

Информация о ходе выполнения и полученных результатах по 2 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 № 2 в период с 1 января по 30 июня 2015г. выполнены следующие работы:

- 1) Выполнена разработка математических (ММ1) и программных моделей (ПМ1), описывающих кинематику и динамику ЭО АМЗ на основе линейных и нелинейных дифференциальных уравнений и разработан Раздел 1 промежуточного Отчёта ПНИ по 2 этапу «Разработка математических (ММ1) и программных моделей (ПМ1), описывающих кинематику и динамику ЭО АМЗ на основе линейных и нелинейных дифференциальных уравнений»
- 2) Выполнена разработка математических (ММ2) и программных моделей (ПМ2) системы управления приводами исполнительных групп звеньев, разработан Раздел 2 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка математических (ММ2) и программных моделей (ПМ2) системы управления приводами исполнительных групп звеньев»
- 3) Проведена проверка разработанных моделей на точность и адекватность, разработан Раздел 3 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Проверка разработанных математических моделей (ММ1 и ММ2) на точность и адекватность».
- 4) Разработана принципиальная кинематическая схема ЭО АМЗ, разработан Раздел 4 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка принципиальной схемы (ПрСХ1) построения кинематически зависимых движений исполнительных групп

звеньев», содержащего описание разработки кинематической схемы ЭО АМЗ с учётом адаптации к форме предмета. Разработано Приложение Ж промежуточного отчёта о ПНИ по 2 этапу, содержащее принципиальную кинематическую схему ЭО АМЗ.

5) Разработана программная документация на ПМ1 и ПМ2, разработан Раздел 5 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка программной документации на программные модели (ПМ1 и ПМ2)», разработаны Приложения А,Б,В,Г,Д и Е промежуточного отчёта о ПНИ по 2 этапу, содержащие:

а) Текст программы специальное программное обеспечение моделирования кинематики и динамики антропоморфного манипулятора (ПМ1) в соответствии с ГОСТ 19.401-78 (Приложение А)

б) Описание программы специальное программное обеспечение моделирования кинематики и динамики антропоморфного манипулятора (ПМ1) в соответствии с ГОСТ 19.402-78 (Приложение Б)

в) Описание применения специальное программное обеспечение моделирования кинематики и динамики антропоморфного манипулятора (ПМ1) в соответствии с ГОСТ 19.502-78 (Приложение В)

г) Текст программы специальное программное обеспечение программная модель системы управления приводами исполнительных групп звеньев (ПМ2) в соответствии с ГОСТ 19.401-78 (Приложение Г)

д) Описание программы специальное программное обеспечение программная модель системы управления приводами исполнительных групп звеньев (ПМ2) в соответствии с ГОСТ 19.402-78 (Приложение Д)

е) Описание применения специальное программное обеспечение программная модель системы управления приводами исполнительных групп звеньев (ПМ2) в соответствии с ГОСТ 19.502-78 (Приложение Е)

б) Разработаны принципы построения ЭО АМЗ с малой удельной массой, разработан Раздел 6 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка принципов построения ЭО АМЗ с малой

удельной массой и адаптивными свойствами относительно захватываемого объекта», содержащего описание разработки кинематической схемы ЭО АМЗ с учётом адаптации к форме предмета.

7) Разработаны принципы силового взаимодействия манипулятора с объектом захвата, разработан Раздел 7 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка протоколов силового взаимодействия и управления исполнительными группами звеньев с захватываемыми объектами»

8) Разработан бинарный протокол обмена данными, описан набор пакетов данных, разработан Раздел 8 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка протоколов обмена данными для приёма команд управления позиционированием приводов и передачи телеметрии»

9) Разработан алгоритм управления приводами исполнительных групп звеньев на базе адаптивности усилий (ПриГЗ-АУ), развиваемых на захватываемом объекте, разработан Раздел 9 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка алгоритмов управления приводами исполнительных групп звеньев на базе адаптивности усилий (ПриГЗ-АУ), развиваемых на захватываемом объекте»

10) Разработаны алгоритмы управления процедурой захвата ЭО АМЗ, разработан Раздел 10 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка алгоритмов управления кинематическими звеньями ЭО АМЗ с контролем распределенного давления (ПрКЗЗУ-КРД) на их рабочих поверхностях и реализующие принципы инверсной кинематики и динамики»

11) Разработаны алгоритмы предварительной обработки данных, получаемых от датчиков обратной связи, разработан Раздел 11 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка алгоритмов обработки данных системы датчиков обратной связи (СДОС)»

