can be avoided by using the reversed design of the flywheel engine when the rotor is located outside the stator, i.e. the flywheel engine is embedded in the flywheel [1].

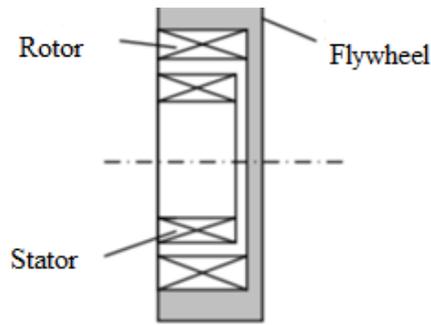


Figure A.2 Reversed design of the flywheel engine

The flywheel kinetic moment change is coordinate through adjusting the engine speed. The rotation of the flywheel with the moment of inertia  $J_M$  under the influence of the full control moment of the stator of the electric motor  $M_M$  is described by equation (1)

$$J_M (\Omega' + \omega) = M_M, \quad (1)$$

where  $\Omega$  – flywheel velocity relative to the spacecraft body;

$\omega$  – rotational speed of the spacecraft.

JSC «Research and Production Center “Polyus” has developed a small-sized flywheel engine suitable for use as a part of small spacecraft. According to the data on the website of JSC «Research and Production Center “Polus” [3], the developed flywheel engine is used in many small spacecraft compositions.

For example, the space platform "NT-100" developed for the design and manufacture of small spacecraft for remote sensing of the Earth.

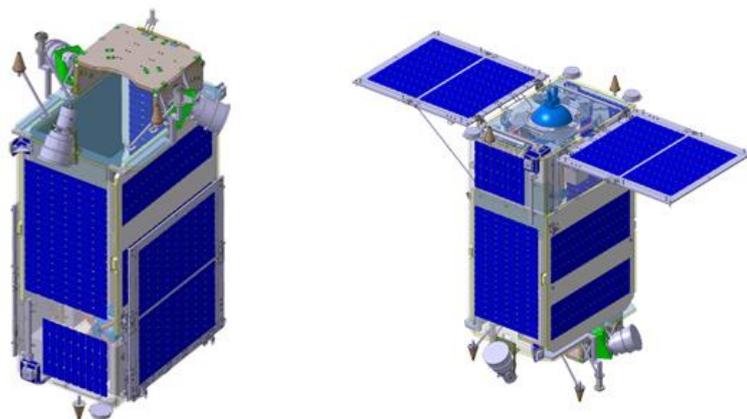


Figure A.3 Space platform "NT-100" in launch and operational positions

The body of the developed flywheel engine is in the form of a square base. Its landing surface is technologically prepared for the spacecraft installation and has four technological openings for fasteners, the location of which eliminates the ambiguity of the installation of the small flywheel engine. The active parts of the flywheel engine are fixed on the flywheel disk, which consist of two inductors – an external and an internal inductor. Magnets made of “samarium-cobalt” alloy are mounted on the outside. Before soldering, the magnets are selected according to the value of the magnetic flux. The stator winding is located on the dielectric frame. The flywheel rotor shaft is mounted on the outer rings of precision radial-thrust ball bearings, which are clamped in the axial direction by flanges. The internal rings of the bearings are mounted directly on the central axis of the rotor with a tension and are fixed with a nut.

The rotary system of a small flywheel engine consists of a flywheel, inductors, magnets, a sensor of angular position and axis of the rotor, on which the internal rings of ball bearings are mounted.

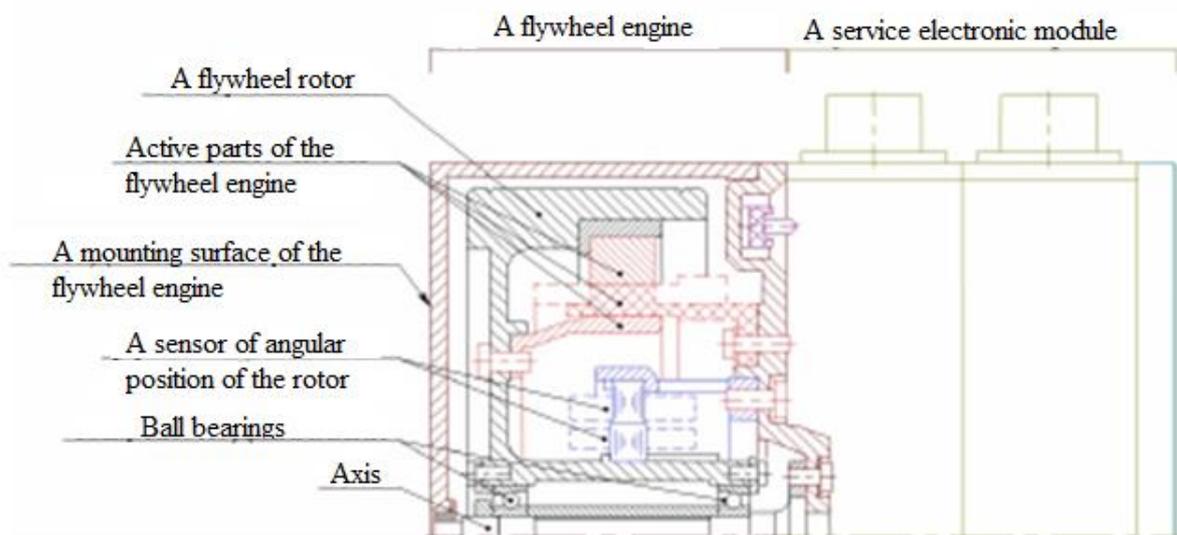


Figure A.4 Meridian section of the small engine flywheel

The external inductor of the synchronous machine is embodied in the form of a bushing with serialized magnets, and an internal inductor in the form of a bushing.

Both bushings are made of magnetic conductive steel. The bushings are bolted to the flywheel. In the gap between the magnets and the internal inductor, a non-magnetic frame is arranged, in the grooves of which the winding is arranged.

The most dangerous moment is the residual imbalance of the rotary system, since dynamic loads are directly related to the level of contact voltages between the balls and rolling tracks. When the values of voltage are reached, tracks and rolling bodies can be worn out. In addition, the pressure due to imbalance of the flywheel shaft inevitably causes friction forces and, consequently, heat generation, which leads to an increase in the moment of resistance to rotation of the rotor, and also accelerates the aging process of the lubricant. In accordance with the general requirements for the rotor system, it was subjected to dynamic balancing, since this is the only way to eliminate all types of imbalance with the necessary accuracy.

In order to carry out dynamic balancing, the rotor of the flywheel engine has two correction planes arranged on the flywheel rim at the points of greatest distance from the axis of rotation. Balancing is carried out by removing the material with a laser beam in the areas of the annular ducts of the correction planes [4].

### 1.3 The relevance of improving the control systems of the mass-inertial characteristics of the flywheel rotors

During assembling and manufacturing flywheel engines it is usually necessary to accurately determine the mass-inertial characteristics of flywheel rotors. The desire to increase operational efficiency and reduce the probability of deviations from the normal operating conditions of flywheel engines, what in this case can lead to an abnormal flight mode of the spacecraft, requires high-quality balancing of the apparatus during manufacture and assembly, ensuring the specified standards of static and moment balancing [5].

Currently the accuracy of the theoretical calculation of the values of mass-inertial characteristics, as a rule, obtained at the spacecraft design stage, is from 5 to

20 % or more, depending on their actual values [6]. One of the reasons for the deviation of the actual characteristics from the calculated values may be the presence of random errors in the characteristics of the equipment elements which inevitably arise at the stages of production and assembly of the spacecraft. Obviously, increasing the requirements for the accuracy of assembly of the spacecraft based on the results of a theoretical calculation of the mass inertia characteristics to tenths and hundredths of a percent will require the use of additional precision instrumentation.

Since at the current level of technology development the production of precision equipment is expensive and leads to increasing the cost of manufactured spacecraft, experimental or computational-experimental methods are usually used to determine mass-inertial characteristics. So, the common method of determining the moment of inertia of bodies of revolution is the inverted unifilar method due to the convenience and simplicity of placing the product on the measuring table of the installation and ease of access to the standard correction plane. The subsequent calculation of the deviation from the specified mass-inertial parameters is carried out according to special methods using the results obtained on control and measuring installations.

In practice, the process of determining the mass-inertial characteristics of all the necessary components of a single spacecraft in control and measuring installations can take from one shift to several, and this is not counting the duration of the process of bringing the mass-inertial parameters to the ones specified in the documentation and further re-verification. The above circumstances give this task the relevance of further improvement and modernization of instrumentation designed to determine and ensure the mass-inertial characteristics of the spacecraft.

## **Conclusion**

The mission of the Spacecraft Orientation and Stabilization System is to ensure its steady movement along an intended path. The reliability of the system depends directly on the accuracy of technological parameters of the spacecraft, including mass-inertial parameters. The mass-inertia parameters of the component parts of the spacecraft's orientation and stabilization systems are controlled at the stage of final assembly of the article in order to establish their true values and verify compliance with the specified tolerances.

Literature analysis and patent searches have shown that modern mass inertia controls show low accuracy characteristics. The capacity of such installations does not allow for the improvement of the accuracy of the mass inertia control, which makes it a pressing task to modernize the design of the installations and the methodology for measuring characteristics in order to reduce the duration of the experimental work and improve the accuracy of the characterization.

