

Акционерное общество «Сарапульский электрогенераторный завод»
(АО «СЭГЗ»)

УТВЕРЖДАЮ

Главный конструктор АО «СЭГЗ»

_____ А.В. Поздеев

«__» _____ 2023г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ О СОСТАВНОЙ ЧАСТИ ОКР

«Создание шагового двигателя прецизионной зеркальной сканирующей
оптико-механической системы»

Шифр «Зеркало-ШД»

Зам. главного конструктора
по серийным изделиям и
опытному производству –
начальник СКО

_____ Р.Т. Ялалов

«__» _____ 2023г.

г.Сарапул
2023г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Ведущий конструктор СЧ ОКР

С.Н. Козлов

Инженер-конструктор II категории

М.А. Кустов

Инженер-конструктор

Т.А. Муллахметов

Нормоконтролер

Начальник бюро стандартизации

С.В. Шадрина

РЕФЕРАТ

Настоящий отчёт содержит 37 страниц, 6 рисунков, 7 таблиц, 24 источника.

Ключевые слова: СЧ ОКР, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ШАГОВЫЙ, СТАТОР, РОТОР, ОБМОТКА, ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ.

В результате выполнения по [1] СЧ ОКР проведен электромагнитный расчет электродвигателя шагового, в котором определены размеры и конструкция магнитной системы, разработана конструкторская и технологическая документация. Проведены патентные исследования. Изготовлены макетные и опытные образцы электродвигателей шаговых. Проведены предварительные испытания. Выполнена необходимая корректировка документации и ей присвоена литера «О».

Проведенными расчетами, испытаниями подтверждены требования технического задания.

Конструкторская и технологическая документация согласована и утверждена установленным порядком и позволяет вести изготовление опытных образцов для комплектации прецизионной зеркальной сканирующей оптико-механической системы.

СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения и сокращения	5
Введение	6
1 Общие сведения	9
2 Расчетная часть	10
2.1 Основные конструктивные принципы	10
2.2 Основные соотношения	11
2.3 Обоснование выбранной конструкции	13
2.4 Определение параметров электромагнитной системы	14
2.5 Разработка РКД	19
3 Описание конструкции	21
4 Технологическая подготовка	24
5 Работы по МО	25
6 Работы по стандартизации и унификации	26
7 Результаты испытаний	27
7.1 Результаты испытаний макетных образцов	27
7.2 Результаты испытаний опытных образцов	28
Заключение	34
Список использованных источников	35

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ШД – электродвигатель шаговый

ТЗ – техническое задание

СЧ – составная часть

ОКР – опытно-конструкторская работа

ПЗС ОМС – прецизионная зеркальная сканирующая оптико-механическая система

БА – бортовая аппаратура

ГСО – геостационарная орбита

БУ – блок управления

ИИКП – ионизирующее излучение космического пространства

ЛКМ – лакокрасочные материалы

РКД – рабочая конструкторская документация

ФИПС – федеральный институт промышленной собственности

ЕСКД – единая система конструкторской документации

ЕСТД – единая система технологической документации

ДСОП – документы по стандартизации оборонной продукции

МО – метрологическое обеспечение

МЭ – метрологическая экспертиза

НКУ – нормальные климатические условия

ВВЕДЕНИЕ

Цель выполнения СЧ ОКР – создание ШД ПЗС ОМС в соответствии с ТЗ от 20.01.2022 №65-3-2/22.

Наименование изделия – Электродвигатель шаговый ДШС60-1-1,8 ПСИЯ.522414.005.

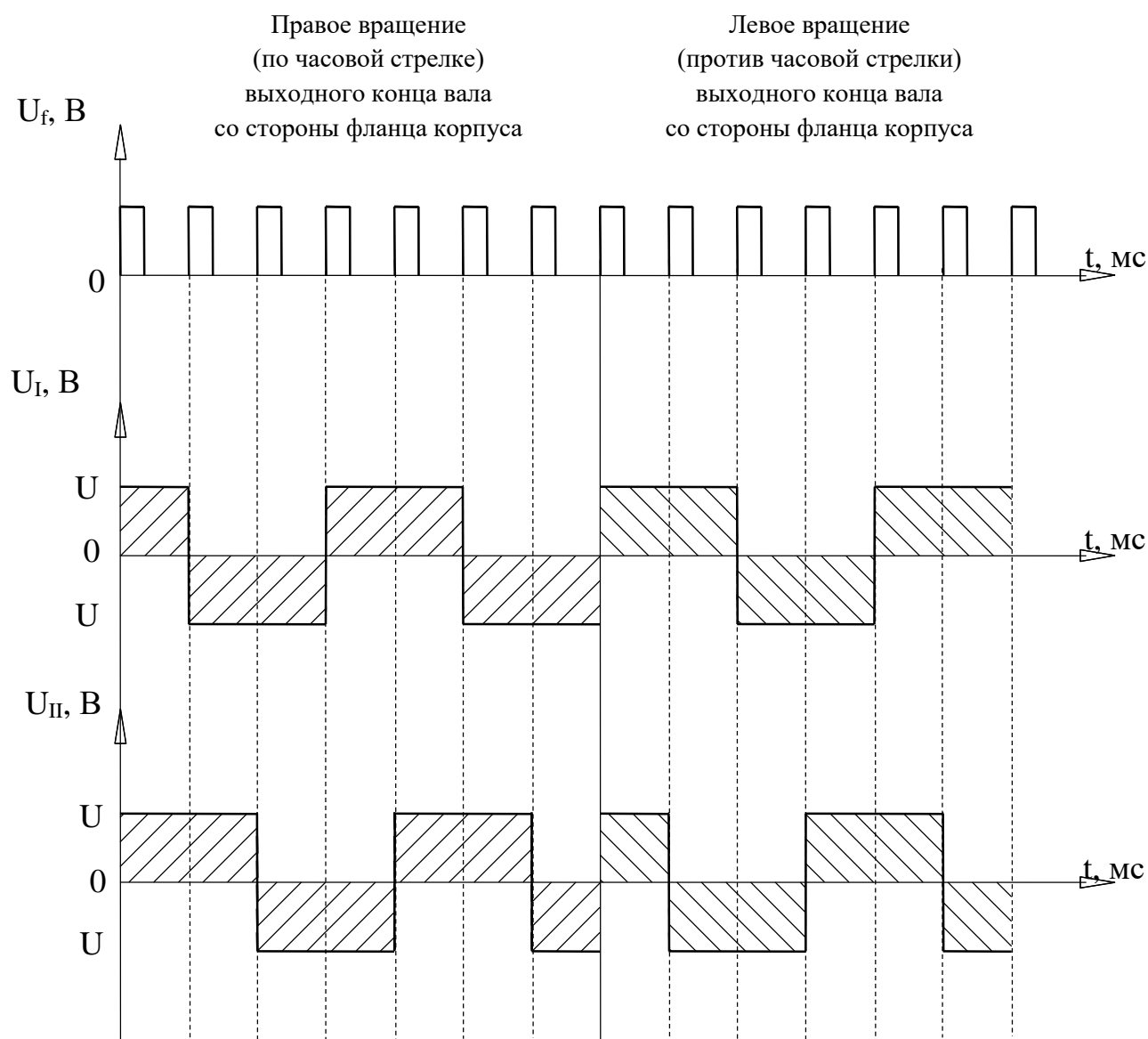
Область применения – группа 5.3 по [2].