12) Проведено моделирование разработанных алгоритмов управления с использованием пакетов MATLAB Simulink и GraspIt!. разработан Раздел 12 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Моделирование алгоритмов управления манипулятором на основе разработанных математических моделей»

13) Проведён анализ соответствия результатов проекта, достигнутых на Этапе 2 ПНИ требованиям, разработан Раздел 13 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Соответствие результатов проекта, достигнутых на Этапе 2 ПНИ требованиям ТЗ»

14) Проведена доработка системы технического зрения (СТЗ) на базе стерео-скопического сенсора глубины для автоматического распознавания типа захватываемого предмета с целью обеспечения необходимого функционала для работы испытательного стенда, разработан Раздел 1 Научно-технического отчета по работам, выполняемым за счет ВБС, оформленного на основе положений ГОСТ 7.32-2001 – «Доработка системы технического зрения (СТЗ) на базе стереоскопического сенсора глубины для автоматического распознавания типа захватываемого предмета с целью обеспечения необходимого функционала для работы испытательного стенда»

15) Проведена разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) и Программной документации (ПрД) на МЗШ и СТЗ, разработан Раздел 2 Научно-технического отчета по работам, выполняемым за счет ВБС, оформленного на основе положений ГОСТ 7.32-2001 – «Разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) и Программной документации (ПрД) на МЗШ и СТЗ»

Основные результаты 2 этапа проекта

Краткое описание основных полученных результатов

В рамках выполнения работ по 2 этапу проекта были получены следующие результаты:

- 1) Отчет о ПНИ (промежуточный, этап №2), в количестве - 1 экз.
- 2) Научно-технический отчет по работам, выполняемым за счет ВБС, оформленный на основе положений ГОСТ 7.32-2001, в количестве - 1 экз.

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

В рамках выполнения работ по 2 этапу проекта были получены следующие результаты:

- 1) Выполнена разработка математических (ММ1) и программных моделей (ПМ1), описывающих кинематику и динамику ЭО АМЗ на основе линейных и нелинейных дифференциальных уравнений и разработан Раздел 1 промежуточного Отчёта ПНИ по 2 этапу «Разработка математических (ММ1) и программных моделей (ПМ1), описывающих кинематику и динамику ЭО АМЗ на основе линейных и нелинейных дифференциальных уравнений», содержащий описания следующих результатов:
 - а) Модель электропривода;
 - б) Модель суставов (элемент одиночного исполнительного звена);
 - в) Модель наборов суставов, образующих одиночный захват (палец, группа исполнительных звеньев);
 - г) Модель набора одиночных захватов образующих захват в целом(кисть);

- 2) Выполнена разработка математических (ММ2) и программных моделей (ПМ2) системы управления приводами исполнительных групп звеньев, разработан Раздел 2 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка математических (ММ2) и программных моделей (ПМ2) системы управления приводами исполнительных групп звеньев», содержащее описание ММ2:
 - а) Модель электропривода;
 - б) Модель системы управления приводами исполнительных групп звеньев;Описание способов построения интеллектуальных адаптивных контроллеров на основе комбинации подходов,

основанных на применении искусственных нейронных сетей, ПИД-регуляторов и предиктивных регуляторах.

Разработанная математическая модель (ММ2) системы управления может быть использована при проектировании систем управления сервоприводами для решения задач динамического управления и удержания положения выходного вала. На основе разработанной математической модели была произведена программная реализация модели в среде MATLABSimulink.

3) Проведена проверка разработанных моделей на точность и адекватность, разработан Раздел 3 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Проверка разработанных математических моделей (ММ1 и ММ2) на точность и адекватность». Экспериментально было установлено, что значения координат и развиваемых усилий, найденные с помощью настоящей модели полностью совпадают с данными, которые можно получить при использовании эталонной модели.

4) Разработана принципиальная кинематическая схема ЭО АМЗ, разработан Раздел 4 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка принципиальной схемы (ПрСХ1) построения кинематически зависимых движений исполнительных групп звеньев», содержащего описание разработки кинематической схемы ЭО АМЗ с учётом адаптации к форме предмета. Разработано Приложение Ж промежуточного отчёта о ПНИ по 2 этапу, содержащее принципиальную кинематическую схему ЭО АМЗ.

