

Информация о ходе выполнения и полученных результатах по 3 этапу проекта.

В ходе выполнения проекта по теме «Разработка универсального захватывающего устройства антропоморфного типа для выполнения контактных операций с повышенной точностью и надежностью» по Соглашению о предоставлении субсидии от «24» ноября 2014 г. №14.577.21.0136, с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014- 2020 годы» на этапе № 3 в период с 1 июля по 31 декабря 2015г. выполнены следующие работы:

1) По п. 3.1 ПГ (100%):

а) разраб. прогр. модуль позиц. регул. сервопривода, который может использоваться для управления широким ассортиментом электродвигателей постоянного тока

2) По п. 3.2 ПГ (100%):

а) разраб. прогр. модуль протокола обмена данными между микропроцессорными модулями, может быть использован при разработке коммуникационных модулей для передачи команд управления различным потребителям

3) По п. 3.3 ПГ (100%):

а) разраб. прогр. модуль формир. паттернов захвата, вычисления обратной кинематической задачи, аппроксимации траекторий и синхронизации исполнительных групп звеньев.

4) По п. 3.4 ПГ (100%):

а) разраб. текст и опис. прогр.

5) По п. 3.5 ПГ (100%):

а) разраб. текст и опис. прогр.

6) По п. 3.6 ПГ (100%):

а) разраб. текст и опис. прогр.

7) По п. 3.7 ПГ (100%):

а) разраб. сх. электр. принц-ая для управления приводами исполнительных групп звеньев и обработки данных системы сенсоров обратной связи, формирования управляющих воздействий на платы силовой электроники для управления вращением бесколлекторных моторов

8) По п. 3.8 ПГ (100%):

а) разраб. сх. электр. принц-ая для исполнения программного модуля по алгоритмам управления захватом, подключения интерфейса обмена данными к микропроцессорным модулям управления приводами исполнительных групп звеньев

9) По п. 3.9 ПГ (100%):

а) разраб. сх. электр. принц-ая СДОС, содержащая схему сканирования данных тактильного сенсора и коммутационные

разъёмы для подключения датчиков Холла

б) разраб. сх. электр. принц-ая МСЭ, содержащая трехфазную инверторную схему для коммутации обмоток бесколлекторных электродвигателей

10) По п. 3.10 ПГ (100%):

а) разраб. сх. электр. принц-ая ПриГЗ-АУ

11) По п. 3.11 ПГ (100%):

а) разработ. сх. электр. принц-ая ПрКЗЗУ-КРД

12) По п. 3.12 ПГ (100%):

а) разработ. сх. электр. принц-ая СДОС

13) По п. 3.13 ПГ (100%):

а) разработ. сх. электр. принц-ая МСЭ

14) По п. 3.14 ПГ (100%):

разработ. вариант compon. ЭО АМЗ с использованием:

а) эластичных тяг в кинематически связанных звеньях, что повышает способность адаптации к сложным формам предметов.

б) использованием бесколлекторных электродвигателей, размещаемых вместе с системой управления в предплечье

в) передачи движения за счёт нерастяжимых тяг

15) По п. 3.15 ПГ (100%):

а) разработ. чертёж общ. вида

б) разработ. габар. чертёж

в) сх. функц.;

г) сх. стр-ая;

д) сх. эл-ая.;

е) сх. кин-ая;

ж) сх. соедин..

16) По п. 3.16 ПГ (100%):

а) разработ. ПМЭИ

17) По п. 3.17 ПГ (100%):

а) разработ. эл-ты констр.

б) разработ. электронные модули

18) По п. 3.18 ПГ (100%):

а) разработ. чертёж общ. вида

б) разработ. габар. чертёж

в) сх. функц.;

г) сх. стр-ая;

д) сх. эл-ая.;

е) сх. кин-ая;

ж) сх. соедин..