ШД предназначен для работы в составе ПЗС ОМС, входящей в состав оптико-электронной БА для функционирования на ГСО.

ШД устанавливается в узел привода редукторного для обеспечения перенацеливания оси визирования оптической системы БА.

Для управления работой ШД используется БУ со следующими параметрами:

- напряжение питания на входе БУ ($27,0^{+2,0}_{-1,5}$) В;
- схема коммутации фаз ШД – четырехтактная биполярная парная, приведена на рисунке 1;
- БУ обеспечивает изменения чередования управляющих импульсов для обеспечения изменения направления вращения;
- БУ обеспечивает поддержание тока в обмотках ШД (токовое регулирование):
 - 1) в режиме удержания (фиксированной стоянки под током без подачи управляющих импульсов) ток в каждой фазе должен быть $(1,0 \pm 0,1)$ А;
 - 2) в режиме вращения (при коммутации фаз) ток в каждой фазе должен быть $(3,0 \pm 0,3)$ А.



U_f – импульсы напряжения на входе блока управления;
 U_I, U_{II} – импульсы напряжения на выводах 1 и 2 первой фазы и выводах 3 и 4 второй фазы двигателя соответственно;
 t – время.

Рисунок 1 – Схема коммутации фаз ШД

Согласно ТЗ, основные технические характеристики разрабатываемого ШД приведены в таблице 1.

Таблица 1 Основные технические характеристики ШД

Наименование параметра, единица измерения	Значение параметра
Вид ШД	гибридный
Число фаз	2
Номинальный шаг	1,8°
Статическая погрешность отработки шага при холостом ходе, %, не более	±5
Номинальный вращающий момент, Н·м	0,9
Максимальная приемистость, шаг/с	700
Статический фиксирующий момент, Н·м, не менее	0,1
Момент удержания, при фиксированной стоянке под током обеих фаз (1,0±0,1) А, Н·м, не менее	0,5
Электромагнитная постоянная времени обмоток, мс, не более	5
Масса, кг, не более	0,9
Габаритные размеры, мм	Ø60x68
Конструктивное исполнение ШД	Фланцевое с двумя выходными валами (Ø8 мм x L20 мм)

1 Общие сведения

ШД – это электрический двигатель, преобразующий цифровой электрический сигнал в дискретное механическое движение.

ШД бывает вращающего и линейного типа.

Для данной работы необходим вращающийся электродвигатель обеспечивающий преобразование последовательности управляющих импульсных сигналов в дискретное угловое перемещение ротора.

ШД предназначены для работы в устройствах, осуществляющих дискретное перемещение рабочего органа с заданной точностью в разомкнутых системах управления.

На каждый импульс управления, поступающий от БУ, ротор поворачивается на фиксированный угол, значение которого в градусах называется шагом.

Импульсное питание обмоток статора в определенной последовательности создает в воздушном зазоре дискретно перемещающееся магнитное поле, которое, взаимодействуя с магнитным полем ротора, приводит к дискретному вращению выходного конца вала.

За каждое переключение фаз ось результирующего магнитного поля поворачивается на определенное число электрических градусов, что вызывает поворот ротора на один шаг.

Тип ШД – гибридный, задан в ТЗ.

2 Расчетная часть

2.1 Основные конструктивные принципы

Выбираем конструкцию гибридного ШД с магнитом между магнитопроводами ротора. Магнит на роторе намагничен вдоль оси ШД для создания осевого магнитного потока, который обеспечивает возникновение фиксирующего момента в обесточенном состоянии ШД.

Для обеспечения единичного шага $1,8^\circ$ при основной схеме коммутации необходимо иметь большое количество зубцов на статоре и роторе ШД, для создания эффекта электромагнитной редукции по углу поворота (уменьшению шага), для этого на полюсах статора необходимо выполнить малые зубцы (гребенчатые зоны).

Вращающий момент в ШД создается за счет взаимодействия магнитных полей обмоток статора и постоянного магнита в зубчатой структуре воздушного зазора между статором и ротором.

Из условия симметрии магнитной системы следует [3]:

- малые зубцы статора на каждом из полюсных выступов (полюсах) распределены симметрично, а сами полюсы распределены равномерно по окружности.
- зубцы ротора распределены по окружности равномерно.

Для обеспечения нормальной работы четырехтактного ШД необходимо, чтобы соблюдались следующие условия:

- каждые последующие гребенчатые зоны (малые зубцы) полюсов статора должны быть смещены относительно зубцов ротора на $1/4$ зубцового деления.
- при однопакетном статоре в каждой секции ротора зубцы магнитопроводов должны быть смещены относительно друг друга на половину зубцового деления.

2.2 Основные соотношения

2.2.1 Число полюсов статора Z_s , определяется по формуле:

$$Z_s = 2Km, \quad (1)$$

где m – число фаз (обмоток управления), $m=2$;

K – целое число из ряда натуральных чисел ($K=1, 2, 3, \dots$).

При выборе числа K руководствуемся следующими принципами:

- габарит двигателя (наружный диаметр 60 мм);
- для исключения радиальных усилий от одностороннего магнитного притяжения необходимо иметь симметричную магнитную цепь для прохождения магнитного потока полюсов [3]. Поэтому значение $K=1$ неприемлемо.

Учитывая базовые конструкции ШД, ранее разработанные АО «СЭГЗ» и освоенные в серийном производстве ШД типов ДШС-0,1М и ДШС58-1-3 принимаем $K=2$.

Тогда:

$$Z_s = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8.$$

2.2.2 Число зубцов ротора Z_R [4], определяется по формуле:

$$Z_R = \frac{360^\circ}{K_T \cdot \alpha_{ш}}, \quad (2)$$

где $\alpha_{ш}$, – шаг ШД, °;

K_T – число тактов коммутации схемы управления при основной схеме коммутации фаз ШД.

Число тактов коммутации определяется по формуле:

$$K_T = m \cdot n_1 \cdot n_2, \quad (3)$$

где n_1, n_2 – коэффициенты коммутации;

$n_1=1$ при симметричной коммутации;

$n_2=2$ при разнополярной коммутации.

Тогда:

$$K_T = 2 \cdot 1 \cdot 2 = 4;$$

$$Z_R = \frac{360^\circ}{4 \cdot 1,8} = 50.$$

2.2.3 Число малых зубцов на полюсе статора n_3 определяется по формуле:

$$n_3 = \frac{Z_R}{Z_S}, \quad (4)$$

$$n_3 = \frac{50}{8} = 6,25. \text{ Принимаем } n_3 = 6.$$

2.2.4 Частота вращения ротора ШД n , об/мин, зависит от частоты подачи управляющих импульсов [4] и определяется по формуле:

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{f \cdot \alpha_{ш}}{6}, \quad (5)$$

$$\omega = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot f \cdot \alpha_{ш}$$

где ω – угловая скорость ротора, рад/с;

f – частота управляющих импульсов, Гц.

