

## **Информация о ходе выполнения и полученных результатах по 1 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 № 1 в период с 24 ноября по 31 декабря 2014г. выполнялись следующие работы:

- 1) Выполнен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ, разработан раздел 1 промежуточного отчета о ПНИ по 1 этапу «Аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ»
- 2) Проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96», разработан раздел 2 промежуточного отчета о ПНИ по 1 этапу «Проведение патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96» и приложение к промежуточному отчету о ПНИ по 1 этапу «ПРИЛОЖЕНИЕ А. Отчет о проведении патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96»
- 3) Исследованы возможные варианты решения задач ПНИ и проведены выбор и обоснование оптимального направления проведения исследования, по результатам которых был сформирован прогнозируемый облик ЭО АМЗ. Разработан раздел 3 промежуточного отчета о ПНИ по 1 этапу «Выбор и обоснование направлений исследований»
- 4) Выполнена доработка управляемого многозвенного штатива (МЗШ) с целью обеспечения необходимого функционала для работы испытательного стенда. Разработан промежуточный отчет о ПНИ по 1 этапу «Научно-технический отчет по работам, выполняемым за счет ВБС, оформленный на основе положений ГОСТ 7.32-2001»

### **Основные результаты 1 этапа проекта**

#### **Краткое описание основных полученных результатов**

В рамках выполнения работ по 1 этапу проекта были получены следующие результаты:

- 1) Отчет о ПНИ (промежуточный, этап №1), в количестве - 1 экз.
  - а) ПРИЛОЖЕНИЕ А - Отчет о проведении патентных исследованиях в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96
- 2) Научно-технический отчет по работам, выполняемым за счет ВБС, оформленный на основе положений ГОСТ 7.32-2001, в количестве - 1 экз.
  - а) ПРИЛОЖЕНИЕ А - Техническое задание на выполнение работ за счет ВБС
  - б) ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Документы, подтверждающие проведение оценки стоимости и право собственности Индустриального партнера на объекты интеллектуальной собственности

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

В рамках выполнения работ по 1 этапу проекта были получены следующие результаты:

- 1) Выполнен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ, разработан раздел 1 промежуточного отчета о ПНИ по 1 этапу «Аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ», содержащий описания следующих результатов:
  - а) принципов биомеханики кисти руки человека, как основы для разработки механической части антропоморфных захватов;
  - б) механических принципов функционирования антропоморфных захватов с использованием бионического подхода;
  - в) основных применяемых конструктивно-компоновочные решений антропоморфных захватов;
  - г) информационно-измерительных систем антропоморфных захватов
  - д) систем управления антропоморфными захватами;

2) Проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96», разработан раздел 2 промежуточного отчета о ПНИ по 1 этапу «Проведение патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96» и приложение к промежуточному отчету о ПНИ по 1 этапу «ПРИЛОЖЕНИЕ А. Отчет о проведении патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96», содержащий описания следующих результатов:

- а) постановки задач патентных исследований;
- б) проведения патентного поиска;
- в) проведения анализа результатов патентного поиска;
- г) проведения обобщения результатов патентного поиска;

3) Исследованы возможные варианты решения задач ПНИ и проведены выбор и обоснование оптимального направления проведения исследования, по результатам которых был сформирован прогнозируемый облик ЭО АМЗ. Разработан раздел 3 промежуточного отчета о ПНИ по 1 этапу «Выбор и обоснование направлений исследований», содержащий описания следующих результатов:

- а) методов решения поставленных задач ПНИ;
- б) средств решения поставленных задач ПНИ;
- в) направлений исследований и способов решения поставленных задач ПНИ;

4) Выполнена доработка управляемого многозвенного штатива (МЗШ) с целью обеспечения необходимого функционала для работы испытательного стенда. Разработан промежуточный отчет о ПНИ по 1 этапу «Научно-технический отчет по работам, выполняемым за счет ВБС, оформленный на основе положений ГОСТ 7.32-2001», содержащий описания следующих результатов:

- а) технического задания на выполнение работ за счет ВБС (ПРИЛОЖЕНИЕ А);
- б) документов, подтверждающих проведение оценки стоимости и право собственности Индустриального партнера на объекты интеллектуальной собственности (ПРИЛОЖЕНИЕ Б);
- в) постановки задач выполнения работ 1 этапа за счет ВБС
- г) доработки механической конструкции МЗШ
- д) доработки электронных модулей управления МЗШ
- е) доработки программного обеспечения управления МЗШ

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

На данный момент, пока не разработано физического результата работ, но предварительно по результатам проведения патентных исследований и анализа источников можно спрогнозировать облик разрабатываемого ЭО АМЗ и возможные новые решения, которые можно использовать.