19) По п. 3.19 ПГ (100%):

а) разработ. эл. модуль. ИС

б) раб. место оператора

Основные характеристики полученных результатов (в целом и/или отдельных элементов), созданной научной (научно-технической, инновационной) продукции:

1) Выполнена разработка исходного кода специального программного обеспечения (СПрО) на основе алгоритмов ПриГЗ-АУ и СДОС, разработанных на Этапе 2 ПНИ. Разработан Раздел 1 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка специального программного обеспечения (СПрО) по алгоритмам ПриГЗ-АУ и СДОС», содержащий описание:

а) Функционала программы;

б) Программных модулей.

Разработанные программные модули предназначены для управления приводами исполнительных групп звеньев ЭО АМЗ, могут быть использованы при разработке манипуляторов с

произвольными кинематическими схемами на основе технических решений ЭО АМЗ и выполняют следующие задачи:

- а) Приём и обработка данных с датчиков углового положения;
- б) Приём и обработка данных с тактильных датчиков;
- в) Контроллер (системы управления) положения приводов исполнительных групп звеньев, работающих в противофазе (антагонистическая схема управления);
- г) Расчёт требуемого управляющего сигнала для позиционирования исполнительного звена и удержания его положения;
- д) Контроль усилия на захватываемом объекте;
- е) Формирование управляющих воздействий для модуля силовой электроники (МСЭ);
- ж) Запись архива телеметрии;
- з) Протокол приёма команд управления и обмена данными с внешними устройствами.

2) Выполнена разработка исходного кода специального программного обеспечения (СПрО) на основе алгоритмов ПрКЗЗУ-КРД, разработанных на Этапе 2 ПНИ. Разработан Раздел 2 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка специального программного обеспечения (СПрО) по алгоритмам ПрКЗЗУ-КРД», содержащий описание:

- а) Функционала программы;
- б) Программных модулей.

Разработанные программные модули предназначены для формирования пакетов данных и передачи команд для управления приводами исполнительных групп звеньев ЭО АМЗ. Протокол обмена данными и модуль сохранения телеметрии могут быть использованы при разработке широкого ассортимента робототехнических решений в качестве базового интерфейса взаимодействия между устройствами. Протокол реализует возможность одновременной широковещательной передачи пакетов данных нескольким потребителям, что позволяет снизить задержки, вызванные интерфейсом обмена и увеличить отклик системы на входное управляющее воздействие.

Программные модули предназначены для выполнения следующих задач:

- а) Формирование управляющих команд для модулей управления приводами исполнительных групп звеньев;
- б) Приём данных телеметрии от приводов исполнительных групп звеньев и запись в архив;
- в) Протокол обмена данными с модулями управления приводами исполнительных групп звеньев.

3) Выполнена разработка исходного кода прикладного программного обеспечения (ППрО) на основе алгоритмов ПрКЗЗУ-КРД, разработанных на Этапе 2 ПНИ. Разработан Раздел 3 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка прикладного программного обеспечения (ППрО) по алгоритмам ПрКЗЗУ-КРД», содержащий описание:

- а) Функционала программы;
- б) Программных модулей.

Разработанные программные модули предназначены для расчёта траекторий движения, синхронизации скоростей движения исполнительных звеньев ЭО АМЗ с учётом развиваемого усилия на объекте захвата.

Программные модули могут быть использованы при построении систем управления антропоморфным манипулятором захвата, имеющим схожую с человеческой рукой кинематическую схему, но различное количество управляемых и зависимых степеней подвижности и предназначены для выполнения следующих задач:

- а) Хранение паттернов движения (набор траекторий движения манипулятора);
- б) Модуль решения обратной кинематической задачи;
- в) Модуль решения обратной динамической задачи;
- г) Нелинейная 3-4-5 полиномиальная аппроксимация траектории между двумя точками;

- д) Независимое формирование команд управления платами приводов исполнительных звеньев;
- е) Контроль давления на рабочих поверхностях исполнительных звеньев;
- ж) Обмен данными с внешними устройствами.