Например, при $f=600$ Гц:

$$n = \frac{600 \cdot 1,8}{6} = 180 \text{ об/мин.}$$

2.3 Обоснование выбранной конструкции

Конструкция ШД разработана на основе принятого за аналог электродвигателя ДШС58-1-3, имеющего, близкие характеристики и габаритные размеры.

Для обеспечения стойкости к воздействию внешних воздействующих факторов выбрано корпусное исполнение ШД.

Корпусной вариант обеспечивает дополнительное экранирование (защиту) от воздействия ИИКП на ГСО.

Кроме того, в ТЗ предъявлено требование по металлизации корпуса ШД, тем самым устраняются помехи в электрических цепях изделия от внешних магнитных полей и переменных электрических контактов между отдельными частями изделия.

Учитывая требования ТЗ о недопустимости применения ЛКМ на корпусных деталях и максимального облегчения конструкции ШД в качестве материалов корпуса и щита выбран титановый сплав ВТ1-0 [5], а материала вала – коррозионно-стойкая сталь 14Х17Н2 [6].

В качестве материала сердечников статора и магнитопроводов ротора применены прецизионные магнитно-мягкие сплавы 49К2ФА и 49КФ [7] соответственно, обладающие высоким уровнем индукции технического насыщения, что позволяет минимизировать размеры магнитной системы.

В качестве материала постоянных магнитов для магнитной системы ротора применен самарий-кобальтовый сплав (Sm-Co) КС25ДЦ-225 [8] обладающий стабильными магнитными характеристиками в широком диапазоне температур и являющийся радиационостойким [9].

ШД является неремонтопригодным (не разборным), щит с корпусом соединяется лазерной сваркой, что позволяет исключить крепежные элементы.

2.4 Определение параметров электромагнитной системы

Для определения параметров электромагнитной системы выполнен электромагнитный расчет по [3] по результатам которого определены:

- размеры магнитной системы, приведены в таблице 2;
- обмоточные данные, приведены в таблице 3.

Таблица 2 Основные размеры магнитной системы ШД

Наименование параметра, единица измерения		Статор		Ротор	
		обозначение	значение	обозначение	значение
Диаметр, мм	наружный	D_{is}	55	D_{iR}	31,85
	внутренний	D_{as}	32	D_{aR}	9
	зубцового слоя	D_{zs}	33,8	D_{zR}	29,8
Воздушный зазор на сторону, мм		δ_0	0,075	—	
Количество секций ротора		—		K_{CR}	3
Длина одного магнитопровода ротора, мм				L_{iR}	5
Магниты ротора	наружный диаметр, мм	—		D_M	30
	внутренний диаметр, мм	—		d_M	9
	осевая длина	—		L_M	2
Длина сердечника статора, мм		L_{is}	36	—	
Число полюсов статора		Z_s	8	—	
Число зубцов ротора		—		Z_R	50
Число малых зубцов на полюсе статора		n_3	6	—	
Ширина полюса статора, мм		B_{Π}	4	—	
Ширина зубца, мм		b_{zs}	0,81	b_{zr}	0,73
Высота, мм	полюса статора	h_{Π}	6,05	—	
	спинки статора	$h_{СП}$	2,5	—	
Площадь паза статора, мм ²		S_{Π}	78,83	—	

Таблица 3 Обмоточные данные ШД

Наименование параметра, единица измерения	обозначение	значение
Число фаз	m	2
Марка обмоточного провода [10]	ПНЭТ-имид	
Диаметр провода без изоляции, мм	d _{гол}	0,45
Площадь сечения провода без изоляции, мм ²	S _{гол}	0,159
Максимальный диаметр провода с изоляцией, мм	d _{из}	0,495
Площадь сечения провода с изоляцией, мм ²	S _{из}	0,192
Число витков на полюс	W	77
Число параллельных ветвей	a _l	2
Число элементарных проводников	n _{эл}	1
Число проводников в пазу	N	154
Площадь обмотки в пазу, мм ²	S _{обм}	29,568
Коэффициент заполнения паза	K _{зап}	0,375
Средняя длина витка обмотки, мм	l _{ср}	99
Сопротивление фазы при Токр.=20 °С, Ом	R _ф	0,85
Плотность тока в обмотке, А/мм ²	j	9,4

По данным таблиц 2 и 3 разработаны чертежи на:

- лист статора приведен на рисунке 2;
- магнитопровод ротора приведен на рисунке 3;
- схема обмотки статора приведена на рисунке 4.