Therefore, the creation of semi-automated measurement complexes providing high accuracy is now a topical issue.

The modernization of the process of measuring the moment of inertia of the rotors-flywheels in JSC Research and Production Center "Polus" was carried out by the development measurement installation, which measures the moment of inertia of the flywheels rotors or "IMIR". The introduction of this installation will solve and eliminate the existing described difficulties and shortcomings of the measurement process.

Scientific and practical relevance:

- Theoretically, the relevance of improving the systems of mass inertia of rotors is justified;
- The method of measuring the moment of inertia of the rotors and flywheels on the semi-automated installation "IMIR" has been developed;

— Theoretically, the metrological support of “IMIR”, in the scope of the validation procedure, which implements the control of the compliance of the “IMIR’s” characteristics with the requirements of unity and necessary accuracy of measurements, is justified;

— Technical Specifications on “IMIR” has been developed;

— Calculation of the operational reliability of the elements of the “IMIR’s” counter.

The developed documentation will be attached to the set of “IMIR’s” technical documentation. Presentation, acceptance and type tests “IMIR” will be carried out according to the developed procedure, after positive results “IMIR” will be put into operation at JSC Research and Production Center “Polus”.

**Приложение Б**  
(обязательное)  
**Технические условия**

Акционерное Общество «Научно-производственный центр «Полюс»

СОГЛАСОВАНО

\_\_\_\_\_ ФИО  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Главный конструктор  
АО «НПЦ «Полюс»

\_\_\_\_\_ ФИО  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ИЗМЕРИТЕЛЬ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ РОТОРОВ-МАХОВИКОВ «ИМИР»**

Технические условия  
ЕИЖА ХХХХХХ.001 ТУ

Заместитель главного конструктора

\_\_\_\_\_ ФИО

Начальник отдела

\_\_\_\_\_ ФИО

Начальник лаборатории

\_\_\_\_\_ ФИО

Ответственный исполнитель

\_\_\_\_\_ ФИО

Ине. № подл.	
Взам. инв. №	
Ине. № дубл.	
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ

Лист

## Содержание

	С.
1 Технические требования	3
1.1 Основные параметры и характеристики	3
1.2 Требования к конструкции	4
1.3 Требования надежности	7
1.4 Требования стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействиям	7
1.5 Требования эргономики и технической эстетики	8
1.6 Требования к метрологическому обеспечению	8
1.7 Комплектность	8
1.8 Маркировка	9
1.9 Упаковка	10
2 Требования безопасности	11
3 Правила приемки	13
3.1 Общие требования	13
3.2 Программа испытаний	13
4 Методы испытаний	15
4.1 Средства измерения	15
4.2 Указания мер безопасности	17
4.3 Подготовка к работе	17
4.4 Проведение испытаний	18
6 Транспортировка и хранение	30
6.1 Транспортирование	30
6.2 Хранение	30
7 Указания по эксплуатации	31
8 Гарантия предприятия-изготовителя	32
Приложение А (обязательное) Установка измерения момента инерции	33
Приложение Б (обязательное) Форма протокола испытаний	34
Лист регистрации измерений	51

Име. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Име. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

					ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		2

Настоящие технические условия распространяются на измеритель момента инерции роторов-маховиков ИМИР, именуемый в дальнейшем ИМИР, предназначенный для измерения периодов вращения и расчета момента инерции роторов-маховиков.

ИМИР представляет собой специализированную контрольно-испытательную установку, позволяющую выполнять измерения момента инерции роторов-маховиков методом колебаний.

В состав ИМИР входят:

- установка измерения момента инерции ЕИЖА.ХХ.ХХХ.ХХ.ХЧ;
- фотодатчик с кабелем ЕИЖА.ХХХХХХ.ХХХ;
- счетчик с программой для микроконтроллера;
- меры моментов инерции;
- нуль-модемный кабель RS-232;
- персональный компьютер Pentium с установленным программным обеспечением ИМИР и MicrosoftOffice (2003 или более новая версия).

Изображение установки измерения момента инерции с указанием элементов приведено в приложении А.

Форма протоколов предъявительских, приемо-сдаточных и типовых испытаний приведена в приложение Б.

В технических условиях приняты следующие условные сокращения:

- МИ – момент инерции;
- ОТК – отдел технического контроля;
- ПК – персональный компьютер;
- ПО – программное обеспечение;
- СИ – средства измерений;
- ТУ – технические условия.

Пример записи ИМИР при заказе и в конструкторской документации: «Измеритель моментов инерции роторов-маховиков ИМИР ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ».

Име. № подл.	
Подп. и дата	
Взам.име. №	
Име. № дубл.	
Подп. и дата	

						ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			

# 1 Технические требования

## 1.1 Основные параметры и характеристики

1.1.1 ИМИР должен соответствовать требованиям настоящих ТУ и комплекту конструкторской документации XXXXXXX.XXX.

1.1.2 Электропитание ИМИР должно осуществляться от сети напряжением от 198 до 242 В и частотой от 49,6 до 50,4 Гц.

1.1.3 ИМИР должен удовлетворять требований настоящих ТУ при работе в следующих условиях:

- температура окружающей среды от 288 до 298 К;
- относительная влажность воздуха от 50 до 80 %;
- атмосферное давление от 86 до 106 кПа (645 – 795 мм рт. ст.);
- напряженность магнитного поля в месте установки ИМИР не более 0,5 Э.

1.1.4 Передача данных с ИМИР на ПК должна осуществляется по интерфейсу RS-232.

1.1.5 ПО ИМИР должно работать в операционной среде Windows. ПО ИМИР должно производить расчет момента инерции и подготовку протокола измерений.

1.1.6 Максимальное количество заданных периодов вращения не должно превышать 20 периодов.

1.1.7 Максимальное время выполнения цикла измерений не должно превышать 130 с.

1.1.8 Абсолютная погрешность измерения периода вращения ротора-маховика составляет 14 мкс.

1.1.9 Абсолютная погрешность расчета момента инерции ротора-маховика составляет  $1 \cdot 10^{-15}$  кг·м<sup>2</sup>.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ИИЖА. XXXXXXX.001ТУ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

1.1.11 Время готовности ИМИР к испытаниям после включения всех блоков не должно превышать 15 мин.

1.1.12 Время непрерывной работы в нормальных условиях не должно превышать 8 ч.

1.1.13 Время выдержки ИМИР до начала измерений в помещении, где проводятся измерения, должно составлять не менее 2 ч.

1.1.14 Время выдержки роторов-маховиков и мер МИ до начала измерений в помещении, где проводятся измерения, должно составлять не менее 2 ч – при массе до 2 кг; не менее 3 ч – при массе от 2 до 10 кг.

1.1.15 Масса роторов-маховиков должна быть в диапазоне от 900 г до 10 кг. При необходимости контроля роторов-маховиков, выходящих по массе из диапазона, установка измерения момента инерции потребует модернизации (подбор торсиона с необходимыми параметрами).

1.1.16 Геометрические параметры роторов-маховиков должны соответствовать требованиям настоящего ТУ и сборочных чертежей, с учетом подточки поверхностей при несоответствии момента инерции.

1.1.15 ИМИР должен надежно работать с сохранением всех технических характеристик в пределах норм настоящих ТУ в течение срока службы с учетом установленных требований по хранению и транспортировке.

## 1.2 Требования к конструкции

1.2.1 ИМИР должен состоять из следующих блоков:

- установка, с размещенной на ней колебательной системой и оптопарой;
- счетчик, представляющий собой микропроцессорный блок с источником питания;
- ПК с программным приложением ИМИР.

1.2.2 Электрорадиокомпоненты размещены на одной плате.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

1.2.3 Цифровой блок измерения собран на микросхеме DD1 и представляет собой микроконтроллер с индикатором. Лицевая панель счетчика представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Лицевая панель счетчика ИМИР

1.2.4 Блок питания собран по схеме двухполупериодного выпрямителя с последующей стабилизацией выходного напряжения.

#### 1.2.5 Габаритные размеры блоков ИМИР

- установка измерения момент инерции, мм – 600x600x900;
- счетчик, мм – 150x100x60;
- фотодатчик с кабелем, мм – 400x30x30.

1.2.6 ИМИР должен быть выполнен в виде отдельных переносных блоков.

Масса блоков:

- установка измерения момент инерции – 57 кг;
- счетчик – 638 г;
- фотодатчик с креплением и кабелем – 150 г.

1.2.7 Конструкция ИМИР должна обеспечивать свободный доступ ко всем элементам при регулировке и ремонте.

1.2.8 Расположение и маркировка органов управления и разъемных соединителей должны обеспечивать удобство работы обслуживающего персонала.

Име. № подл.	
Подп. и дата	
Взам.име. №	
Име. № дубл.	
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

1.2.9 На лицевой панели счетчика расположены

- жидкокристаллический дисплей;
- индикаторы СЕТЬ, ИЗМЕРЕНИЕ;
- кнопки СБРОС, ВЫБОР, СТАРТ.

1.2.10 На задней панели счетчика расположены

- кнопка ВКЛ./ВЫКЛ.;
- предохранитель;
- гнездо ОД для подключения фотодатчика;
- гнездо Г для подключения генератора ИМИР;
- гнездо RS-232 для подключения ПК;
- переключатель ОД/Г для переключения режимов измерения.