5) Разработана программная документация на ПМ1 и ПМ2, разработан Раздел 5 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка программной документации на программные модели (ПМ1 и ПМ2)», разработаны Приложения А,Б,В,Г,Д и Е промежуточного отчёта о ПНИ по 2 этапу, содержащие:

а) Текст программы специальное программное обеспечение моделирования кинематики и динамики антропоморфного манипулятора (ПМ1) в соответствии с ГОСТ 19.401-78 (Приложение А)

б) Описание программы специальное программное обеспечение моделирования кинематики и динамики антропоморфного манипулятора (ПМ1) в соответствии с ГОСТ 19.402-78 (Приложение Б)

в) Описание применения специальное программное обеспечение моделирования кинематики и динамики антропоморфного манипулятора (ПМ1) в соответствии с ГОСТ 19.502-78 (Приложение В)

г) Текст программы специальное программное обеспечение программная модель системы управления приводами исполнительных групп звеньев (ПМ2) в соответствии с ГОСТ 19.401-78 (Приложение Г)

д) Описание программы специальное программное обеспечение программная модель системы управления приводами исполнительных групп звеньев (ПМ2) в соответствии с ГОСТ 19.402-78 (Приложение Д)

е) Описание применения специальное программное обеспечение программная модель системы управления приводами исполнительных групп звеньев (ПМ2) в соответствии с ГОСТ 19.502-78 (Приложение Е)

6) Разработаны принципы построения ЭО АМЗ с малой удельной массой, разработан Раздел 6 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка принципов построения ЭО АМЗ с малой удельной массой и адаптивными свойствами относительно захватываемого объекта», содержащего описание разработки кинематической схемы ЭО АМЗ с учётом адаптации к форме предмета.

7) Разработаны принципы силового взаимодействия манипулятора с объектом захвата, разработан Раздел 7 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка протоколов силового взаимодействия и управления исполнительными группами звеньев с захватываемыми объектами», содержащий описание подхода к построению системы управления процессом захвата предметов с помощью ЭО АМЗ в основе которого лежит комбинированный подход из метода синтеза фиксированных паттернов и адаптации по форме

предмета уже на стадии непосредственного управления движением исполнительных групп звеньев.

8) Разработан бинарный протокол обмена данными, описан набор пакетов данных, разработан Раздел 8 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка протоколов обмена данными для приёма команд управления позиционированием приводов и передачи телеметрии», содержащий описание бинарного протокола обмена данными, обеспечивающего как широкополосную передачу команд нескольким потребителям для синхронного управления, так и контроль целостности пакетов.

9) Разработан алгоритм управления приводами исполнительных групп звеньев на базе адаптивности усилий (ПриГЗ-АУ), развиваемых на захватываемом объекте, разработан Раздел 9 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка алгоритмов управления приводами исполнительных групп звеньев на базе адаптивности усилий (ПриГЗ-АУ), развиваемых на захватываемом объекте», содержащее описание алгоритма.

10) Разработаны алгоритмы управления процедурой захвата ЭО АМЗ, разработан Раздел 10 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка алгоритмов управления кинематическими звеньями ЭО АМЗ с контролем распределенного давления (ПрКЗЗУ-КРД) на их рабочих поверхностях и реализующие принципы инверсной кинематики и динамики», содержащий описание способов формирования траектории движения на основе предварительно сформированных паттернов захватов, описание паттернов захвата, и алгоритм взаимной синхронизации движения исполнительных групп звеньев.

11) Разработаны алгоритмы предварительной обработки данных, получаемых от датчиков обратной связи, разработан Раздел 11 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Разработка алгоритмов обработки данных системы датчиков обратной связи (СДОС)», содержащий описание первичной обработки

информационных сигналов от датчиков обратной связи на основе фильтрации с использованием фильтра Калмана.

12) Проведено моделирование разработанных алгоритмов управления с использованием пакетов MATLABSimulink и GraspIt!. разработан Раздел 12 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Моделирование алгоритмов управления манипулятором на основе разработанных математических моделей», содержащий описание процедуры и результатов моделирования в пакете MATLAB Simulink алгоритмов управления приводами исполнительных групп звеньев, а также процедуры управления захватом предметов с использованием симулятора GraspIt!.

13) Проведён анализ соответствия результатов проекта, достигнутых на Этапе 2 ПНИ требованиям, разработан Раздел 13 промежуточного отчета о ПНИ по 2 этапу «Соответствие результатов проекта, достигнутых на Этапе 2 ПНИ требованиям ТЗ», содержащий сверку результатов с требованиями ТЗ.