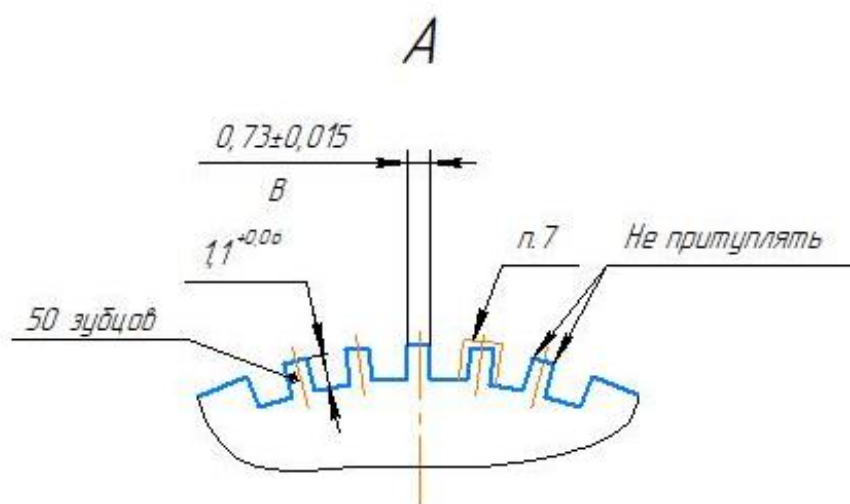
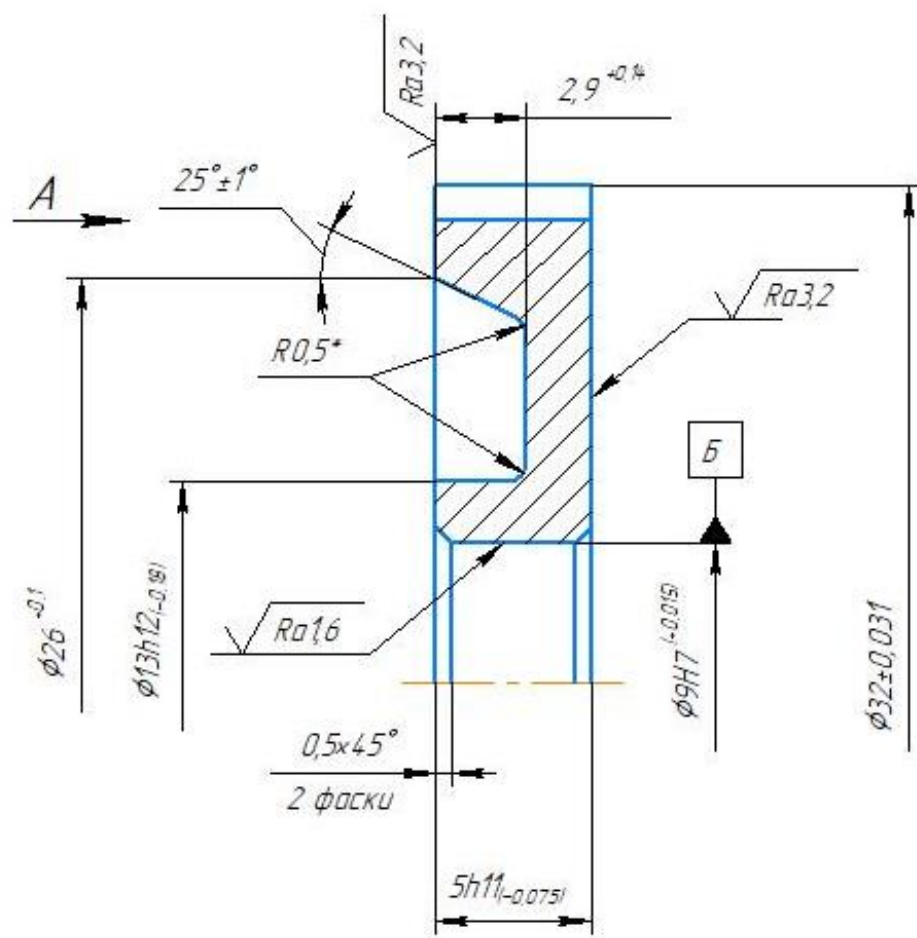
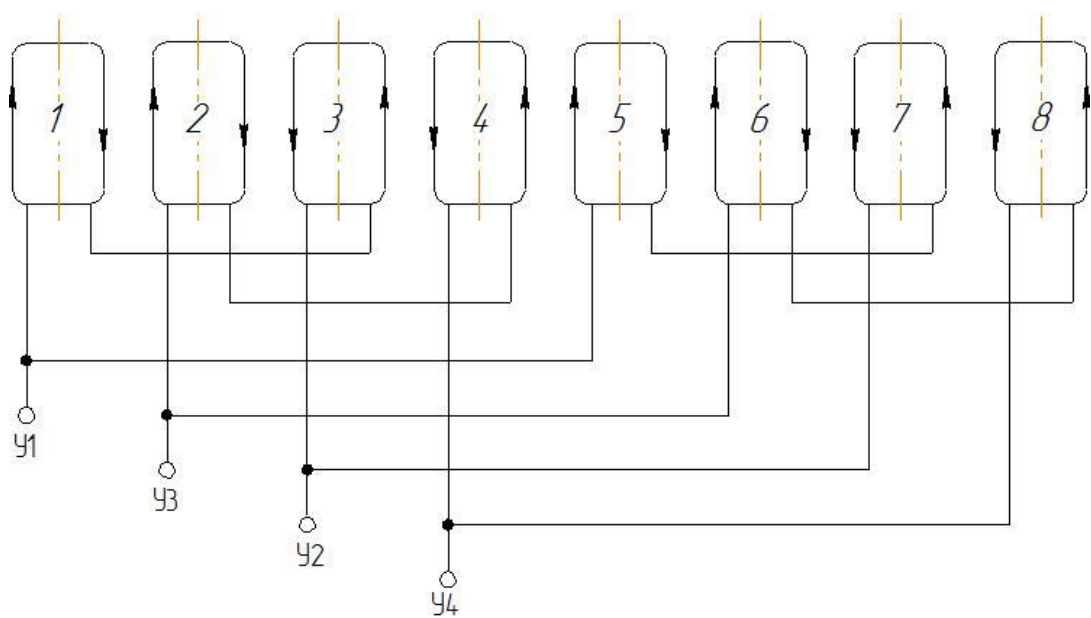


Рисунок 3 – Магнитопровод ротора



I фаза: У1-У2; II фаза: У3-У4

Рисунок 4 – Схема обмотки статора

2.5 Разработка РКД

Согласно Перечню комплектности конструкторской документации, разработана РКД в соответствии с требованиями ЕСКД.

Для подтверждения и обоснования правильности разработанной конструкции ШД выполнены необходимые расчеты:

- размерных цепей;
- на прочность;
- тепловой;
- на прочность к воздействию акустического давления;
- радиационной стойкости;
- показателей надежности.

Конструкция ШД максимально облегчена и обеспечивает беспрепятственное удаление летучих конденсирующихся веществ из внутреннего объема ШД, для чего в щите выполнены 6 отверстий диаметром 4 мм.

Выводы обмоток фаз ШД располагаются на корпусе радиально по диаметру 60 мм.

ШД имеет полную взаимозаменяемость на уровне деталей и сборочных единиц.

Примененные в ШД материалы выбраны в соответствии с требованиями ТЗ, конструктивной необходимостью, гарантийными сроками, условиями эксплуатации и хранения.

С целью противокоррозионной защиты деталей в конструкции ШД применены: коррозионностойкие металлические материалы и неметаллические материалы, а также гальванические и лакокрасочные покрытия, которые выбраны в соответствии с рекомендациями государственных стандартов единой системы защиты от коррозии и старения.

Режимы термообработки узлов и деталей, их гальванические и лакокрасочные покрытия установлены в соответствии с требованиями нормативной документации и обеспечивают заданные режимы работы ШД.

В соответствии с требованиями ТЗ к ШД предъявляются специальные требования по патентной чистоте.

В соответствии с [11] проведены патентные исследования и оформлены следующие документы:

- задание и регламент поиска на проведение патентных исследований;
- отчет о патентных исследованиях.

По результатам патентных исследований по базе ФИПС сделано заключение:

- препятствий и ограничений к проектированию и производству не выявлено;
- патентов третьих лиц, порочащих патентную чистоту ШД не выявлено.

3 Описание конструкции

Конструкция ШД приведена на рисунке 5.

Основными узлами ШД являются: корпус, статор, щит и ротор, вращающийся в подшипниках.

В корпусе 1 установлен статор 4, имеющий восемь зубчатых полюсов, на каждом из которых расположена сосредоточенная катушка обмотки статора 5.

Сердечник статора 4 собран из листов прецизионного магнитно-мягкого сплава, скрепленных между собой клеем.

Статор 4 для исключения проворота в корпусе 1 фиксируется стопорными винтами 9, установленными на клее.