Новизна работы определяется тем, что ЭО АМЗ будет содержать следующие новые решения:

1) В качестве заимствованных решений (где предметом выбора служит само конкретное решение из группы подобных, используемых в мировой практике), а также частично заимствованных (где заимствован принцип решения, но индивидуальны параметры настройки и компоновка, что должно увеличить эффективность в решении отдельных задач ПНИ относительно аналогов), выбраны следующие:

а) В качестве принципа построения и передачи движения исполнительным звеньям выбран вариант с размещением приводов вне конструкции кисти захвата.

б) В качестве приводов исполнительных групп звеньев выбраны сервоприводы на основе бесколлекторных электродвигателей.

в) В качестве средств передачи движения исполнительным группам звеньев выбраны гибкие тяги на основе плетёных полиэтиленовых нитей.

г) В качестве основы для построения алгоритмов управления приводами исполнительных групп звеньев выбрано комбинированное решение с использованием линейного ПИД-регулятора и аппарата искусственных нейронных сетей. В качестве архитектур нейронных сетей для дальнейших исследований систем управления выбраны многослойные нейронные сети с обратными связями и нейронные сети радиально-базисных функций.

д) В качестве элементной базы для встраиваемых вычислительных модулей выбраны процессоры с архитектурой ARM.

е) В качестве средства реализации программного обеспечения для ARM выбран пакет Eclipse IDE с расширением GNU ARM (C/C++).

ж) В качестве средства реализации программных моделей выбран пакет MATLAB с инструментариями SystemIdentificationToolbox, NeuralNetworksToolbox и Simscape.

з) В качестве реализации сенсорной системы обратной связи выбраны:

1 цифровые магнитные угловые датчики Холла;

2 тактильные сенсоры с использованием резистивных технологий.

2) В качестве основы для построения алгоритмов управления захватом выбраны три базовых научно-технических решения:

а) Способ синтеза фиксированного набора паттернов для захвата ограниченного класса предметов известной формы с контролем усилия сжатия;

б) Способ адаптивного синтеза команд управления захватом с использованием тактильной сенсорной информации;

в) Способ выполнения движений в режиме копирования, посредством захвата движений оператора.

3) В качестве решений, обладающих новизной, и не имеющие аналогов, выбраны:

а) Устройство захвата, усовершенствованное за счет увеличения количества управляемых степеней свободы до 22 и миниатюризации конструкции при сохранении высокого развиваемого усилия (до 30-40 Н на сустав).

б) Устройство захвата, усовершенствованное за счет использования дополнительного свободного места в конструкции исполнительных звеньев, полученного за счёт переноса приводов вне конструкции кисти, для размещения дополнительных элементов системы тактильных сенсоров касания.

в) Способ передачи движения исполнительным поворотным звеньям за счёт одновременного использования антагонистической схемы на базе искусственных сухожилий, эластичного элемента и датчика деформации эластичного элемента для обеспечения контроля момента, управления жесткостью и защиты сустава от ударных нагрузок.

г) Способ определения ориентации предмета относительно плоскости ладони и формирование команд управления приводами запястных суставов для предварительного размещения исполнительных узлов манипулятора вокруг захватываемого предмета, таким образом, что при одновременном движении пальцев к центру ладони захватываемый предмет оказывается в центре фигуры, образованной дистальными фалангами пальцев.

д) Способ синхронизации систем управления отдельными приводами исполнительных групп звеньев, с использованием формирования сигналов на основе взаимного сопоставления данных от системы распределённых тактильных сенсоров обратной связи.

е) Способ управления захватом отличается тем, что для каждого пальца производится индивидуальный расчёт порогового значения усилия сжатия в зависимости от стабильности удержания. Дополнительный технический эффект заключается в способности автоматического учёта параметров жесткости и шероховатости материала.