14) Проведена доработка системы технического зрения (СТЗ) на базе стерео-скопического сенсора глубины для автоматического распознавания типа захватываемого предмета с целью обеспечения необходимого функционала для работы испытательного стенда, разработан Раздел 1 Научно-технического отчета по работам, выполняемым за счет ВБС, оформленного на основе положений ГОСТ 7.32-2001 – «Доработка системы технического зрения (СТЗ) на базе стереоскопического сенсора глубины для автоматического распознавания типа захватываемого предмета с целью обеспечения необходимого функционала для работы испытательного стенда»

15) Проведена разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) и Программной документации (ПрД) на МЗШ и СТЗ, разработан Раздел 2 Научно-технического отчета по работам, выполняемым за счет ВБС, оформленного на основе положений ГОСТ 7.32-2001 – «Разработка эскизной

конструкторской документации (ЭКД) и Программной документации (ПрД) на МЗШ и СТЗ»

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

Новизна при проведении исследования кинематической схемы ЭО АМЗ заключается в использовании подхода, основанного на использовании метрики качества удержания предмета в захвате, для чего был разработан способ подготовки описания математической модели манипулятора, включающей в свой состав элементы твердотельной модели, содержащей описание физических параметров.

Подтверждение соответствия полученных результатов требованиям к выполняемому проекту

Все полученные результаты работ Этапа 2 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 описания математических и программных моделей, описывающих кинематику и динамику ЭО АМЗ на основе линейных и нелинейных дифференциальных уравнений – полностью соответствует требованиям пп. 2.1, 3.4, 4.3.1.1, 4.3.1.2, 4.3.1.5, 6.1.2 и 6.1.3.10 ТЗ и п. 2.1 КП;
- 2) Раздел 2 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание математических и программных моделей системы управления приводами исполнительных групп звеньев – полностью соответствует требованиям пп. 2.1, 3.5, 4.3.1.3, 4.3.1.4, 4.3.1.5, 6.1.2 и 6.1.3.11 ТЗ и п. 2.2 КП;
- 3) Раздел 3 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий проверку математических моделей на точность и адекватность – полностью соответствует требованиям пп. 2.1, 2.4, 4.3.1.5 и 6.1.2 ТЗ и п. 2.3 КП;
- 4) Раздел 4 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описания принципиальной кинематической схемы манипулятора

– полностью соответствует требованиям пп. 2.3, 2.4, 3.7, 3.9 и 6.1.3.12 ТЗ и пп. 2.4 и 2.6 КП;

5) Раздел 5 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание программной документации на программные модели – полностью соответствует требованиям пп., 3.8, 6.1.2, 6.1.3.10, 6.1.3.11 ТЗ и п. 2.5 КП;

6) Раздел 6 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание принципов построения ЭО АМЗ с малой удельной массой и адаптивными свойствами относительно захватываемого объекта – полностью соответствует требованиям пп. 2.3, 2.4, 3.7, 3.9 и 6.1.3.12 ТЗ и пп. 2.4 и 2.6 КП;

7) Раздел 7 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание протоколов силового взаимодействия и управления исполнительными звеньями – полностью соответствует требованиям пп. 2.1 и 3.10 ТЗ и п. 2.7 КП;

8) Раздел 8 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание протоколов обмена данными – полностью соответствует требованиям пп. 2.1 и 3.11 ТЗ и п. 2.8 КП;

9) Раздел 9 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание алгоритма управления приводами исполнительных групп звеньев на базе адаптивности усилий, развиваемых на захватываемом объекте – полностью соответствует требованиям пп. 2.1, 3.5, 4.3.1.3, 4.3.1.4, 4.3.1.5, 6.1.2 и 6.1.3.11 ТЗ и п. 2.9 КП;

10) Раздел 10 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание алгоритма управления кинематическими звеньями ЭО АМЗ с контролем развиваемого усилия на объекте захвата – полностью соответствует требованиям пп. 2.8 и 3.13 ТЗ и п. 2.10 КП;

11) Раздел 11 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание алгоритма обработки данных системы датчиков обратной связи – полностью соответствует требованиям пп. 2.1 и 3.14 ТЗ и п. 2.11 КП;

12) Раздел 12 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описание процедуры и результатов моделирования алгоритмов управления манипулятором – полностью соответствует требованиям пп. 2.1, 3.15 и 4.3.1.5 ТЗ и п. 2.12 КП;

11) Приложения А,Б,В,Г,Д и Е в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащие программную документацию на

математические и программные модели - полностью соответствует требованиям пп. 3.8, 6.1.3.8, 6.1.3.9 ТЗ и п. 2.5 КП.