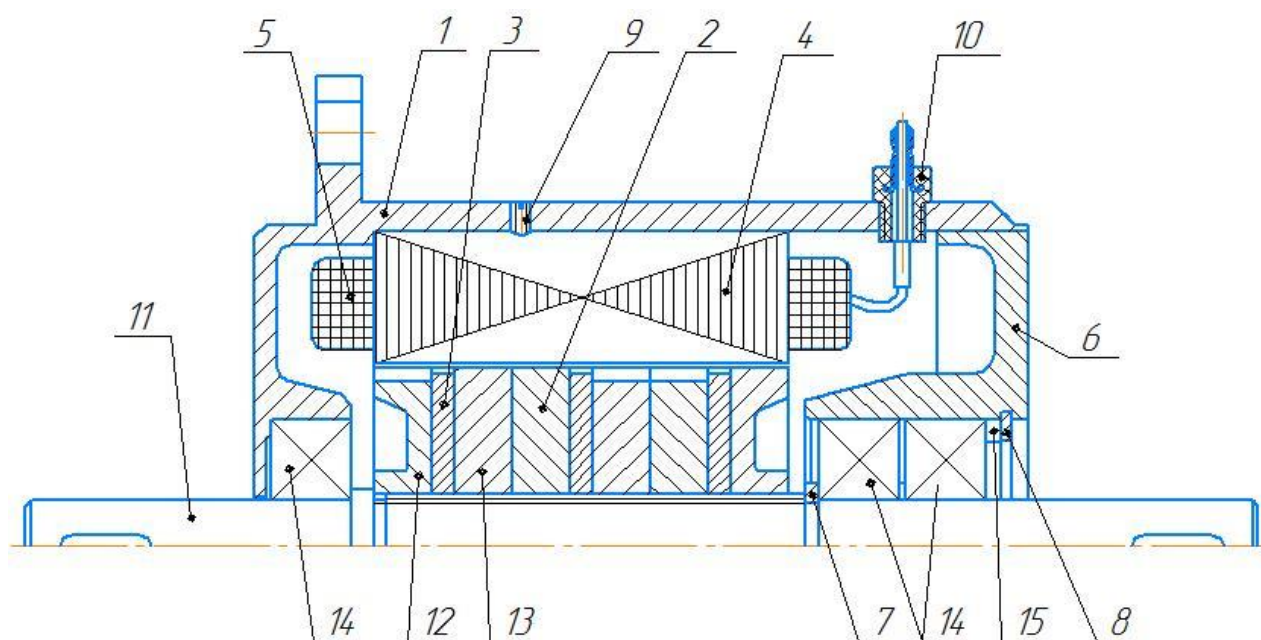
Обмотка статора 5 пропитана эпоксидным компаундом, который обеспечивает дополнительную электроизоляцию, механическое крепление, влагозащиту и теплоотвод.

Ротор 2 ШД состоит из вала 11, на который напрессованы три секции. Каждая секция состоит из двух магнитопроводов 12 и 13 между которыми установлен магнит 3. Ротор 2 ШД вращается на трех подшипниках 14.

Щит 6 запрессован в корпус 1 и дополнительно закреплен лазерной сваркой. В корпусе 1 на клее установлены клеммы контактные 10, к которым припаяны выводные концы обмоток статора 5.

Для регулирования осевого перемещения ротора 2 установлены шайбы регулировочные 15, подшипники зафиксированы стопорными кольцами 7 и 8.

Габаритные и присоединительные размеры ШД приведены на рисунке 6.



- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1 Корпус | 9 Винт |
| 2 Ротор | 10 Клемма контактная |
| 3 Магнит | 11 Вал |
| 4 Статор | 12 Магнитопровод |
| 5 Обмотка статора | 13 Магнитопровод |
| 6 Щит | 14 Подшипник |
| 7 Кольцо | 15 Шайба |
| 8 Кольцо | |

Рисунок 5 – Конструкция ШД

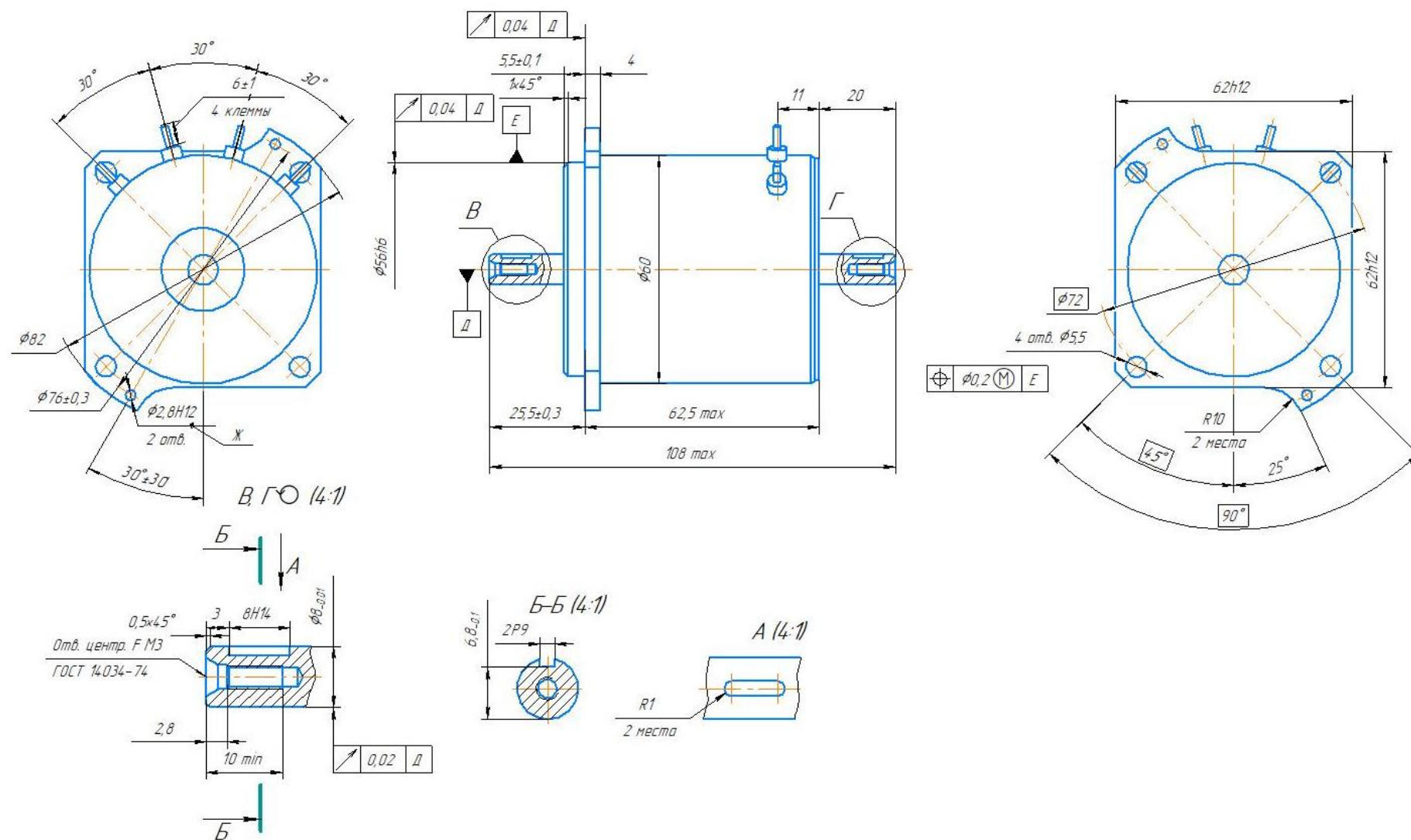


Рисунок 6 – Габаритные и присоединительные размеры ШД

4 Технологическая подготовка

На основании РКД, согласно Перечню комплектности технологической документации, разработана ТД на детали, узлы и в целом на сборку ШД в соответствии с требованиями ЕСТД.