4) Выполнена разработка программной документации на специальное программное обеспечение ПриГЗ-АУ. Разработан Раздел 4 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка программной документации на специальное программное обеспечение (СПрО) ПриГЗ-АУ», разработаны Приложения Д и Е в составе:

- а) Текст программы СПрО ПриГЗ-АУ в соответствии с ГОСТ 19.401-78 (Приложение Д);
- б) Описание программы СПрО ПриГЗ-АУ в соответствии с ГОСТ 19.402-78 (Приложение Е).

5) Выполнена разработка программной документации на специальное программное обеспечение ПрКЗЗУ-КРД. Разработан Раздел 5 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка программной документации на специальное программное обеспечение (СПрО) ПрКЗЗУ-КРД», разработаны Приложения Ж и И в составе:

- а) Текст программы СПрО ПрКЗЗУ-КРД в соответствии с ГОСТ 19.401-78 (Приложение Ж);
- б) Описание программы СПрО ПрКЗЗУ-КРД в соответствии с ГОСТ 19.402-78 (Приложение И).

6) Выполнена разработка программной документации на прикладное программное обеспечение ПрКЗЗУ-КРД. Разработан Раздел 6 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка программной документации на прикладное программное обеспечение (ППрО) ПрКЗЗУ-КРД», разработаны Приложения К и Л в составе:

- а) Текст программы ППрО ПрКЗЗУ-КРД в соответствии с ГОСТ 19.401-78 (Приложение К);
- б) Описание программы ППрО ПрКЗЗУ-КРД в соответствии с ГОСТ 19.402-78 (Приложение Л).

7) Выполнена разработка микропроцессорного модуля ПриГЗ-АУ. Разработан Раздел 7 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка микропроцессорного модуля ПриГЗ-АУ», содержащий описание состава модуля:

- а) Микропроцессор STM32F103 семейства ARM Cortex-M3;
- б) Интерфейс обмена данными с СДОС;
- в) Интерфейс взаимодействия с МСЭ;
- г) Модуль памяти для сохранения телеметрии.

Разработанный микропроцессорный модуль обеспечивает необходимую производительность для исполнения программного кода СПрО ПриГЗ-АУ и реализует следующий функционал:

- а) Приём команд управления от внешних устройств;
- б) Запись архива данных телеметрии;
- в) Приём и обработка данных сенсоров обратной связи (угловое положение сустава манипулятора, датчики углового положения вала двигателя, тактильный сенсор, токовый сенсор);
- г) Программная реализация системы управления вращением электродвигателей с контролем развиваемого усилия;
- д) Формирование сигналов управления модулем силовой электроники.

Технические характеристики микропроцессорного модуля ПриГЗ-АУ:

- а) Количество интерфейсов SPI – 2 шт (SPI1 и SPI2);
- б) Количество интерфейсов RS-232 – 1 шт;
- в) Разрядность шины данных управления опросом тактильного сенсора – 8 бит;
- г) Количество подключаемых электродвигателей – 2 шт;
- д) Количество подключаемых датчиков Холла – 6 шт;
- е) Разрядность шины данных бесколлекторными электродвигателями – 12 бит (управление двумя 3-фазными инверторами);
- ж) Напряжение питания и логический уровень – 3.3В

з) Внутренняя служебная память – 1024 байта

8) Выполнена разработка микропроцессорного модуля ПрКЗЗУ-КРД. Разработан Раздел 8 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка микропроцессорного модуля ПриГЗ-АУ Разработка микропроцессорного модуля ПрКЗЗУ-КРД», содержащий:

а) Встраиваемый вычислительный модуль NUC5i7RYH;

б) Плата интерфейса с микропроцессорным модулем ПриГЗ-АУ.