4) На основе анализа технического уровня разработок по областям поиска патентных исследований сформулированы технические решения, которые могут стать новыми объектами техники на следующих этапах работ. Ожидаются к получению в 2015 и 2016 годах следующие РИД, на которые могут быть оформлены охранные документы Российской Федерации:

а) Патент РФ на полезную модель «Устройство антропоморфного захвата» (получение предположительно в 2015-м году);

Примерное описание полезной модели: Способ улучшения надёжности захвата за счёт использования в конструкции манипулятора большого числа приводов поворотных звеньев с искусственными сухожилиями, соединённых по антагонистической схеме с возможностью измерения усилия натяжения сухожилия. Добавление эластичного элемента в конструкцию искусственных сухожилий позволит управлять жесткостью суставов, а также является механизмом защиты конструкции от ударных внешних нагрузок. Размещение приводов вне конструкции кисти позволит значительно снизить

массу захвата, повысив тем самым динамические характеристики исполнительных звеньев. Новизна устройства заключается в увеличении количества управляемых степеней свободы до 22 за счёт миниатюризации конструкции при сохранении высокого развиваемого усилия (до 30-40 Н на сустав). Устройство отличается тем, что обеспечивается независимое управление мизинцем и безымянным пальцами. Особенностью такого решения является возможность использования дополнительного свободного места в конструкции исполнительных звеньев, полученного за счёт переноса приводов вне конструкции кисти, для размещения системы тактильных сенсоров касания, что позволяет более детально идентифицировать форму объекта. Ожидается увеличение технико-экономических показателей, в том числе, значительное снижение стоимости конструкции за счёт использования отечественной элементной базы в системах управления.

б) Патент РФ на изобретение «Способ управления антропоморфным захватом для удержания предметов сложной формы» (получение, предположительно в 2016-м году);  
Примерное описание изобретения: Способ обеспечивает управление захватом предметов сложной формы с контролем надёжности захвата. Особенностью способа является комбинация нескольких подходов к управлению захватом внутри одного модуля управления: формирование фиксированного паттерна захвата, адаптивный синтез управляющих воздействий и телеуправление в режиме копирования движений оператора. Новизна заключается в определении ориентации предмета относительно плоскости ладони и формировании команд управления приводами запястных суставов для предварительного размещения 5 исполнительных узлов манипулятора вокруг захватываемого предмета, таким образом, что при одновременном движении пальцев к центру ладони захватываемый предмет оказывается в центре фигуры, образованной дистальными фалангами пальцев. В системе управления используется аппарат искусственных нейронных сетей, входной сигнал которой специальным образом сформирован на основе предварительной интеллектуальной обработки данных системы сенсоров обратной связи, нейронная

сеть осуществляет формирования и оценку гипотез при планировании траектории движения кинематических узлов манипулятора. Способ отличается тем, что для определения ориентации ладони используются многоточечные тактильные сенсоры.

в) Патент РФ на изобретение «Способ синхронизации движения многопальцевых захватов» (получение предположительно в 2016-м году);

Примерное описание изобретения: Новизна заключается в том, что для синхронизации систем управления отдельными приводами исполнительных групп звеньев используется формирование сигналов на основе взаимного сопоставления данных от системы распределённых тактильных сенсоров обратной связи, осуществляется контролем развиваемого усилия по заранее рассчитанному пороговому значению. Способ управления захватом отличается тем, что для каждого пальца производится индивидуальный расчёт порогового значения усилия сжатия в зависимости от стабильности удержания. Дополнительный технический эффект заключается в способности автоматического учёта параметров жесткости и шероховатости материала. Способ отличается тем, что для каждого пальца производится индивидуальный расчёт порогового значения усилия сжатия в зависимости от стабильности удержания, параметров жесткости и шероховатости материала. Способ отличается тем, что расчёт требуемых усилий производится посредством процедуры обучения нейросетевого контроллера на образцах предметов.

г) Программа ЭВМ РФ «Программная модель кинематики и динамики антропоморфного захвата» (получение предположительно в 2015-м году); Примерное описание программы ЭВМ: Программная модель описывает кинематику и динамику антропоморфного захвата на основе линейных и нелинейных дифференциальных уравнений. Новизна заключается в возможности расчёта технических параметров манипулятора для выполнения захватов предметов сложной формы с обеспечением заданного усилия удержания.