1.2.11 Конструкция ИМИР должна обеспечивать электрическую безопасность работы обслуживающего персонала.

1.2.12 Сопротивление изоляции разобращенных токоведущих цепей ИМИР относительно корпуса и друг друга должны быть:

- в нормальных климатических условиях (температура окружающей среды от 288 до 298 К, относительная влажность воздуха от 50 до 80 %, атмосферное давление от 86 до 106 кПа – не менее 20 Мом (устройства) и 50 Мом (кабели);

- при температуре окружающей среды  $(25\pm 3)$  °С и относительной влажности воздуха  $(95\pm 3)$  % – не менее 1 Мом (устройства) и 5 Мом (кабели).

1.2.13 Электрическая прочность изоляции кабеля питания должна выдерживать без пробоя и перекрытия изоляции в нормальных климатических условиях испытательного напряжения переменного тока 1000 В (действующее значение) частотой 50 Гц в течении 1 мин.

1.2.14 Конструкция укладочных ящиков должна обеспечивать хранение и транспортирование ИМИР в течение всего периода эксплуатации.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам.име. №	Име.№ дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	-------------	-------------	--------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

### 1.3 Требования к надежности

1.3.1 Техническое обслуживание ИМИР должно проводиться при вводе его в эксплуатацию, в дальнейшем – ежемесячно. Проверка должна включать

- проверка качества заземления;
- проверка работоспособности ИМИР во всех режимах;
- проверка состояние рабочих поверхностей клемм и зажимов и т.д.

1.3.2 Ресурс работы ИМИР 1000 ч при эксплуатации в течении 10 лет. В срок эксплуатации входит хранение при температуре от 15 до 25 °С и относительной влажности до 80 %.

1.3.3 Вероятность безотказной работы счетчика ИМИР за время непрерывной 8 ч работы должна быть не менее 0,98. Требования безотказности подтверждается расчетным путем.

1.3.4 Средний срок службы счетчика ИМИР должен быть не менее 10 лет с даты изготовления. Требования подтверждаются расчетным путем.

1.4 Требования стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействиям

1.4.1 ИМИР должен сохранять свои параметры во время и после воздействия на него внешних факторов, изложенным в настоящих ТУ.

1.4.2 ИМИР должен сохранять свои характеристики и работоспособность после воздействия механических нагрузок:

- вибрационных гармонических нагрузок;
- линейных нагрузок;
- ударных нагрузок.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

Лист

8

## 1.5 Требования эргономики и технической эстетики

1.5.1 Составные части ИМИР должны быть окрашены краской (эмалью) мягких тонов.

1.5.2 Индикаторные устройства и органы управления должны быть установлены только на лицевых панелях блоков ИМИР.

## 1.6 Требования к метрологическому обеспечению

1.6.1 ИМИР применяется для узкоспециализированной задачи – создание динамически подобной модели для измерения инерционных характеристик роторов-маховиков.

1.6.2 ИМИР позиционировать, как испытательное оборудование.

1.6.3 Передача единицы величины к мере МИ производить алгоритмическим методом.

1.6.4 Аттестация ИМИР проводится один раз в год, а также после ремонта или модернизации любой составной части ИМИР.

1.6.5 Аттестации ИМИР проводится в соответствии с методикой аттестации и действующими нормативными документами.

## 1.7 Комплектность

1.7.1 Комплект ИМИР приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Комплект ИМИР

Наименование	Обозначение изделия	Количество	Примечание
Установка измерения момента инерции	ЕИЖА.ХХ.ХХХ.ХХ.ХЧ	1 шт.	
Фотодатчик кабелем	ЕИЖА.ХХХХХХ.ХХХ	1 шт.	

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

Лист

9

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------



1.8.6 После проведение периодической аттестации на корпус ИМИР приклеивается этикетка об аттестации. В этикетке должна быть указана дата аттестации, дата очередной аттестации, фамилия исполнителя, местоположение ИМИР.

### 1.9 Упаковка

1.9.1 Упаковка ИМИР должна соответствовать конструкторской документации на ИМИР.

1.9.2 Упаковка ИМИР должна обеспечивать сохранность составных частей ИМИР при транспортировании и хранении в условиях, оговоренных настоящим ТУ.

1.9.3 Перед упаковыванием проверяется комплектность, проводится внешний осмотр.

1.9.4 Составные части ИМИР (устройство, счетчик, меры МИ, кабели), документация должны устанавливаться в свой ящик. Для обеспечения сохранности и устранения возможного перемещения составных частей ИМИР по периметру с внутренней стороны и сверху прокладывается амортизирующий материал.

1.9.5 Маркировка транспортного ящика должны содержать следующие надписи «ОСТОРОЖНО», «ХРУПКОЕ», «БЕРЕЧЬ ОТ ВЛАГИ».

Име. № подл.	
Подп. и дата	
Взам.име. №	
Име. № дубл.	
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

## 2 Требования безопасности

### ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПК БЕЗ ЗАЗЕМЛЕНИЯ;
- ЗАМЕНА ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ FU1 ПРИ ВКЛЮЧЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ ПИТАНИЯ;
- ПРОВЕДЕНИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ И НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ ПРИ ВКЛЮЧЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ ПИТАНИЯ;
- УСТАНОВКА СЧЕТЧИКА НА МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ;
- РАЗМЕЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ И ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСТАНОВОК БЛИЖЕ 30 М ОТ ИМИР.

2.1 ИМИР должен соответствовать требованиям безопасности, изложенных в настоящих ТУ, на всех этапах эксплуатации.

2.2 Отказ ИМИР не должен приводить к возникновению ситуаций, опасных для здоровья и жизни оператора или к повреждениям другой аппаратуры.

2.3 По степени защиты от поражения электрическим током ИМИР относится к классу I.

2.4 К работе с ИМИР допускаются лица, аттестованные для работы на оборудовании с напряжением до 1000 В, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с испытательным прибором, знающие принцип работы ИМИР, ПК и правила их эксплуатацию.

2.5 В помещении, где используется ИМИР, не должно быть едких паров и газов, взрывоопасных и легковоспламеняющихся веществ.

2.6 При работе в помещении с токопроводящими полами рабочее место должно быть укомплектовано резиновым ковриком. Металлические каркасы, основания столов, стеллажей и стульев должны быть заземлены на ту же шину, что и ИМИР.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ	Лист
						12



### 3 Правила приемки

#### 3.1 Общие требования

3.1.1 Правила приемки ИМИР должны соответствовать требованиям, изложенным в настоящих ТУ.

3.1.2 Для проверки соответствия требованиям настоящих ТУ проводятся следующие категории испытаний ИМИР:

- предъявительские;
- приемо-сдаточные;
- типовые.

3.1.3 ИМИР должен поступать на испытания в полном комплекте, указанном п. 1.7 настоящих ТУ, с сопроводительной документацией, имеющей отметки о выполнении предыдущих операций.

#### 3.2 Программа испытаний

3.2.1 Предъявительские, приемо-сдаточные и типовые испытания ИМИР проводятся в соответствии с таблицей 2.

3.2.2 Результаты предъявительских, приемо-сдаточных и типовых испытаний считаются положительными, если ИМИР испытан в полном объеме и соответствует требованиям в настоящих ТУ.

3.2.3 Результаты предъявительских, приемо-сдаточных и типовых испытаний считаются отрицательными, если хотя бы один из составных блоков ИМИР не соответствует требованиям настоящих ТУ.

Не прошедший испытания составной блок ИМИР, подлежит возврату для установления причин дефектов и их устранения.

3.2.4 Повторные предъявительские испытания проводят в объеме проверок, установленных для предъявительских испытаний. В зависимости от характера несоответствий, выявленных при первичных испытаниях, в отдельных

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам.име. №	Име.№ дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	-------------	-------------	--------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ	Лист 14

технически обоснованных случаях повторные предъявительские испытания могут проводиться только в объеме тех проверок, по которым выявлены несоответствия, а также проверки, которые не проводились при первичном предъявлении на испытания.

3.2.5 Повторные приемо-сдаточные испытания проводятся в объеме приемо-сдаточных испытаний после устранения несоответствий, принятия мер по их предупреждению, повторных предъявительских испытаний, проведенных с положительным результатом.

3.2.6 Повторные типовые испытания проводятся в объеме типовых испытаний после устранения несоответствий.

3.3.3 Результаты предъявительских, приемо-сдаточных и типовых испытаний ИМИР оформляется протоколом предъявительских, приемо-сдаточных и типовых испытаний (приложение В).

Таблица 2 – Наименование операций, производимых при испытаниях

Подп. и дата	Име. № дубл.	Взам. име. №	Подп. и дата	Име. № подл.	Наименование операции	Номер пункта	Проведение операции при испытаниях		
							предъявительских	приемо-сдаточных	типовых
					Проверка сопроводительной документации	4.4.1	Да	Да	Да
					Внешний осмотр, проверка комплектности, установочных размеров, электрического соединения составных частей ИМИР	4.4.2	Да	Да	Да
					Определение условий проведения проверки	4.4.3	Да	Да	Да
					Проверка электрического сопротивления и прочности изоляции	4.4.4	Да	Да	Да
					Проверка работоспособности	4.4.5	Да	Да	Да
					Испытания цифровой измерительной составной части ИМИР	4.4.6	Да	Да	Да
					Испытания механической составной части ИМИР	4.4.7	Да	Да	Да
					ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ				
					Лист				
					15				
					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

## 4 Методы испытаний

### 4.1 Средства измерения

4.1.1 Испытания ИМИР проводятся в соответствии с требованиями и методами настоящих ТУ.