12) Приложение Ж в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащие принципиальную кинематическую схему - полностью соответствует требованиям пп. 3.7 и 6.1.3.12 ТЗ и п. 2.5 КП.

13) За ВБС доработана система технического зрения (СТЗ) с целью обеспечения необходимого функционала для работы испытательного стенда, разработана эскизная конструкторская документация (ЭКД) и Программная документация (ПрД) на МЗШ и СТЗ. Разработан научно-технический отчет по работам, выполняемым за счет ВБС, оформленный на основе положений ГОСТ 7.32-2001. Результаты работ полностью соответствует требованиям Технического задания на выполнение работ за счет ВБС и пп. 2.13 и 2.14 КП

Все планируемые к получению на последующих этапах ПНИ ключевые характеристики результатов работ полностью соответствуют требованиям Технического задания и Календарного плана по Соглашению №14.577.21.0136 от 24 ноября 2014 года, в частности:

В прогнозируемом облике ЭО АМЗ будут достигнуты следующие основные характеристики, полностью соответствующие ТЗ:

- 1) снижение собственной массы захвата до 2,5 кг (соответствует п. 4.2.1.б ТЗ);
- 2) усилия на исполнительных звеньях, достаточные для удержания объектов массой до 6 кг (соответствует п. 4.2.1.в ТЗ);
- 3) защита исполнительных механизмов от ударных воздействий на звенья захватного устройства (соответствует п. 4.2.1.г ТЗ);
- 4) обеспечение возможности захвата объектов произвольной формы с размерами, не превышающими заданные п. 4.3.2.1.1.2 ТЗ (соответствует п. 4.2.1.б ТЗ);
- 5) расхождение заданной величины усилия и реализуемой не более 8% (соответствует п. 4.2.2.а ТЗ);
- 6) время заданного усилия при отсутствии движения звена до 1 мин (соответствует п. 4.2.2.б ТЗ);
- 7) возможность реверсивного движения звена при превышении внешней нагрузки более чем на 10% от программно задаваемой (соответствует п. 4.2.2.в ТЗ);

- 8) возможность управления жёсткостью суставов в диапазоне от 0,1 до 1,0 Н*м/рад (соответствует п. 4.2.2.г ТЗ);
- 9) контроль распределенной нагрузки непрерывно, с частотой обновления не менее 1 Гц (соответствует п. 4.2.3 ТЗ);
- 10) диапазон измеряемой величины распределенной нагрузки от 0,08 до 0,30 Н/мм² (соответствует п. 4.2.4 ТЗ);
- 11) точность измерений величины распределенной нагрузки не менее 10% (соответствует п. 4.2.5 ТЗ);
- 12) плотность замеряемых значений не менее 25 точек на 1 см² (соответствует п. 4.2.6 ТЗ);
- 13) точность измерения угловых положений суставов захватного устройства не менее 0,1 градуса (соответствует п. 4.2.7 ТЗ);

Также количество планируемых к подаче в 2015 и 2016 годах заявок наРИД, на которые могут быть оформлены охранные документы Российской Федерации, полностью соответствует минимальным требованиям по достижению значений показателей результативности предоставления субсидии (Приложение 3 к Соглашению №14.577.21.0136 от 24 ноября 2014 года):

1) 2015г.

- Планируется: 4 (четыре) патентных заявки
- Требуется: не менее 1 патентной заявки

2) 2016г.

- Планируется: 2 (два) патентных заявки
- Требуется: не менее 1 патентной заявки

Сопоставление с результатами аналогичных работ, определяющими мировой уровень

На 2 этапе работ по проекту, в соответствии с логикой научного исследования, Техническим заданием и План-графиком, перед исполнителем стояли задачи разработки математических моделей, описывающих кинематику и динамику антропоморфного манипулятора, исследованию и разработке кинематической схемы, адекватной поставленной задаче захвата предметов, разработки алгоритмов обработки системы датчиков обратной связи, разработки алгоритмов управления манипулятора для захвата предметов из заранее предопределённого набора.

В результате проведённого анализа эффективности захвата предметов планируется достижение научно-технического уровня разработок, сопоставимого с мировыми аналогами, такими как Shadow C6M SmartMotorHand производства компании SHADOW ROBOTCOMPANYLTD, AnthropomorphicHandSAH компании SCHUNK, Airic'sarm компании Festo, DLRHandI.