В процессе выполнения СЧ ОКР проведена технологическая подготовка для ведения опытного мелкосерийного производства, сводные данные приведены в таблице 4.

Таблица 4 Результаты технологической подготовки

№ п/п	Стадия технологической подготовки производства	Количество объектов в стадии
1	Анализ РКД и технологический контроль на предмет технологичности конструкции	14
2	Разработка технологических процессов	17
3	Проектирование и изготовление специальной технологической оснастки и инструмента	40
4	Расчет и определение материальных нормативов	25

При разработке ТД использовался многолетний опыт АО «СЭГЗ» в производстве электрических машин в области холодной штамповки, механической обработки и сборки, с применением существующего оборудования и унифицированного инструмента.

Технологические процессы разработаны с учетом требований [12] с оформлением маршрутно-технологических паспортов на каждую деталь и сборку (партию).

Для оценки результативности ТД проводилась контрольная сборка ШД, по результатам которой установлено, что технологический процесс обеспечивает изготовление качественной продукции, что подтверждается положительными результатами испытаний.

5 Работы по МО

В соответствии с [13] и [14] разработана программа МО на этапе разработки.

Перед началом предварительных испытаний были проведены работы по МО и оформлены:

- справка о годности средств испытаний, средств контроля и измерений для проведения испытаний;
- акт оценки готовности МО испытаний.

На всех этапах выполнения СЧ ОКР метрологической службой АО «СЭГЗ» проводился метрологический контроль документов.

Наименование, обозначение, правила написания и применение единиц физических величин в документации отвечает требованиям [15].

В соответствии с ТЗ была разработана программа и методики предварительных испытаний по [16] и [17].

На этапе предварительных испытаний в соответствии требованиями ТЗ проведена МЭ документов по [18] в аккредитованной в соответствии с требованиями [19] организации.

На выполнение работ по МЭ был заключен договор с АО «ЦНИИмаш», которой была разработана программа МЭ, проведена МЭ и оформлено Заключение МЭ.

6 Работы по стандартизации и унификации

В процессе выполнения СЧ ОКР применялись документы по стандартизации в соответствии с их областью применения и включенные в сводный перечень ДСОП.

Необходимость в разработке новых и внесение изменений в действующие документы по стандартизации не требуется.

При конструировании ШД были учтены рекомендации по стандартизации и унификации, так в конструкции ШД используются:

- материалы и покрытия, применяемые на предприятии в соответствии с ограничительными перечнями;
- стандартные: винты по [20], подшипники по [21] и заклепки по [22];
- унифицированные детали и сборочные единицы: магниты ПСИЯ.757162.004, прокладка ПСИЯ.754152.070, короны ПСИЯ.712144.001 и клеммы ПСИЯ.685551.008.

Показатели уровня стандартизации и унификации ШД не рассчитывались, т.к. в ТЗ количественные требования не предъявляются.

Также была проведена оценка унификации:

- технологических процессов и оснастки;
- методов испытаний и контрольно-измерительной аппаратуры.

Результаты оценки унификации приведены в таблице 5.

Таблица 5 Оценка унификации

№ п/п	Оцениваемые объекты	Уровень унификации, %
1	Технологические процессы	29
2	Оснастка	11
3	Методы испытаний	100
4	Контрольно-измерительная аппаратура	76

7 Результаты испытаний

В процессы выполнения СЧ ОКР были изготовлены:

- макетные образцы ШД – 6 шт.;
- опытные образцы ШД – 8 шт.

7.1 Результаты испытаний макетных образцов

Для оценки основных параметров ШД были проведены испытания 2 шт. макетных образцов на базе АО «СЭГЗ» и в филиале АО «Корпорация «Комета» – «НПЦ ОЭКН», результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6 Результаты испытаний макетных образцов ШД

№ п/п	Наименование параметра, единица измерения	Макетный образец ШД		Требования ТЗ
		№1	№2	
1	Зубцовая зона	узкая	стандартная	–
2	Величина воздушного зазора, мм	0,10	0,15	–
3	Масса, кг	0,81	0,82	не более 0,9
3	Статический фиксирующий момент, Н·м	0,054	0,11	не менее 0,1
4	Момент удержания, при фиксированной стоянке под током обеих фаз (1,0±0,1) А, Н·м	0,5	0,55	не менее 0,5
5	Максимальная приемистость, шаг/с	1290	1100	700
6	Разгон при моменте нагрузки 0,9 Н·м с инерционной нагрузкой (маховиком) при плавном увеличении частоты до 600 Гц	ШД устойчиво функционирует (разгоняется и выходит на режим)		ШД должен допускать работу с инерционной нагрузкой при плавном увеличении частоты до 600 Гц

По результатам испытаний макетных образцов определено, что макетный образец №2 со стандартной зубцовой зоной соответствует требованиям ТЗ, а макетный образец №1, имеющий узкую зубцовую зону, не соответствует требованиям ТЗ по фиксирующему моменту. Поэтому было принято решение о дальнейшем изготовлении ШД со стандартной зубцовой зоной.

7.2 Результаты испытаний опытных образцов

В соответствии с программой и методиками предварительных испытаний по [23] были проведены предварительные испытания 2 шт. опытных образцов ШД.

По результатам предварительных испытаний оформлен Акт в котором сделаны выводы:

- все пункты программы предварительных испытаний выполнены в полном объеме;
- опытные образцы ШД испытания выдержали;
- предварительные испытания считать законченными;
- оформление решения по акту предварительных испытаний не требуется;
- опытные образцы ШД пригодны для дальнейших испытаний.

Результаты предварительных испытаний (проверок) и оценка соответствия требованиям ТЗ приведены в таблице 7.

На основании Акта предварительных испытаний РКД на ШД присвоена литера «О» в соответствии с [1] и [24].

Таблица 7 Результаты предварительных испытаний (проверок) и оценка соответствия требованиям ТЗ

№ протокола	Наименование параметров, испытаний и проверок	Ед. измер.	Номер пункта требований		Задано		Результат проверки электродвигателей		Оценка соответствия
			ТЗ	проекта ТУ	ТЗ	в проекте ТУ	1234005	1234006	соответ.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Проверка внешнего вида, наличия и качества маркировки	–	3.2.4, 3.14.7, 3.14.8, 3.14.9 8.1	1.1.1, 1.7	Качество сборки должно соответствовать требованиям КД. Отсутствие острых кромок, коррозии и механических повреждений. Отсутствие лакокрасочных материалов на корпусных деталях. Металлизация по У61-2278-ТУ, способ 3. Маркировка должна содержать название изделия и заводской номер		соответ.	соответ.	соответ.
2	Проверка установочных, присоединительных и габаритных размеров	–	3.14.1, 3.14.2, 3.14.4, 1.14.5	1.2.2	Соответствие габаритному чертежу ПСИЯ.522414.005 ГЧ		соответ.	соответ.	соответ.
3, 26	Проверка сопротивления изоляции	МОм, не менее	3.9.5	2.1	20 (в НКУ)	20 (в НКУ)	100	100	соответ.
21						5 (при повыш. темпер.)	100	100	соответ.
24						1 (при повыш. влажн.)	90	70	соответ.
4	Проверка электрической прочности изоляции	В	3.9.6	2.2	в НКУ ~Удейст.=250	в НКУ ~Удейст.=250	отсутст. пробоя	отсутст. пробоя	соответ.
24, 26						при повышенной влажности и после испытаний на наработку ~Удейст.=125	отсутствие пробоя изоляции	отсутст. пробоя	соответ.
5	Проверка направления вращения	–	3.2.5	1.2.3	Должен быть реверсивным	Соответствие приложению «Е»	соответ.	соответ.	соответ.
6	Проверка момента удержания	Н·м, не менее	3.2.9	1.1.3	0,5	влево	0,55	0,90	соответ.
						вправо	0,57	0,92	
7	Проверка максимальной призмистости	шаг/с	3.2.11	1.1.3	700	влево	соответ.	соответ.	соответ.
						вправо	соответ.	соответ.	