4.1.2 Перечень средств измерений, необходимых для испытаний, приведен в таблице 3.

4.1.3 Все средства измерения, участвующие в испытаниях, должны быть утвержденного типа, поверены и иметь свидетельство о поверке и (или) знак поверки с не истекшим сроком действия.

Таблица 3 – Примененные средства измерений на испытаниях

Номер пункта	Наименование СИ и обозначение типа СИ	Метрологические и технические характеристики СИ
4.4.6	Генератор импульсов точной амплитуды Г5-75	<p>Генератор обеспечивает на выходе одинарные импульсы периодической последовательности положительной и отрицательной полярности.</p> <p>Амплитуда основных импульсов изменяется от 10 мВ до 9,999 В. Дискретность регулировки амплитуды 1 мВ, 0,1 мВ, 0,01 мВ. Основная погрешность установки амплитуды основных импульсов не превышает <math>\pm 0,01</math> В.</p> <p>Период повторения основных импульсов регулируется от 0,1 мкс до 9,99 с. Погрешность установки периода повторений не превышает <math>\pm 1 \cdot 10^{-3} \cdot T</math>, где <math>T</math> – установленный период повторения.</p> <p>Длительность основных импульсов регулируется от 50 нс до 1 с. Погрешность установки длительности основных импульсов не превышает <math>\pm (1 \cdot 10^{-3} \cdot \tau + 15 \text{ нс})</math>, где <math>\tau</math> – установленная длительность импульсов.</p>

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

Лист

16

Продолжение таблицы 3 – Примененные средства измерений на испытаниях

Номер пункта	Наименование СИ и обозначение типа СИ	Метрологические и технические характеристики СИ
		Временной сдвиг основных импульсов относительно синхроимпульса регулируется в пределах от 0 до 9,98 с. Погрешность установки временного сдвига не превышает $\pm(1 \cdot 10^{-3} \cdot D + 20 \text{ нс})$ , где D – установленный временной сдвиг.
4.4.7	Меры МИ	Мера МИ представляет собой габаритно-массовый имитатор контролируемого ротора-маховика. Мера МИ обеспечивает инерциальную характеристику, известную с высокой точностью.
4.4.3	Магнитометр ИМАГ-400Ц	Диапазон измерений от 1 до 700 А/м.
	Термометр ТЛ-2	Диапазон измерения от 0 до 100 °С
	Гигрометр ВИТ-2	Диапазон измерения относительной влажности от 40 до 90 % при температуре от 23 до 26 °С; от 54 до 90 % при температуре от 20 до 23 °С.
	Барометр – aneroid М67	Диапазон измерения давления от 610 до 790 мм рт.ст.
4.4.4	Мегомметр Ф4102/1-1М	Мегомметр предназначен для измерения сопротивления изоляции, не находящихся под напряжением. Диапазон измерения сопротивления от 0 до 20000 Мом при напряжении 100 В, 500 В, 1000 В. Пределы допускаемой основной приведенной погрешности измерений $\pm 1,5 \%$ .
	Миллиомметр Е6-18/1	Миллиомметр предназначен для измерения малых значений активных электрических сопротивлений. Диапазон измерений от 0,0001 до 100 Ом. Пределы допускаемой основной приведенной погрешности измерений $\pm 1,5 \%$ .
	Установка для проверки параметров электрической безопасности GPT-715А	Установка предназначена для измерения: напряжения пробоя при тестировании напряжением переменного и постоянного тока; электрического сопротивления изоляции и заземления электрических устройств. Диапазон выходных напряжений от 100 до 5000 В.

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подп. и дата

Продолжение таблицы 3 – Примененные средства измерений на испытаниях

Номер пункта	Наименование СИ и обозначение типа СИ	Метрологические и технические характеристики СИ
	Установка для проверки параметров электрической безопасности GPT-715A	Предел допускаемой абсолютной погрешности установки выходного напряжения $\pm(0,03 \cdot U_{\text{изм}} + 5 \text{ В})$ В.
Примечание – Указанный СИ по согласованию с метрологической службой предприятия могут заменяться другими приборами, обеспечивающими единство и точность измерений параметров.		

#### 4.2 Указания мер безопасности

4.2.1 Выполнение мер безопасности, изложенных в настоящих ТУ, обязательно при любых видах испытаний ИМИР.

4.2.2 Все необходимые требования по безопасности изложены в разделе 2 настоящих ТУ.

#### 4.3 Подготовка к работе

4.3.1 Перед проведением испытаний необходимо выполнить все необходимые подготовительные работы, указанные в настоящих ТУ.

4.3.2 Если до начала измерений ИМИР находился в климатических условиях, отличных от нормальных, то перед проведением измерений его следует выдержать в нормальных климатических условиях не менее 2 ч.

4.3.3 Если до начала измерений меры МИ находился в климатических условиях, отличных от нормальных, то перед проведением измерений его следует выдержать в нормальных климатических условиях. Меры МИ массой до 2 кг выдерживаются не менее 2 ч, меры МИ от 2 до 10 кг – не менее 3 ч.

4.3.4 Подготовка ПК к работе проводится в соответствии с эксплуатационной документацией на него.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ	Лист
						18



4.4.1.2.2 Проверить количество листов в документах на соответствие оглавлению и нумерации. Проверить соответствие комплектности эксплуатационной документации.

4.4.1.2.3 Проверить полноту и правильность заполнения разделов формуляра (паспорта) или специально заведенного журнала.

4.4.1.3 При отрицательных результатах проверки, проведение проверки усилителя приостановить до устранения недостатков. Результаты проверки документации на усилитель считать положительными, если выполнены вышеперечисленные условия и устранены все выявленные недостатки.

4.4.1.4 Полученные результаты занести в протокол испытания.

#### 4.4.2 Внешний осмотр ИМИР

4.4.2.1 При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие комплектности ИМИР требованиям эксплуатационной документации.

4.4.2.2 Составные части ИМИР не должны иметь на элементах загрязнений, дефектов, механических повреждений, нарушающих их работу или затрудняющих их проверку.

4.4.2.3 Проверить наличие и прочность крепления органов управления и коммутации, а также четкость фиксации их положения.

4.4.2.4 Проверить наличие предохранителя и соответствие их номинальному значению.

4.4.2.4 Клеммы защитного заземления СИ, ИМИР и ПК должны быть соединены с шиной защитного заземления.

4.4.2.5 Результаты проверки считают удовлетворительными, если все вышеперечисленные требования выполнены.

4.4.2.6 ИМИР при не соответствии комплектации или наличии механические повреждений и загрязнений, к дальнейшей проверке не допускается.

Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

Лист

20

### 4.4.3 Определение условий проведения испытаний

4.4.3.1 Измерить температуру окружающей среды, относительную влажность воздуха и атмосферное давление. Параметры должны соответствовать требованиям раздела 1.

4.4.3.2 Результаты измерений заносятся в протокол испытаний.

### 4.4.4 Проверка электрического сопротивления и прочности изоляции

4.4.4.1 Электрическое сопротивление изоляции кабелей измеряется мегомметром с рабочим напряжением 500 В между каждой электрической разобранной цепью и всеми остальными согласно схемам распайки, а также между каждой цепью и корпусами соединителей.

Электрической разобранной цепью является цепь в виде провода, соединенного с отдельным контактом или несколькими контактами соединителей, электрически связанными между собой.

Сопротивление изоляции должно соответствовать требованиям п. 1.2.12 настоящих ТУ.

4.4.4.2 Качество электрического соединения частей каждого блока ИМИР проверяется миллиомметром путем измерения переходного сопротивления между клеммой «⊥» и каждой доступной прикосновению металлической токопроводящей частью корпуса, на котором установлены средства подключения и органы управления. Сопротивление перехода должно быть не более 0,1 Ом.

4.4.4.3 Проверка прочности изоляции кабеля питания проводится на высоковольтной установке пробоя. Для этого контакты вилки сетевого кабеля объединяются и подключаются к зажиму высоковольтной установки, а другому зажиму подключается клемма «⊥».

Выключатель «ПИТАНИЯ» устанавливаются в правое положение.

Затем плавно или степенями, не превышающего 200 В, до 1000 В (действующее), при этом время подъема испытательного напряжения до полного

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ	Лист
						21

значения должно быть не менее 10 с. Цель выдерживается под напряжением в течение 1 мин, затем плавно или степенями испытательное напряжение снижается до нуля и отключается.

4.4.4.4 После проверки прочности изоляции кабеля повторно проверяется сопротивление изоляции. Кабель считается выдержавшим испытания, если в процессе испытания не произошло пробоя или перекрытия изоляции и сопротивление изоляции находится в пределах норм, указанных в пп. 1.2.12-1.2.13 настоящих ТУ.

#### 4.4.5 Проверка работоспособности

4.4.5.1 Для измерения периода используется установка измерения момента инерции (приложение А). Составные части ИМИР должен быть соединены согласно рисунку 2.