Разработанный микропроцессорный модуль обеспечивает необходимую производительность для исполнения программного кода специального и прикладного программного обеспечения ПрКЗЗУ-КРД и реализует следующий функционал:

а) Запуск и исполнение программного специального программного обеспечения по алгоритмам ПрКЗЗУ-КРД;

б) Запуск и исполнение прикладного программного обеспечения по алгоритмам ПрКЗЗУ-КРД;

в) Интерфейс обмена данными с микропроцессорными модулями ПриГЗ-АУ.

Для подключения микропроцессорных модулей ПриГЗ-АУ используется комбинированная схема каскадного соединения посредством интерфейса SPI. При таком подключении модули ПриГЗ-АУ группируются по принадлежности к одному исполнительному комплексу («пальцу») ЭО АМЗ. Внутри одной группы несколько модулей ПриГЗ-АУ соединяются посредством объединения интерфейсов SPI2 в цепочку, при этом первый модуль ПриГЗ-АУ в каскаде назначается ведущим. Непосредственное подключение к интерфейсу обмена данными с модулем ПрКЗЗУ-КРД осуществляется за счёт каскадного подключения ведущих устройств посредством интерфейсов SPI1 модулей ПриГЗ-АУ.

Технические характеристики микропроцессорного модуля ПрКЗЗУ-КРД:

а) Наименование процессора – 5th generation Intel Core i7-5557U

б) Разрядность процессора – 64 бит;

в) Частота процессора – до 3.4ГГц;

г) Объём ПЗУ – 128Гб;

д) Объём ОЗУ – 8Гб;

е) Энергопотребление – 28Вт;

ж) Количество USB портов – 6 шт;

и) Сетевые интерфейсы – Wi-Fi, Ethernet.

9) Выполнена разработка модулей силовой электроники и системы датчиков обратной связи. Разработан Раздел 9 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка модулей системы датчиков обратной связи (СДОС) и модулей силовой электроники (МСЭ) ЭО АМЗ», содержащий:

а) Схему сканирования данных тактильного сенсора;

б) Схему токового сенсора;

в) Инверторную схему управления бесколлекторным электродвигателем;

г) Описание функционала системы сенсоров обратной связи;

д) Описание функционала платы силовой электроники.

Состав системы сенсоров обратной связи:

а) Датчик углового положения выходного вала двигателя – 4 шт;

б) Датчик углового положения исполнительного звена манипулятора – 1 шт;

в) Датчик тока платы силовой электроники – 2шт;

г) Тактильный сенсор касания – 1шт;

Технические характеристики системы сенсоров обратной связи:

а) Точность определения углового положения исполнительного органа манипулятора – 0,088 градуса;

б) Диапазон измеряемых углов от 0 до 360 градусов;

- в) Точность измерения углового положения вала двигателя – 45 градусов;
- г) Величина измеряемого тока – от 0,1 до 40,0А;
- д) Точность измерения тока– 0,0097 А;
- е) Диапазон измеряемых усилий тактильного сенсора от 0,08 до 30,0Н;
- ж) Точность измерения тактильного сенсора – 0,1Н.

Технические характеристики модуля силовой электроники:

- а) Напряжение питания от 5 до 24В;
- б) Электрический ток – до 9А;
- в) Логический уровень сигналов ШИМ – 3В;
- г) Количество подключаемых электроприводов – 2 шт.

10) Выполнена разработка эскизной конструкторской документации на ПриГЗ-АУ. Разработан Раздел 10 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка ЭКД на ПриГЗ-АУ». Разработано Приложение М в составе:

- а) Сборочный чертёж;
- б) Схема электрическая в соответствии с ГОСТ 2.701-84.

11) Выполнена разработка эскизной конструкторской документации на ПрКЗЗУ-КРД. Разработан Раздел 11 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка ЭКД на ПрКЗЗУ-КРД». Разработано Приложение Н в составе:

- а) Сборочный чертёж;
- б) Схема электрическая в соответствии с ГОСТ 2.701-84.

12) Выполнена разработка эскизной конструкторской документации на СДОС. Разработан Раздел 12 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка ЭКД на СДОС». Разработано Приложение П в составе:

- а) Сборочный чертёж;
- б) Схема электрическая в соответствии с ГОСТ 2.701-84.