продолжение таблицы 7

№ прото- кола	Наименование параметров, испытаний и проверок	Ед. измер.	Номер пункта требований		Задано		Результат проверки электродвигателей		Оценка соответствия
			ТЗ	проекта ТУ	ТЗ	в проекте ТУ	1234005	1234006	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	Проверка работоспособности при разгоне	—	3.2.12, 3.2.13	1.2.4	Должен работать при $M_{нагр.}=0,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $J_{нагр.}=0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ при плавном увеличении частоты управляющих импульсов	влево	соответ.	соответ.	соответ.
						вправо	соответ.	соответ.	
9	Проверка статического фиксирующего момента	Н·м, не менее	3.2.10	1.1.3	0,1	влево	0,105	0,120	соответ.
						вправо	0,105	0,115	
10	Проверка массы	кг, не более	3.14.3	1.1.3	0,9		0,814	0,815	соответ.
11	Проверка электромагнитной постоянной времени обмоток	мс, не более	3.2.6	1.1.5	5	фаза I	4,90	4,78	соответ.
						фаза II	4,94	4,85	
12	Проверка шага и статической погрешности	%, не более	3.2.2, 3.2.3	1.1.3	±5	влево	±1,38	±3,24	соответ.
						вправо	±1,85	±3,70	
13	Проверка температуры обмоток	°С, не более	—	1.2.5	—	150	66,8	60,2	соответ.
14	Испытание на воздействие синусоидальной вибрации	—	3.4.1 таблица 1 п.1	1.4.1 таблица 3 п.1	Должен быть прочным		Механические повреждения отсутствуют		соответ.
		Амплитуда ускорения			100 (10)	выдер.	выдер.		
		Диапазон частот			10 – 2000				
		Время воздействия по каждой оси			360				
15	Испытание на воздействие механических ударов одиночного действия	—	3.4.1 таблица 1 п.4	1.4.1 таблица 3 п.2	Должен быть прочным		Механические повреждения отсутствуют		соответ.
		Пиковое ударное ускорение			100 (10)	выдер.	выдер.		
		Длительность действия ударного ускорения			от 5,0 до 10,0				
16	Испытание на воздействие механических ударов многократного действия	—	3.4.1 таблица 1 п.5	1.4.1 таблица 3 п.3	Должен быть прочным		Механические повреждения отсутствуют		соответ.
		Пиковое ударное ускорение			50 (5)	выдер.	выдер.		
		Длительность действия ударного ускорения			от 2,0 до 10,0				
		Количество ударов по каждой оси			12				

продолжение таблицы 7

№ прото- кола	Наименование параметров, испытаний и проверок	Ед. измер.	Номер пункта требований		Задано		Результат проверки электродвигателей		Оценка соответствия
			ТЗ	проекта ТУ	ТЗ	в проекте ТУ	1234005	1234006	соответ.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	Испытание на воздействие линейного ускорения	—	3.4.1 таблица 1 п.6	1.4.1 таблица 3 п.4	Должен быть прочным		Механические повреждения отсутствуют		соответ.
		м/с ² (g)			Значение линейного ускорения	150 (15)	выдер.	выдер.	
18	Испытание на воздействие квазистатических и низкочастотных (менее 20 Гц) динамических ускорений	—	3.4.1 таблица 1 п.7	1.4.1 таблица 3 п.5	Должен быть прочным		Механические повреждения отсутствуют		соответ.
		м/с ² (g)			Амплитуда ускорения	до 60 (6)	выдер.	выдер.	
		с			Длительность действия ускорения	до 600			
19	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления при транспортировании	—	3.4.1 таблица 1 п.9	1.4.2 таблица 4 п.1	Должен быть прочным		Повреждения отсутствуют		соответ.
		Па (мм рт. ст.)			1,2·10 ⁴ (90)		выдер.	выдер.	
20	Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления при эксплуатации	—	3.4.1 таблица 1 п.9	1.4.2 таблица 4 п.1	Должен быть стойким		Повреждения отсутствуют		соответ.
		Па (мм рт. ст.)			1,3·10 ⁻⁴ (10 ⁻⁶) (допускается 1,33·10 ⁻³ (10 ⁻⁵))		выдер. (в течение 2 ч)	выдер. (в течение 2 ч)	
21	Испытание на воздействие повышенной температуры среды	—	3.4.1 таблица 1 п.11	1.4.2 таблица 4 п.2	Должен быть стойким		Повреждения отсутствуют		соответ.
		°C			Рабочая	30	выдер.	выдер.	
		°C			Предельная	50	выдер. (в течение 24 ч)	выдер. (в течение 24 ч)	
22	Испытание на воздействие пониженной температуры среды	—	3.4.1 таблица 1 п.12	1.4.2 таблица 4 п.3	Должен быть стойким		Повреждения отсутствуют		соответ.
		°C			Рабочая	минус 30	выдер.	выдер.	
		°C			Предельная (в течение 14 ч)	минус 60	выдер. (в течение 24 ч)	выдер. (в течение 24 ч)	
23	Испытание на воздействие изменения температуры среды	—	3.4.1 таблица 1 п.13	1.4.2 таблица 4 п.4	Должен быть стойким		Повреждения отсутствуют		соответ.
		°C			Диапазон изменения температуры среды	от минус 50 до плюс 50	выдер.	выдер.	
		—			Количество циклов	5			
24	Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха	—	3.4.1 таблица 1 п.14	1.4.2 таблица 4 п.5	Должен быть стойким		Коррозия и повреждения отсутствуют		соответ.
		%			Относительная влажность	98	выдер.	выдер.	
		°C			Температура	25			