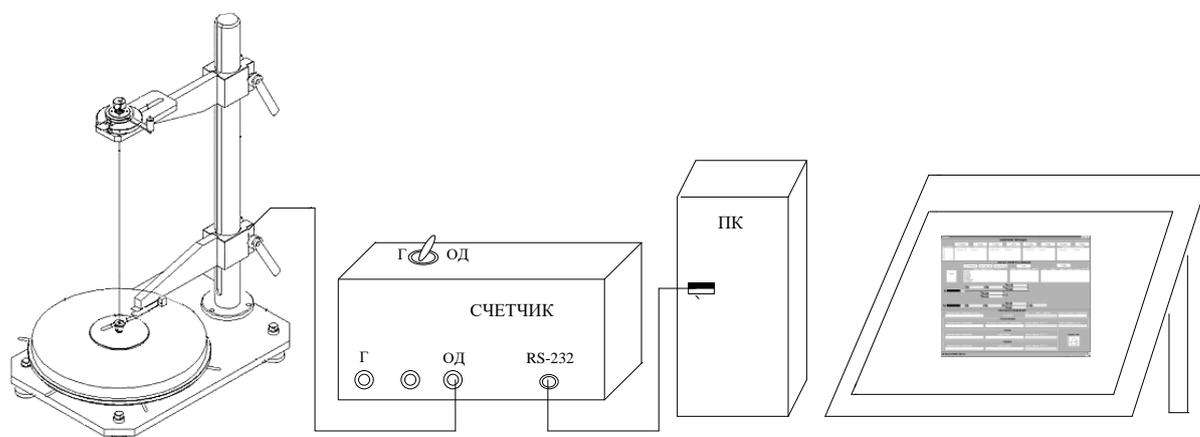


Рисунок 2 – Визуальное представление ИМИР

4.4.5.2 Подготовить ИМИР к работе согласно пп.4.3 настоящего ТУ.

4.4.5.3 Установить торсион 17 в поворотное устройство 7 через отверстие в патроне 11, обжать нижний конец торсиона 17 сухарями 10 и вставить их в коническое гнездо патрона 11. Придерживая торсион 17 снизу, установить на патрон 11 гайку 12.

Име. № подл.	Подп. и дата
Взам.име. №	Име. № дубл.
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Торсион 17 должен выступать за торец гайки 12 на 15 – 25 мм.

Затянуть гайку 12 на патроне 11 рожковым ключом 7811-0467 С 1 Х9 ГОСТ 2839-80, придерживая патрон 11 ключом 7811-0466 С 1 Х9 ГОСТ 2839-80.

При крайнем нижнем положении стола 6 перемещением подвижного кронштейна 1 отрегулировать положение свободного конца торсиона 17 с гнездом 14 так, чтобы зазор от торца гнезда 14 до плоскости стола 6 был равен высоте меры МИ плюс 5 – 50 мм. По достижении результата зафиксировать кронштейн 1. Затем, отодвинув гнездо 14 торсиона 17, аккуратно положить в центр стола 6 меру МИ присоединительным концом вала вверх.

Поднять стол 6 и установить гнездо 14 торсиона 17 на вал, совместив оси винтов 15 гнезда 14 с канавкой на валу, и равномерно затянуть винты 15 до устранения осевого люфта. Опустить стол 6, обеспечив зазор 5 – 50 мм между столом 6 и торцом меры МИ. Устранить колебания меры МИ.

С помощью рукоятки 8 на поворотном устройстве 7 взвести его на один оборот (360°) против часовой стрелки.

Поворотное устройство 7 имеет четыре такта срабатывания. При нажатии кнопки запуска 9 происходит поворот патрона 11 с закрепленным в нем торсионом 17 на угол 90°. После четвертого такта необходимо снова взвести поворотное устройство 7.

4.4.5.4 Включить на ПК программное приложение ИМИР. В поле «№ СОМ-порта» выбрать требуемый порт ПК нажатием левой кнопкой мыши. На счетчике кнопкой «ВЫБОР» установить количество измерений периода вращения.

4.4.5.5 Для начала измерений нажать кнопку «СТАРТ» на счетчике и кнопку запуска 9 на установке измерения момента инерции.

На счетчике загорится индикатор «ИЗМЕРЕНИЕ», на жидкокристаллическом дисплее появится надпись «ИЗМЕРЕНИЕ».

По окончании измерения прозвучит кратковременный звуковой сигнал. На жидкокристаллическом дисплее счетчика появится надпись «ОК», индикатор «ИЗМЕРЕНИЕ» погаснет.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ	Лист
						23

4.4.5.6 В окне программного приложения ИМИР в разделе «ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРИОДОВ» нажать соответствующую кнопку «Измерить» (рисунок 3). В соответствующем поле отобразится сумма длительностей и количество периодов. Для использования требуемого значения в расчетах нажать левой кнопкой мыши на полученном значении.

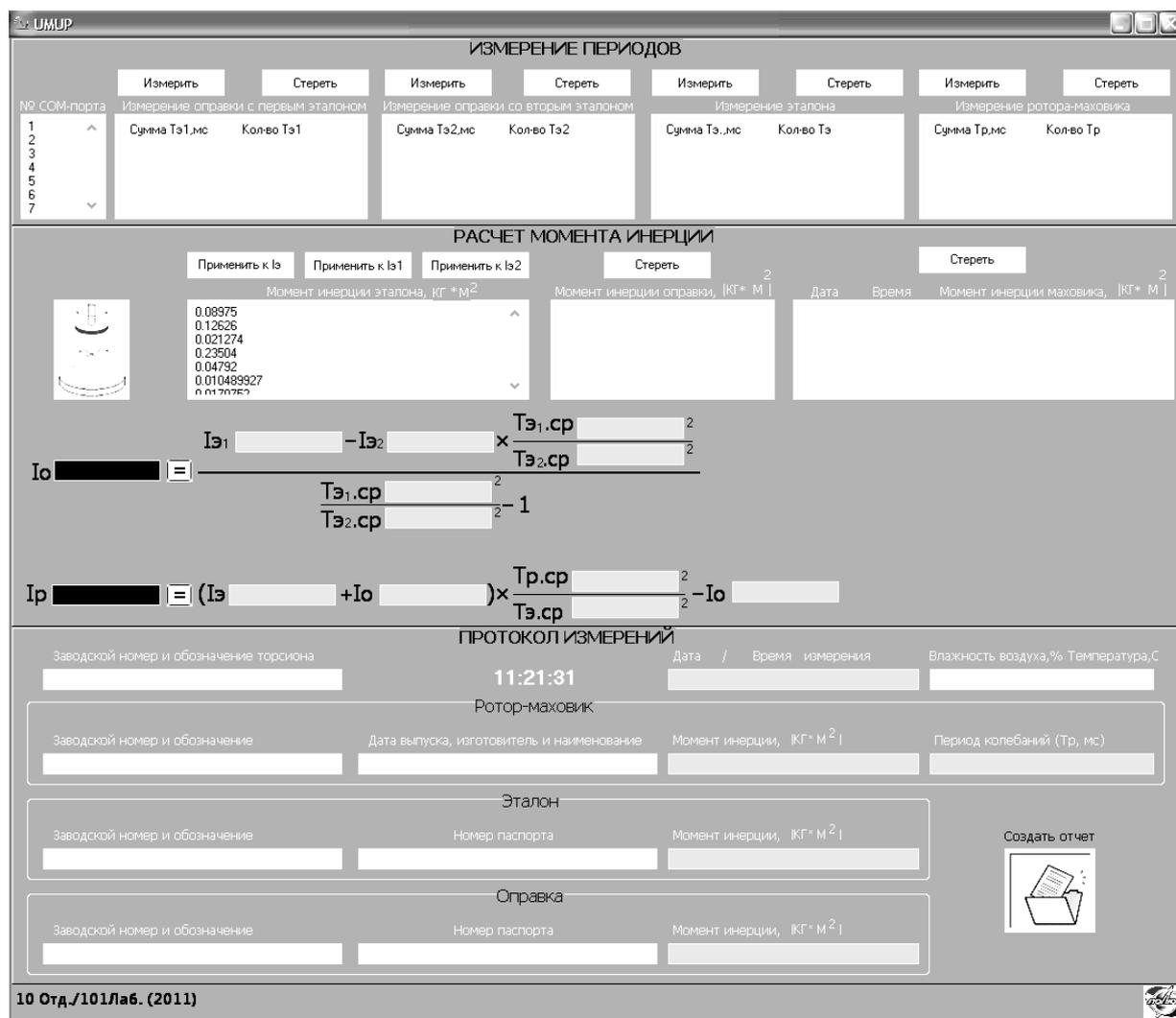


Рисунок 3 – Визуальное представление приложения ИМИР

Среднее значение периода отобразится в соответствующем поле раздела «РАСЧЕТ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ».

4.4.5.7 Для измерения остальных значений периодов повторить операции по пп. 4.4.5.2 – 4.4.5.6 настоящего ТУ.

4.4.5.8 После измерения периодов и заполнения всех полей «Измерение оправки с первой мерой МИ», «Измерение оправки со второй мерой МИ», «Измерение меры МИ», «Измерение ротора-маховика» в поле «Момент инерции

Име. № подл.	
Подп. и дата	
Име. № дубл.	
Взам. име. №	
Подп. и дата	



4.4.6.1 В ходе испытаний проверяется адекватность работы счетчика и расчета, выполняемого ПО ИМИР.