д) Программа для ЭВМ РФ «Программа управления приводами исполнительных групп звеньев на базе адаптивности усилий, развиваемых антропоморфным захватом на захватываемом объекте» (получение в 2015-м году);

Примерное описание программы ЭВМ: Программа предназначена для расчёта профиля движения и управления траекторией движения для достижения заданного положения вала двигателя с учётом показаний двух подсистем датчиков обратной связи: датчика углового положения и тактильного сенсора касания. Программа предназначена для работы в составе встраиваемого модуля управления приводами исполнительных групп звеньев.

е) Программа для ЭВМ РФ «Программа управления кинематическими звеньями антропоморфного захвата с контролем распределенного давления на их рабочих поверхностях и реализующие принципы инверсной кинематики и динамики» (получение предположительно в 2015-м году);

Примерное описание программы ЭВМ: Обеспечивает формирование команд управления приводами исполнительных групп звеньев, синхронизации траекторий движения отдельных элементов как для обеспечения одновременного вступления в контакт с объектом захвата, так и для избегания взаимного пересечения траекторий движения пальцев манипулятора, а также в возможности количественной оценки качества захвата посредством обработки данных системы сенсоров обратной связи и управления жесткостью суставов для защиты от ударных воздействий. Особенностью программы является комбинация нескольких подходов к управлению захватом: формирование фиксированного паттерна захвата, адаптивный синтез управляющих воздействий и телеуправление в режиме копирования движений оператора. В основе программы будут использованы методы и алгоритмы искусственных нейронных сетей, входной сигнал которой специальным образом сформирован на основе предварительной интеллектуальной обработки данных системы сенсоров обратной связи, нейронная сеть осуществляет формирования и оценку гипотез при планировании траектории движения кинематических узлов манипулятора.

## **Подтверждение соответствия полученных результатов требованиям к выполняемому проекту**

Все полученные результаты работ Этапа 1 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:

а) Раздел 1 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ - полностью соответствует требованиям пп. 2.1, 3.1, 6.1.2 ТЗ и п. 1.1 КП

б) Отчет о проведении патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96, содержащий описания проведенных патентных исследований в полном объеме, достаточном для исследования технического уровня - полностью соответствует требованиям пп. 2.2, 3.2, 5.1, 6.1.1 ТЗ и п. 1.2 КП

в) Раздел 2 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий описания основных результатов проведенных патентных исследований - полностью соответствует требованиям пп. 2.1, 6.1.2 ТЗ и п. 1.2 КП

г) Раздел 3 в составе промежуточного отчета о ПНИ, содержащий возможные варианты решения задач ПНИ на основе сопоставления выявленных направлений исследований в результате анализа научно-информационных источников и тенденций в области техники, выявленных в результате патентных исследований - полностью соответствует требованиям пп. 2.1, 3.3, 6.1.2 ТЗ и п. 1.3 КП

д) За ВБС доработан управляемый многозвенный штатив (МЗШ) с целью обеспечения необходимого функционала для работы испытательного стенда. Разработан научно-технический отчет по работам, выполняемым за счет ВБС, оформленный на основе положений ГОСТ 7.32-2001. Результаты работ полностью соответствуют требованиям Технического задания на выполнение работ за счет ВБС и п. 1.4 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% отпрограммно 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/мм<sup>2</sup> (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 см<sup>2</sup> (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 1 этапе работ по проекту, в соответствии с логикой научного исследования, Техническим заданием и План-графиком, перед исполнителем стояли задачи анализа литературы, выбора и обоснования направлений исследований, проведения патентных исследований, физического результата работ не разработано. Сопоставление с результатами аналогичных работ, определяющими мировой уровень можно произвести только после разработки ЭО АМЗ на 3 этапе данного проекта.

Однако, предварительно по результатам проведения патентных исследований и анализа источников планируется достижение научно-технического уровня разработок, сопоставимого (а по отдельным моментам и превосходящего) по наиболее значимым параметрам с мировыми аналогами, такими как Shadow C6M SmartMotorHand производства компании SHADOW ROBOTCOMPANYLTD, AnthropomorphicHandSAH компании SCHUNK, Airic'sarm компании Festo, DLRHandII.