13) Выполнена разработка эскизной конструкторской документации на МСЭ. Разработан Раздел 13 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка ЭКД на МСЭ». Разработано Приложение Р в составе:

- а) Сборочный чертёж;
- б) Схема электрическая в соответствии с ГОСТ 2.701-84.

14) Выполнена разработка вариантов компоновки состава ЭО АМЗ. Разработан Раздел 14 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка вариантов компоновки состава ЭО АМЗ», содержащий:

- а) Описание состава ЭО АМЗ;
- б) Описание размещения приводов в предплечье ЭО АМЗ
- б) Описание размещения микропроцессорного модуля ПрКЗЗУ-КРД вне конструкции ЭО АМЗ;

15) Выполнена разработка эскизной конструкторской документации на ЭО АМЗ. Разработан Раздел 15 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка ЭКД на ЭО АМЗ». Разработано Приложение С, содержащее:

- а) Чертежи общего вида;
- б) Габаритный чертёж;
- в) Схема функциональная;
- г) Схема структурная;

- д) Схема электрическая в соответствии с ГОСТ 2.701-84;
- е) Схема кинематическая в соответствии с ГОСТ 2.701-84;
- ж) Схема соединений и подключения в соответствии с ГОСТ 2.701-84.

16) Выполнена разработка программы и методик проведения испытаний ЭО АМЗ. Разработан Раздел 16 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка Программы и методик экспериментальных испытаний (ПМЭИ)».

Разработано Приложение Т, содержащее программу и методику экспериментальных испытаний ЭО АМЗ для проведения экспериментальных исследований на Этапе 4 ПНИ.

17) Изготовлен экспериментальный образец антропоморфного захвата. Разработан Раздел 17 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Изготовление экспериментального образца антропоморфного захвата (ЭО АМЗ) в соответствии с разработанной ЭКД и ПрД». Состав ЭО АМЗ:

- а) Исполнительный комплекс ЭО АМЗ, лицевые группы – 4 шт;
- б) Исполнительный комплекс ЭО АМЗ, оппозитная группа – 1 шт;
- г) Исполнительный комплекс ЭО АМЗ, приводы исполнительных групп звеньев – 16 шт;
- д) Исполнительный комплекс ЭО АМЗ, системы передачи движения – 16 шт;
- е) Микропроцессорный модуль ПриГЗ-АУ – 16 шт;
- ж) Микропроцессорный модуль ПрКЗУ-КРД – 1 шт;
- и) Модуль силовой электроники – 16 шт;
- к) Система сенсоров обратной связи – 16 шт.

18) Выполнена разработка эскизной конструкторской и программной документации на испытательный стенд. Разработан Раздел 18 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Разработка ЭКД и ПрД на ИС».

Разработано Приложение У и Ф в составе:

- а) Описание применения в соответствии с ГОСТ 19.502-78;
- б) Текст программы в соответствии с ГОСТ 19.401-78;
- в) Описание программы в соответствии с ГОСТ 19.402-78;
- г) Руководство системного программиста в соответствии с ГОСТ 19.503-79;
- д) Руководство оператора в соответствии с ГОСТ 19.505-79;

Разработано Приложение Ф в составе:

- а) Чертеж общего вида;
- б) Габаритный чертеж;
- в) Схема функциональная;
- г) Схема структурная;
- д) Схема электрическая в соответствии с ГОСТ 2.701-84;
- е) Схема кинематическая в соответствии с ГОСТ 2.701-84;
- ж) Схема соединений и подключения в соответствии с ГОСТ 2.701-84.
- и) Формуляр в соответствии с ГОСТ 2.610-2006.