4.4.6.2 К ИМИР подключают следующие приборы, согласно схеме, изображенной на рисунке 4:

- генератор импульсов точной амплитуды Г5-75;
- ИМИР.

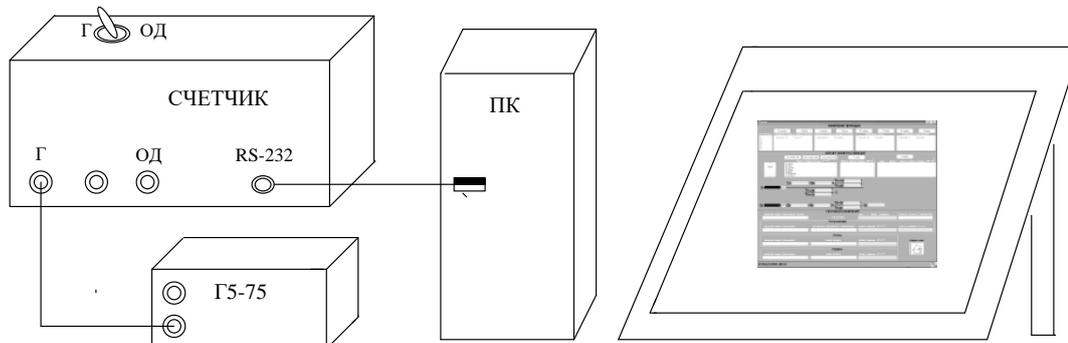


Рисунок 4 – Визуальная схема подключения

4.4.6.3 При испытании цифрового измерительного блока ИМИР используются следующие модели мер МИ:  $J_{M1}=0,23504 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  $J_{M2}=0,23504 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  $J_{M3}=0,08975 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

4.4.6.4 Испытания осуществляются при отключенной установке измерения момента инерции и при отключенном фотодатчике. Имитация измерения периода выполняется с помощью генератора. Один период вращения ротора-маховика равен двум периодам генератора.

4.4.6.5 Испытания цифрового измерительного блока «ИМИР2» проводятся по следующей методике:

- на генераторе установить импульсы положительной полярности с периодом  $T=2000 \text{ мс}$ , длительность основного импульса  $\tau=10 \text{ мс}$ , временной сдвиг  $D=0 \text{ мс}$ , амплитуда основного импульса  $U=1 \text{ В}$ . На счётчике установить количество измерений, равное 10;

- снять показания с помощью программного приложения ИМИР для периода меры МИ и периода опорки с первой мерой МИ. Сумма значений 10 периодов должна равняться 40 000 мс;

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

— на генераторе установить импульсы положительной полярности с периодом  $T=2500$  мс, длительность основного импульса  $\tau=10$  мс, временной сдвиг  $D=0$  мс, амплитуда основного импульса  $U=1$  В. На счётчике установить количество измерений, равное 10;

— снять показания с помощью программного приложения ИМИР для периода оправки со второй мерой МИ. Сумма значений 10 периодов должна равняться 50 000 мс;

— на генераторе установить импульсы положительной полярности с периодом  $T=3000$  мс, длительность основного импульса  $\tau=10$  мс, временной сдвиг  $D=0$  мс, амплитуда основного импульса  $U=1$  В. На счётчике установить количество измерений, равное 10;

— снять показания с помощью программного приложения ИМИР для периода ротора-маховика. Сумма значений 10 периодов должна равняться 60 000 мс;

— рассчитать среднюю длительность периодов, мс, по формуле (1)

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^N T}{N}, \quad (1)$$

где  $T$  – значение периода, мс;

$N$  – количество измеренных периодов.

— рассчитать момент инерции оправки,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ , по значениям периодов генератора по формуле (2)

$$J_0 = \frac{1}{\frac{T_{M1}^2}{T_{M2}^2} - 1} \left( J_{M1} - J_{M2} \frac{T_{M1}^2}{T_{M2}^2} \right), \quad (2)$$

где  $T_{M1}$  и  $T_{M2}$  – средняя длительность периодов оправки соответственно с первым и вторым мерами МИ, мс;

$J_{M1}$  и  $J_{M2}$  – паспортные значения моментов инерции первого и второго мер МИ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;

— рассчитать значение момента инерции ротора-маховика,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ , по формуле (3)

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Ине. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ	Лист
						27

$$J_p = (J_M + J_0) \frac{T_{p.c.p}^2}{T_{M.c.p}^2} - J_0, \quad (3)$$

где  $J_M$  – момент инерции меры МИ, кг·м<sup>2</sup>;

$J_0$  – момент инерции оправки установки измерения момента инерции, кг·м<sup>2</sup>;

$T_{p.c.p}$  – средняя длительность периода вращения ротора-маховика, мс;

$T_{M.c.p}$  – средняя длительность периода вращения меры МИ, мс;

– вычислить относительную погрешность измерения момента инерции ротора-маховика, %, по формуле (4)

$$\delta = \frac{J_p - J_{p1}}{J_p} \cdot 100, \quad (4)$$

где  $J_p$  – действительное значение момента инерции ротора-маховика, вычисленное по формуле (2), кг·м<sup>2</sup>;

$J_{p1}$  – момент инерции ротора-маховика, рассчитанный с помощью программного приложения ИМИР, кг·м<sup>2</sup>;

– полученные результаты измерений занести в протокол испытаний (приложение В);

– тумблеры «ВКЛ./ВЫКЛ.» генератора установить в положение «ВЫКЛ.».

– отключить генератор от счётчика.

#### 4.4.7 Испытания механической части ИМИР

4.4.7.1 К ИМИР подключают следующие приборы, согласно визуальной схеме, изображенной на рисунке 1:

Измерения периодов вращения эталона Е ХХ.ХХХ.

– подготовить ИМИР к измерению периода вращения эталона.

– на счётчике установить количество измерений равное 10.

– измерить средний период вращения эталона 10 раз.

– результаты занести в поле «Измерение эталона» программного приложения ИМИР.

Име. № подл.	
Подп. и дата	
Взам.име. №	
Име. № дубл.	
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

Лист

28



## 5 Транспортирование и хранение

### 5.1 Транспортирование

5.1.1 ИМИР должен транспортироваться только в штатной упаковке.

5.1.2 ИМИР может транспортироваться любым видом транспорта без ограничения по расстояния и со скоростью, установленной для данного вида транспорта.

5.1.3 Транспортная тара должна обеспечивать сохранность работоспособности ИМИР после транспортировки.

5.1.4 При транспортировании необходимо соблюдать положение укладочных ящиков в соответствии с надписями на них. Ящики с упакованными ИМИР должны быть надежно закреплены, не допускаются их смещения и удары друг о друга.

5.1.5 Условия транспортирования должны исключать возможность попадания на укладочные ящики атмосферных осадков и пыли, а также любые их перемещения.

### 5.2 Хранение

5.2.1 Допускается хранение ИМИР сроком до 6 месяцев при температуре окружающего воздуха от 278 до 308 К (от 5 до 35 °С) и относительной влажности до 80 % при температуре 25 °С.

5.2.2 В помещениях для хранения ИМИР не должно быть пыли, паров кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающих коррозию.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам.име. №	Име.№ дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

Лист

30

## 6 Указания по эксплуатации

6.1 Эксплуатация и техническое обслуживание ИМИР должны осуществляться в соответствии с руководством по эксплуатации ЕИЖА.ХХХХХХ.ХХХ РЭ.

6.2 В процессе эксплуатации допускается мелкий ремонт и замена неисправных элементов. Ремонт должен проводиться в месте эксплуатации или в специализированных ремонтных мастерских. Ремонт ПК производит отдел № 38.

6.3 После ремонта ИМИР должна быть произведена аттестация на соответствие требований по методике согласно руководству по эксплуатации ЕИЖА.ХХХХХХ.ХХХ РЭ.

6.4 Проведенные работы и результаты испытаний должны быть занесены в формуляр ЕИЖА.ХХХХХХ.ХХХ.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ				Лист
									31

## 7 Гарантии предприятия изготовителя

7.1 ИМИР должно быть принято ОТК предприятия-изготовителя.

7.2 При соблюдении условий эксплуатации, транспортирования и хранения, указанных настоящим ТУ, предприятие-изготовитель гарантирует соответствие технических и эксплуатационных характеристик ИМИР требованиям настоящих ТУ.

7.3 Гарантийный срок – 10 лет со дня приемки ИМИР представительством заказчика на предприятии-изготовителе. Гарантийная наработка 10 000 ч в пределах гарантийного срока.