продолжение таблицы 7

№ прото-кола	Наименование параметров, испытаний и проверок	Ед. измер.	Номер пункта требований		Задано			Результат проверки электродвигателей		Оценка соответствия
			ТЗ	проекта ТУ	ТЗ	в проекте ТУ		1234005	1234006	соответ.
1	2	3	4	5	6	7		8	9	10
25	Испытание на прочность при транспортировании	—	3.8.1 таблица 3	1.4.5 таблица 6	Тара и двигатель не должны иметь повреждений			Повреждения отсутствуют		соответ.
		м/с² (g)			Пиковое ударное ускорение		90 (9,0)	выдер.	выдер.	
		мс			Длительность действия ударного ускорения		от 5 до 10			
		—			Количество ударов по каждой оси		2 500			
		ударов/мин, не более			Частота повторения		до 120			
26	Испытание на циклическую наработку	—	3.7.5	1.1.4	Режим работы на ГСО циклический			Наработано по циклограмме (tвр=10 мин, tуд=35 мин, totкл=5 мин)		соответ.
					20 % времени САС		Режим вращения	73 ч 20 мин	—	
					70 % времени САС		Режим удержания	256 ч 40 мин	—	
					10 % времени САС		Питание отключено	36 ч 30 мин (исключая послед. цикл)	—	
		—	7.3	—	гаран-тийная нара-ботка	330 ч		330	—	
						440 циклов работы	влево	220	—	
27	Проверка на прочность к воздействию акустического давления	—	3.4.2 таблица 2	1.4.3 таблица 5	Должен быть прочным			соответ.		соответ.
					Подтверждается расчетным методом			Расчет №65-3-42/22		
28	Проверка радиационной стойкости	—	3.4.3, 3.4.4, 3.4.5	1.4.4	Должен быть стойким в течение САС			соответ.		соответ.
					Подтверждается по программе ПОСТ №65-3-25/22			Расчет №65-3-43/22		
29	Проверка требований надежности	не менее	3.5	1.5	Вероятность безотказной работы		0,9995	0,99962		соответ.
		лет, не менее			Срок службы		15	15 (подтвержден аналогами)		
		—			Подтверждается расчетным методом			Расчет №65Н/54-2022		
30	Проверка требований безопасности	—	3.9	2	По ГОСТ 12.2007.0-75			соответ.		соответ.
					Подтверждается по программе ПОБ №65-3-26/22					

продолжение таблицы 7

№ прото- кола	Наименование параметров, испытаний и проверок	Ед. измер.	Номер пункта требований		Задано		Результат проверки электродвигателей		Оценка соответствия
			ТЗ	проекта ТУ	ТЗ	в проекте ТУ	1234005	1234006	соответ.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	Проверка требований по стандартизации и унификации	—	3.12	—	КД должна соответ. ЕСКД, ТД – ЕСПД	—	соответ.		соответ.
32	Проверка требований технологичности	—	3.13	—	Максимально возможное использов. ТП	—	соответ. (подтверждено справками: – по производственной технологичности; – о выполненных работах по обеспечению технологичности; – о состоянии унификации ТП и оснастки)		соответ.
33	Проверка требований к метрологическому обеспечению	—	6.1	4.1	По ГОСТ РВ 008-006-2019		соответ.		соответ. (подтверждено документами: – справка о годности СИ, ИО, КО; – акт оценки готовности МО испытаний)
					Подтверждается по программе МО №65-3-36/22				
34	Проверка требований к сырью, материалам и комплектующим изделиям межотраслевого применения	—	7	1.3	Соответствие НТД и наличие сопроводительной документации. Входной контроль по ГОСТ РВ 0015-308-2017		соответ. (подтверждено справкой по результатам входного контроля)		соответ.
35	Проверка требований к консервации, упаковке и маркировке	—	8	1.7, 1.8	Тара по ГОСТ РВ 0009-001-2019. Маркировка тары по ГОСТ 14192-96. Консервация по ГОСТ 9.014-78, ГОСТ ВД 9.014-80		соответ. (упаковка по ПСИЯ.520204.018)		соответ.
36	Проверка специальных требований	—	10	—	Патентные исследования по ГОСТ Р 15.011-96	—	соответ. (Отчет о патентных исследованиях №65-3-24/22)		соответ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 СЧ ОКР выполнена в соответствии с требованиями ТЗ в полном объеме, а именно:

- разработана конструкторская и технологическая документация на ШД;
- проведены патентные исследования;
- изготовлены макетные (6 шт.) и опытные (8 шт.) образцы ШД;
- проведены испытания 2 шт. макетных образцов и предварительные испытания 2 шт. опытных образцов;
- разработана программа МЭ;
- проведена МЭ;
- выполнена необходимая корректировка документации и ей присвоена литера «О».

2 Проведенными расчетами, испытаниями подтверждены требования ТЗ.

3 Конструкторская и технологическая документация согласована и утверждена установленным порядком и позволяет вести изготовление опытных образцов для комплектации ПЗС ОМС.

4 В ШД. применены конструктивные решения, позволяющие проводить модернизацию, и возможно создание на его базе модификаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] ГОСТ РВ 15.203-2001 Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок выполнения опытно-конструкторских работ по созданию изделий и их составных частей.
- [2] ГОСТ РВ 0020-39.304-2019 Комплексная система контроля качества. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам.
- [3] Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / Под ред. М.Г. Чиликина. – М. Энергия, 1971. – 624 с.
- [4] Арменский Е.В., Фалк Г.Б. Электрические микромашины. – М. Высшая школа, 1985. – 231 с.
- [5] ГОСТ 26492-85 Прутки катаные из титана и титановых сплавов. Технические условия.
- [6] ГОСТ 5632-2014 Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.
- [7] ГОСТ 10160-75 Сплавы прецизионные магнитно-мягкие. Технические условия.
- [8] ГОСТ 21559-76 Материалы магнитотвердые спеченные. Марки, технические требования и методы контроля.
- [9] Безродных И.П., Тютнев А.П., Семенов В.Т. Радиационные эффекты в космосе. Часть 2 Воздействие космической радиации на электротехнические материалы. – М., АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. – 122 с.
- [10] ТУ16-505.489-78 Провода медные и медные никелированные с нагревостойкой эмалевой изоляцией на основе полиимидов. Технические условия.
- [11] ГОСТ Р 15.011-96 Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения.

[12] Положение РК-11

[13] ГОСТ РВ 0008-000-2019 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники. Основные положения.

[14] ОСТ 92-1371-99 Отраслевая система метрологического обеспечения качества. Изделия ракетно-космической техники. Метрологическое обеспечение разработки.

[15] ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

[16] ГОСТ РВ 15.211-2002 Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок разработки программ и методик испытаний опытных образцов изделий. Основные положения.

[17] ГОСТ РВ 0020-57.310-2019 Комплексная система контроля качества. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методы оценки соответствия конструктивно-техническим требованиям.

[18] ГОСТ РВ 0008-006-2020 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение испытаний вооружения и военной техники. Основные положения.

[19] ОСТ 92-4286-89 Отраслевая система метрологического обеспечения качества. Порядок проведения метрологической экспертизы технической документации.

[20] ГОСТ 1476-93 Винты установочные с коническим концом и прямым шлицем классов точности А и В. Технические условия.

[21] ГОСТ 7242-2021 Подшипники качения. Подшипники шариковые радиальные однорядные с защитными шайбами. Общие технические требования.

[22] ОСТ1 34033-77 Заклепки трубчатые из латуни Л63. Конструкция и размеры.

[23] ГОСТ РВ 0015-210-2020 Система разработки и постановки на производство военной техники. Испытания опытных ремонтных образцов изделий. Основные положения.

[24] ГОСТ РВ 2.902-2005 ЕСКД Порядок проверки, согласования и утверждения конструкторской документации.