19) Выполнено изготовление испытательного стенда согласно разработанным эскизной конструкторской и программной документации. Разработан Раздел 19 промежуточного Отчёта ПНИ по 3 Этапу «Изготовление ИС в соответствии с разработанной ЭКД и ПрД», содержащий описание процедуры изготовления испытательного стенда. Состав испытательного стенда:

- а) Контрольно-измерительная аппаратура;
- б) Набор тестовых предметов;
- в) Многозвенный штатив и система технического зрения;
- г) Рабочее место оператора;

Оценка элементов новизны научных (технологических) решений, применявшихся методик и решений

Новизна при разработке механической конструкции антропоморфного манипулятора заключается в использовании 22 двух степеней подвижности, из которых 18 имеют независимое управление с изменяемой жёсткостью суставов, что обеспечивает защиту конструкции от внешних ударных воздействий, так же обеспечивается независимое управление мизинцем и безымянным пальцами, что соответствует результатам анализа технического уровня разработок при проведении патентных исследований на Этапе 1 ПНИ.

Новизна при разработке сенсорной системы обратной связи заключается в использовании чувствительного эластомера на основе композита квантового туннелирования (QTC) при реализации распределённого тактильного сенсора с 25 (двадцатью пятью) чувствительными элементами, который позволяет определять как величину приложенного усилия к контактной площадке, так и направление внешней силы. Планирование траекторий движения и синхронизация скоростей смыкания исполнительных групп звеньев за счёт обработки данных сенсоров обратной связи обеспечивает аккуратное управление исполнительными звеньями манипулятора и возможность схватывать хрупкие предметы.

Подтверждение соответствия полученных результатов требованиям к выполняемому проекту

Все полученные результаты работ Этапа 3 ПНИ полностью соответствуют требованиям Технического задания и Календарного плана (ТЗ и КП) по Соглашению №14.577.21.0136 от 24 ноября 2014 года, в частности:

- 1) Раздел 1 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание разработки исходного кода специального программного обеспечения (СПрО) на основе алгоритмов ПрИГЗ-АУ и СДОС – полностью соответствует требованиям пп. 3.16 и 4.3.2.2.1 ТЗ и п. 3.1 КП;
- 2) Раздел 2 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание разработки исходного кода специального программного обеспечения (СПрО) на основе алгоритмов ПрКЗЗУ-КРД – полностью соответствует требованиям пп. 3.17 и 4.3.2.2.2 ТЗ и п. 3.1 КП;
- 3) Раздел 3 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание разработки исходного кода прикладного программного обеспечения (ППрО) на основе алгоритмов ПрКЗЗУ-КРД – полностью соответствует требованиям пп. 3.18 и 4.3.2.2.3 ТЗ и п. 3.3 КП;
- 4) Раздел 4 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание программной документации на специальное программное обеспечение ПрИГЗ-АУ – полностью соответствует требованиям пп. 3.19 и 6.1.3.4 ТЗ и п. 3.4 КП;
- 5) Раздел 5 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание программной документации на специальное программное обеспечение ПрКЗЗУ-КРД – полностью соответствует требованиям пп. 3.20 и 6.1.3.5 ТЗ и п. 3.5 КП;
- 6) Раздел 6 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание программной документации на прикладное программное обеспечение ПрКЗЗУ-КРД – полностью соответствует требованиям пп. 3.21 и 6.1.3.6 ТЗ и п. 3.6 КП;
- 7) Раздел 7 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание микропроцессорного модуля ПрИГЗ-АУ – полностью соответствует требованиям пп. 3.22 и 4.3.2.1.3 ТЗ и п. 3.7 КП;
- 8) Раздел 8 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание микропроцессорного модуля ПрКЗЗУ-КРД – полностью соответствует требованиям пп. 3.22 и 4.3.2.1.4 ТЗ и п. 3.8 КП;