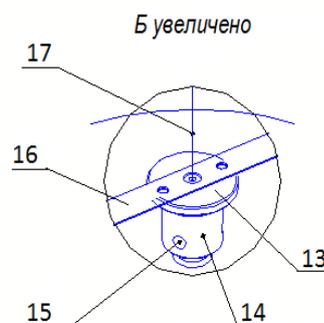
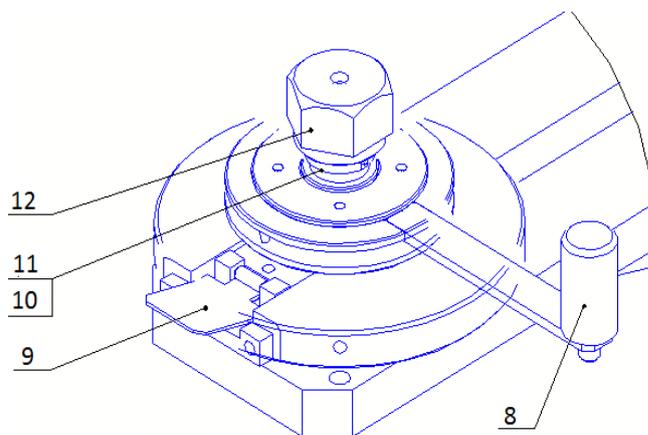
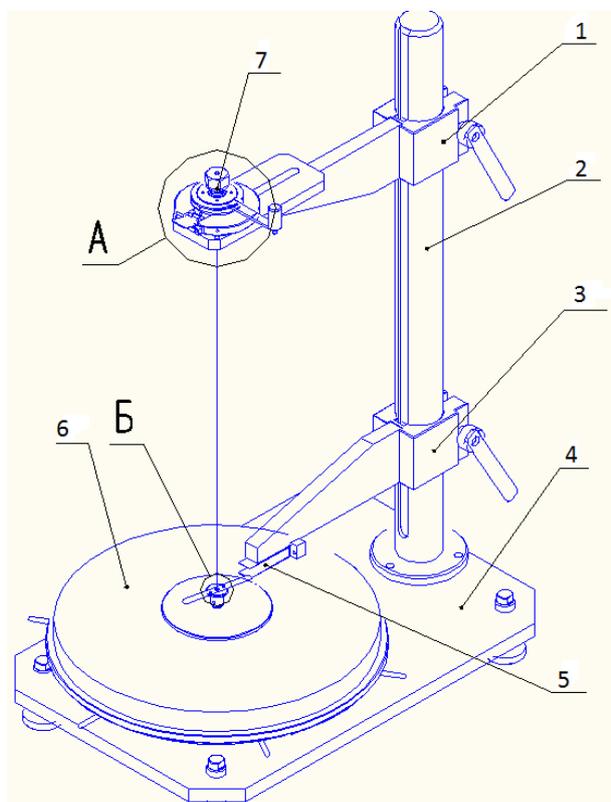
7.4 В течение гарантийного срока предприятию-потребителю по согласованию с предприятием-изготовителем и представительством заказчика разрешается производить вскрытие аппаратуры для определения причин ненормальной работы, проведения мелкого ремонта, замены вышедших из строя элементов, а также для регулирования при техническом обслуживании.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подп. и дата	Име. № подл.	Лист

# Приложение А

(обязательное)

## Установка измерения момента инерции



1 – кронштейн; 2 – стойка; 3 – кронштейн; 4 – платформа; 5 – блок оптопары; 6 – стол; 7 – поворотное устройство; 8 – рукоятка; 9 – кнопка запуска; 10 – сухари; 11 – патрон; 12 – гайка; 13 – оправка; 14 – гнездо; 15 – винт; 16 – флажок-шторка; 17 – торсион.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Ине. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

Лист

33

Приложение Б

(обязательное)

Форма протокола испытаний

В настоящем документе приведены результаты предъявительских, приемо-сдаточных и типовых испытаний измерителя момента инерции роторов-маховиков ИМИР № \_\_\_\_\_, приведенных в соответствии с заводской

требованиями технических условий ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ.

Протокол проверен и соответствует требованиям действующих технических условий ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ.

Проверку протокола провел

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

расшифровка подписи

\_\_\_\_\_

дата

Ине. № дубл.	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Подп. и дата
Ине. № подл.				

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ

Лист

34

## 1 Общие требования

1.1 Протокол должен заполняться сразу по мере завершения отдельных проверок и испытаний.

1.2 Записи в протоколе должны производиться тушью или чернилами (шариковыми ручками) черного, синего, фиолетового цвета.

1.3 Все исправления должны заверяться подписью лица, ответственного за испытания, с указанием даты и расшифровки подписи.

1.4 Результаты проверок, испытаний заносятся в раздел 2 для предъявительских испытаний, в раздел 3 для приемо-сдаточных испытаний и в раздел 4 для типовых испытаний.

1.5 Применяемые средства измерений заносятся в таблицу 2.1 для предъявительских испытаний, в таблицу 3.1 для приемо-сдаточных испытаний и в таблицу 4.1 для типовых испытаний.

1.6 Варианты заключений ОТК заполняются в зависимости от результатов испытаний.

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ					Лист
										35

2 Результаты предъявительских испытаний измерителя момента инерции роторов-маховиков ИМИР № \_\_\_\_\_ 20\_\_ года выпуска.

от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.  
(дата испытаний)

2.1 Условия испытаний

- температура окружающего воздуха, °С \_\_\_\_\_
- относительная влажность воздуха, % \_\_\_\_\_
- атмосферное давление, кПа \_\_\_\_\_
- напряжение питающей сети, В \_\_\_\_\_
- частота питающей сети, Гц \_\_\_\_\_
- напряженность магнитного поля, Э \_\_\_\_\_

2.2 Применяемые средства измерений

Таблица 2.1 – Примененные средства измерений на предъявительских испытаниях

Наименование, тип средств измерений по техническим условиям ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ	Наименование, тип, заводской номер примененных средств измерений	Сведения о поверке	Согласование с метрологической службой
Генератор импульсов Г5-75			
Мегомметр Ф4102/1			
Миллиомметр Е6-18/1			
Установка для проверки параметров электрической безопасности GPT-715А			
Термометр ТЛ-2			
Гигрометр ВИТ-2			
Барометр-анероид М67			
Магнитометр ИМАГ-400Ц			

Меры МИ \_\_\_\_\_

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ	Лист
						36

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

## 2.3 Результаты испытаний

2.3.1 В результате проверки документации установлено:

---



---



---

2.3.2 В результате внешнего осмотра установлено:

---



---



---

2.3.3 В результате проверки электрического сопротивления и прочности изоляции

Таблица 2.2 – Результаты

Проверяемая величина	Пункты технических условий ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ		Результаты испытаний, контроля
	Требования	Методы испытаний	
Электрическое сопротивление изоляции	1.2.12	4.4.4	
Прочность электрической изоляции	1.2.13		

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ

Лист

37

2.3.4 В результате проверки работоспособности установлено:

---



---



---



---

2.3.5 В результате испытания цифрового измерительного блока установлено:

Таблица 2.3 – Результаты

№	Среднее значение периода вращения ротора-маховика $T_{р.ср}$ , мс	Средняя длительность периода вращения оправки с первой мерой МИ, $T_{м1.ср}$ , мс	Средняя длительность периода вращения оправки со второй мерой МИ, $T_{м2.ср}$ , мс	Среднее значение периода вращения меры МИ $T_{м.ср}$ , мс	Кол-во периодов $N$	Момент инерции меры МИ $J_m$ , кг·м <sup>2</sup>	Момент инерции оправки $J_0$ , кг·м <sup>2</sup>	Момент инерции ротора-маховика $J_p$ , кг·м <sup>2</sup>

2.3.5 В результате испытания механической составной части ИМИР установлено:

Таблица 2.4 – Результаты

№ изм.	Сумма периодов вращения меры МИ $\sum T$ , мс	Средняя длительность периода вращения меры МИ $T_{м.ср}$ , мс	Разность между макс. и мин. средним значением периода вращения меры МИ $\Delta T$ , мс

Ине. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

Продолжение таблицы 2.4 – Результаты

№ изм.	Сумма периодов вращения меры МИ $\sum T$ , мс	Средняя длительность периода вращения меры МИ $T_{м.ср}$ , мс	Разность между макс. и мин. средним значением периода вращения меры МИ $\Delta T$ , мс

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

Лист

39

Заключение  
отдела технического контроля

Измеритель моментов инерции роторов-маховиков ИМИР № \_\_\_\_\_  
заводской  
соответствует требованиям технических условий ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ,  
принят и годен для \_\_\_\_\_

Измеритель моментов инерции роторов-маховиков ИМИР № \_\_\_\_\_  
заводской  
не соответствует требованиям \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

пункты технических условий  
технических условий ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ и подлежит возврату цеху-  
изготовителю.

Начальник	подпись	расшифровка подписи	дата
Представитель ОТК	подпись	расшифровка подписи	дата

Име. № подл.	Подп. и дата
Взам.име. №	Име. № дубл.

					ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

3 Результаты приемо-сдаточных испытаний измерителя момента инерции роторов-маховиков ИМИР № \_\_\_\_\_ 20\_\_ года выпуска.

от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.  
(дата испытаний)

### 3.1 Условия испытаний

- температура окружающего воздуха, °С \_\_\_\_\_
- относительная влажность воздуха, % \_\_\_\_\_
- атмосферное давление, кПа \_\_\_\_\_
- напряжение питающей сети, В \_\_\_\_\_
- частота питающей сети, Гц \_\_\_\_\_
- напряженность магнитного поля, Э \_\_\_\_\_

### 3.2 Применяемые средства измерений

Таблица 3.1 – Примененные средства измерений на предъявительских испытаниях

Наименование, тип средств измерений по техническим условиям ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ	Наименование, тип, заводской номер примененных средств измерений	Сведения о поверке	Согласование с метрологической службой
Генератор импульсов Г5-75			
Мегомметр Ф4102/1			
Миллиомметр Е6-18/1			
Установка для проверки параметров электрической безопасности GPT-715А			
Термометр ТЛ-2			
Гигрометр ВИТ-2			
Барометр-анероид М67			
Магнитометр ИМАГ-400Ц			

Меры МИ \_\_\_\_\_

Име. № подл.	Подп. и дата
Взам. име. №	Име. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ	Лист
						41

### 3.3 Результаты испытаний

3.3.1 В результате проверки документации установлено:

---

---

---

---

3.3.2 В результате внешнего осмотра установлено:

---

---

---

---

3.3.3 В результате проверки электрического сопротивления и прочности изоляции

Таблица 2.2 – Результаты

Проверяемая величина	Пункты технических условий ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ		Результаты испытаний, контроля
	Требования	Методы испытаний	
Электрическое сопротивление изоляции	1.2.12	4.4.4	
Прочность электрической изоляции	1.2.13		

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ





Заключение  
отдела технического контроля

Измеритель моментов инерции роторов-маховиков ИМИР № \_\_\_\_\_  
заводской  
соответствует требованиям технических условий ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ,  
принят и годен для \_\_\_\_\_

Измеритель моментов инерции роторов-маховиков ИМИР № \_\_\_\_\_  
заводской  
не соответствует требованиям \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

пункты технических условий  
технических условий ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ и подлежит возврату цеху-  
изготовителю.

Начальник \_\_\_\_\_  
подпись \_\_\_\_\_ расшифровка подписи \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

Представитель ОТК \_\_\_\_\_  
подпись \_\_\_\_\_ расшифровка подписи \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

Име. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Име. № дубл.
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ	Лист
						45

4 Результаты типовых испытаний измерителя момента инерции роторов-маховиков ИМИР № \_\_\_\_\_ 20\_\_ года выпуска.

от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.  
(дата испытаний)

4.1 Условия испытаний

- температура окружающего воздуха, °С \_\_\_\_\_
- относительная влажность воздуха, % \_\_\_\_\_
- атмосферное давление, кПа \_\_\_\_\_
- напряжение питающей сети, В \_\_\_\_\_
- частота питающей сети, Гц \_\_\_\_\_
- напряженность магнитного поля, Э \_\_\_\_\_

4.2 Применяемые средства измерений

Таблица 2.1 – Примененные средства измерений на предъявительских испытаниях

Наименование, тип средств измерений по техническим условиям ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ	Наименование, тип, заводской номер примененных средств измерений	Сведения о поверке	Согласование с метрологической службой
Генератор импульсов Г5-75			
Мегомметр Ф4102/1			
Миллиомметр Е6-18/1			
Установка для проверки параметров электрической безопасности GPT-715А			
Термометр ТЛ-2			
Гигрометр ВИТ-2			
Барометр-анероид М67			
Магнитометр ИМАГ-400Ц			

Меры МИ \_\_\_\_\_

Име. № подл.	Подп. и дата
Взам. име. №	Подп. и дата
Име. № дубл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Подп. и дата

### 4.3 Результаты испытаний

4.3.1 В результате проверки документации установлено:

---



---



---

4.3.2 В результате внешнего осмотра установлено:

---



---



---

4.3.3 В результате проверки электрического сопротивления и прочности изоляции

Таблица 4.2 – Результаты

Проверяемая величина	Пункты технических условий ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ		Результаты испытаний, контроля
	Требования	Методы испытаний	
Электрическое сопротивление изоляции	1.2.12	4.4.4	
Прочность электрической изоляции	1.2.13		

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ

Лист

47



Продолжение таблицы 4.4 – Результаты

№ изм.	Сумма периодов вращения меры МИ $\sum T$ , мс	Средняя длительность периода вращения меры МИ $T_{м.ср}$ , мс	Разность между макс. и мин. средним значением периода вращения меры МИ $\Delta T$ , мс

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Подп. и дата

Изм. № дубл.

Взам. изм. №

Подп. и дата

Изм. № подл.

ЕИЖА.ХХХХХХ.001ТУ

Лист

49

Заключение  
отдела технического контроля

Измеритель моментов инерции роторов-маховиков ИМИР № \_\_\_\_\_  
заводской  
соответствует требованиям технических условий ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ,  
принят и годен для \_\_\_\_\_

Измеритель моментов инерции роторов-маховиков ИМИР № \_\_\_\_\_  
заводской  
не соответствует требованиям \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

пункты технических условий  
технических условий ЕИЖА.ХХХХХХ.001 ТУ и подлежит возврату цеху-  
изготовителю.

Начальник	подпись	расшифровка подписи	дата
Представитель ОТК	подпись	расшифровка подписи	дата

Име. № подл.	
Подп. и дата	
Взам.име. №	
Име. № дубл.	
Подп. и дата	





Продолжение таблицы В.1 – Расчет эксплуатационной безотказности элементов модуля

Позиц. обоз-ние	Кол-во $n_j$	$K_H$	$\lambda_B \cdot 10^{-6}$ , 1/час	Вид математической модели расчета $\lambda_{\Sigma}$	Коэффициенты																$\prod_i K_i$	$\lambda_{\Sigma} \cdot n_j \cdot 10^{-6}$ , 1/час		
					$K_{ИС}$	$K_P$	$K_t$	$K_{КОРП}$	$K_V$	$K_{\Phi}$	$K_D$	$K_U$	$K_C$	$K_R$	$K_M$	$K_{\Delta}$	$K_K$	$K_n$	$K_{\Sigma}$	$K_{\Pi}$				
VT1, VT2	2	0,2	0,044	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B \cdot K_P \cdot K_{\Phi} \cdot K_D \cdot K_U \cdot K_{\Sigma} \cdot K_{\Pi}$		0,21				1,5	2,5	0,5								5,5	2,17	0,09		
VU1	1	0,2	0,051	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B \cdot K_P \cdot K_{\Sigma} \cdot K_{\Pi}$		2,00														5,5	11,00	0,56		
XP1	1	0,2	0,062	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B \cdot K_P \cdot K_K \cdot K_n \cdot K_{\Sigma} \cdot K_{\Pi}$		3,46																14,85	0,92	
XP2	1	0,2	0,0013																				9,57	0,01
XS1	1	0,2	0,0013																				9,57	0,01
XS2	1	0,2	0,0041																				19,28	0,08
XS3	1	0,2	0,0041																				27,40	0,11
ZQ1	1	-	0,026	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B \cdot K_t \cdot K_{\Sigma} \cdot K_{\Pi}$	-	-	1,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	17,74	0,462		
																					$\Sigma$	<b>18,61</b>		

Таблица Г.1 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Трудоемкость						Длительность в рабочих днях, $T_{pi}$		Длительность в календарных днях, $T_{ki}$	
	$t_{min}$		$t_{max}$		$t_{ож}$					
	НР	С	НР	С	НР	С	НР	С	НР	С
1	10,0	-	20,0	-	14,0	-	14,0	-	15,5	-
2	1,0	-	5,0	-	2,6	-	2,6	-	4,1	-
3	-	7,0	-	10,0	-	8,2	-	8,2	-	9,7
4	-	10,0	-	15,0	-	12,0	-	12,0	-	13,5
5	-	10,0	-	15,0	-	12,0	-	12,0	-	13,5
6	-	14,0	-	21,0	-	16,8	-	16,8	-	18,3
7	-	7,0	-	10,0	-	8,2	-	8,2	-	9,7
8	30,0	30,0	40,0	40,0	34,0	34,0	17,0	17,0	25,2	25,2
9	30,0	30,0	40,0	40,0	34,0	34,0	17,0	17,0	25,2	25,2
10	20,0	20,0	25,0	25,0	22,0	22,0	11,0	11,0	16,3	16,3
11	20,0	20,0	25,0	25,0	22,0	22,0	11,0	11,0	16,3	16,3
12	-	10,0	-	15,0	-	12,0	-	12,0	-	17,8
13	7,0	7,0	14,0	14,0	9,8	9,8	4,9	4,9	7,2	7,2
14	30,0	30,0	40,0	40,0	34,0	34,0	17,0	17,0	25,1	25,1
15	-	1,0	-	1,0	-	1,0	-	1,0	-	1,48
<b>Итого</b>							94,5	148,1	134,9	199,28

Таблица Д.1 – Календарный план-график проведения НИР

№	Исп-ли	$T_{ki}$ , кал. дн	Продолжительность выполнения работ																													
			Сен.			Окт.			Ноя.			Дек.			Янв.			Фев.			Март			Апр.			Май			Июн.		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	НР	15,5	■																													
2	НР	4,1		■																												
3	С	9,7			■																											
4	С	13,5				■	■																									
5	С	13,5					■	■																								
6	С	18,3						■	■																							
7	С	9,7							■	■																						
8	НР	25,2								■	■	■																				
	С	25,2									■	■	■																			
9	НР	25,2											■	■	■																	
	С	25,2												■	■	■																
10	НР	16,3																■	■													
	С	16,3																	■	■												
11	НР	16,3																		■	■											
	С	16,3																			■	■										
12	С	17,8																			■	■										
13	НР	7,2																				■										
	С	7,2																					■									
14	НР	25,1																					■	■	■							
	С	25,1																						■	■	■						
15	С	1,49																								■						

Приложение Д  
 (обязательное)  
 Календарный план-график

	Студент		Научный руководитель
--	---------	--	----------------------