- 9) Раздел 9 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание модулей силовой электроники и системы датчиков обратной связи – полностью соответствует требованиям пп. 3.24, 4.3.2.1.5 и 4.3.2.1.6 ТЗ и п. 3.9 КП;
- 10) Раздел 10 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание эскизной конструкторской документации на ПриГЗ-АУ – полностью соответствует требованиям пп. 3.25 и 6.1.3.1.д ТЗ и п. 3.10 КП;
- 11) Раздел 11 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание эскизной конструкторской документации на ПрКЗЗУ-КРД – полностью соответствует требованиям пп. 3.26, 6.1.3.д ТЗ и п. 3.11 КП;
- 12) Раздел 12 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание эскизной конструкторской документации на систему датчиков обратной связи – полностью соответствует требованиям пп. 3.27, 6.1.3.1.д ТЗ и п. 3.12 КП;
- 13) Раздел 13 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание эскизной конструкторской документации на модуль силовой электроники – полностью соответствует требованиям пп. 3.28, 6.1.3.1.д ТЗ и п. 3.13 КП;
- 14) Раздел 14 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание компоновки ЭО АМЗ – полностью соответствует требованиям пп. 3.29, 4.3.2.1.1 и 4.3.2.1.2 ТЗ и п. КП;
- 15) Раздел 15 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание эскизной конструкторской документации на экспериментальный образец антропоморфного захвата – полностью соответствует требованиям пп. 3.30, 4.3.2.1.1, 6.1.3.1 ТЗ и п. 3.15 КП;
- 16) Раздел 16 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание программы и методик экспериментальных испытаний ЭО АМЗ – полностью соответствует требованиям пп. 3.31 ТЗ и п. 3.16 КП;
- 17) Раздел 17 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание изготовления ЭО АМЗ – полностью соответствует требованиям пп. 3.32 ТЗ и п. 3.17 КП;
- 18) Раздел 18 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание эскизной конструкторской и программной документации на испытательный стенд – полностью соответствует требованиям пп. 3.33, 4.3.3 и 6.1.3.2 и 6.1.3.7 ТЗ и п.3.18 КП;
- 19) Раздел 19 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание подготовки испытательного стенда – полностью соответствует требованиям пп. 3.34 ТЗ и п. 3.19 КП;

Сопоставление с результатами аналогичных работ, определяющими мировой уровень

На 3 этапе работ по проекту, в соответствии с логикой научного исследования, Техническим заданием и План-графиком, перед исполнителем стояли задачи разработки механической конструкции ЭО АМЗ, специального и программного обеспечения по алгоритмам ПриГЗ-АУ и ПрКЗЗУ-КРД, разработанным на Этапе 2 ПНИ, разработки микропроцессорных модулей для управления приводами исполнительных групп звеньев, разработке модулей системы сенсоров обратной связи и модулей силовой электроники для коммутации обмоток электродвигателей.

В результате проведенных работ была разработана механическая конструкция ЭО АМЗ, состоящая из 4-х групп лицевых исполнительных звеньев (пальцев) и одной оппозитной.

Используемые бесколлекторные электродвигатели в качестве приводов исполнительных групп звеньев обеспечивают большую энергоэффективность по сравнению с коллекторными электродвигателями, используемыми в аналогичных разработках.

В тактильных сенсорах используется материал композит квантового туннелирования (QTC), чувствительный к давлению эластомер, позволяющий получать данные о внешнем воздействии с помощью 25 (двадцати пяти) электродов, образующих матрицу 5x5 элементов.

В программно-аппаратный комплекс ЭО АМЗ входит интегрированная система управления захватом и положением звеньев, что существенно отличает облик ЭО АМЗ от аналогичных

решений, представляющих собой только программный интерфейс управления положением отдельных звеньев манипулятора.

На основании оценки эффективности захвата предметов, проведенной на этапе, планируется достижение ЭО АМЗ научно-технического уровня, сопоставимого с мировыми аналогами, такими как Shadow С6М Smart Motor Hand производства компании SHADOW ROBOT COMPANY LTD, Anthropomorphic Hand SAH компании SCHUNK, Airic's arm компании Festo, DLR Hand I.