

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

УДК 681.513.6; 681.513.7

№ госрегистрации АААА-А17-117051550006-3

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и научной
работе



Ю.М. Боровин

М.П.

« 28 » декабря

2018 г.

ОТЧЕТ

ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Исследование и разработка научно-технических решений в области проведения сортировочных операций в режиме реального времени, с объектами, имеющими сложные характеристики, с использованием высокоэффективных робототехнических средств автоматизации

по теме:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОБЩЕНИЕ И ОЦЕНКА
РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ
(заключительный)

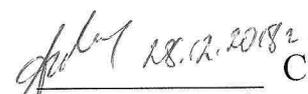
Этап 3

ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»

Соглашение о предоставлении субсидии от 28.07.2016 г. №14.586.21.0029

Научный руководитель работ

д. ф-м. н, профессор


18.12.2018 г.

Скворцов А.А.

(подпись, дата)

Москва 2018

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель работы,
начальник УНИР, д. ф-м. н.,
профессор

 28.12.2018г.

подпись, дата

Скворцов А.А.
(реферат, введение,
заключение, разделы
2, 4, 7)

Исполнители:

Заведующий кафедрой, к.т.н

 28.12.2018г.

подпись, дата

Лепешкин А.В.
(Раздел 1)

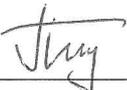
Старший преподаватель

 28.12.2018г.

подпись, дата

Корячко М.В. (Раздел
3, Приложения А.1-
А.8)

Научный сотрудник

 28.12.2018г.

подпись, дата

Посельский И.А.
(Разделы 1, 2)

Научный сотрудник

 28.12.2018г.

подпись, дата

Кречетов И.В.
(Разделы 1, 2, 5, 6)

Младший научный сотрудник

 28.12.2018г.

подпись, дата

Пшонкин Д.Е.
(Раздел 5)

Младший научный сотрудник

 28.12.2018г.

подпись, дата

Чебенева И.Е.
(Раздел 10)

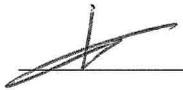
Инженер

 28.12.18г.

подпись, дата

Кречетов А.В.
(Разделы 1,2)

Нормоконтролер

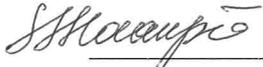
 28.12.18г.

подпись, дата

Боронников Д.А.
(Раздел 3,
Приложения А.1-
А.20)

Иностранный партнёр:

Профина Ою
Член совета директоров

 2018-12-28

подпись, дата

Хаанпяя С.Ю.
(Разделы 8, 9)

РЕФЕРАТ

Отчет 215 с., 12 рис., 23 табл., 0 источников, 1 прил.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА,
РОБОТИЗИРОВАННАЯ СОРТИРОВКА ПРЕДМЕТОВ, СОГЛАСОВАННОЕ
УПРАВЛЕНИЕ, РОБОТ-МАНИПУЛЯТОР В СОСТАВЕ КОНВЕЙЕРА,
МЕХАНИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА МУСОРА, РАСПОЗНАВАНИЕ МАТЕРИАЛА
ПРЕДМЕТОВ

Тема исследований: Исследование научно-технических решений и разработка экспериментальной сортировочной системы ТБО, способного заменить человека при удаленном выполнении различных задач.

Объектами исследования являются:

- 1) Устройство разделения твердых бытовых отходов (ТБО) на фракции, способ управления данным устройством;
- 2) Устройства и методы распознавания типа материала и формы объекта;
- 3) Алгоритм планирования движений манипулятора, метод управления захватной головкой.

Цель работы. Разработка новых конструкторских и программно-технических решений в области создания универсального экспериментального образца роботизированного сортировочного узла (ЭО РСУ), с целью формирования научно-технического задела для дальнейшего применения в задачах проведения сортировочных операций с объектами, имеющими несколько (более одной) характеристик (свойств объектов, значимых для их классификации и/или проведения сортировочной операции).

Целью Этапа 3 исследований является разработка эскизной конструкторской документации на экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, изготовление ЭО РСУ и проведение экспериментальных исследований разработанного образца для проверки соответствия достигнутых

параметров требованиям ТЗ, а также обобщение результатов проекта и оценка достижения требований ТЗ на ПНИЭР.

Метод проведения работы. Работа Этапа 3 ПНИЭР выполняется на основе программы и методики экспериментальных исследований, разработанных на Этапе 2 ПНИЭР, анализа результатов экспериментальных исследований.

Результаты работы и их новизна. Выполнен Этап 3 исследований, проект выполняется совместно с Иностранным партнёром, представлены также результаты работ Иностранного партнёра.

По работе «3.1 Разработка и сборка экспериментального образца роботизированного сортировочного узла (ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на ЭО РСУ.» разработан ЭО РСУ в соответствии с заданными требованиями по грузоподъёмности, скорости перемещения и габаритов рабочей зоны в составе:

- 1) Сервоприводы с высоким моментом на выходном валу
- 2) Рычаги и крепёжные элементы
- 3) 3-пальцевая хватная головка
- 4) Спектрометр в ближней инфракрасной зоне
- 5) Вакуумный захват
- 6) Поворотное устройство-селектор рабочего органа манипулятора
- 7) Трёхмерный стереосенсор глубины

Для ЭО РСУ был разработан комплект эскизной конструкторской документации в составе:

- а) Чертежи общего вида;
- б) Габаритный чертеж;
- в) Схема функциональная;
- г) Схема структурная;
- д) Схема электрическая в соответствии с ГОСТ 2.701-84;

е) Схема кинематическая (ПрСХ) в соответствии с ГОСТ 2.701-84;

ж) Схема соединений и подключения в соответствии с ГОСТ 2.701-84.

По работе «3.2 Разработка испытательного стенда (ИС) для испытаний ЭО РСУ (ИС ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на испытательный стенд (ИС) для испытаний ЭО РСУ.» в соответствии с требованиями ТЗ к объектам экспериментальных исследований и согласно разработанной Программе и методике экспериментальных исследований экспериментального образца роботизированного сортировочного узла для проведения экспериментальных испытаний на, а также в соответствии с разработанным комплектом эскизной конструкторской и программной документации на испытательный стенд был изготовлен и смонтирован испытательный стенд.

По работе «3.3 Проведение экспериментальных исследований ЭО РСУ в соответствии с разработанной ПМЭИ.» было установлено соответствие полученных характеристик ЭО РСУ требованиям ТЗ.

По работе «3.4 Выполнение обобщения и оценки полученных результатов» показано, что выбранные на Этапе 1 направления исследований и их реализация на Этапа 2 и 3 успешно прошли экспериментальные проверки. Показана способность ЭО РСУ автоматически выделять предметы в видеопотоке и распознавать тип материала на основе обработки спектра отражённого сигнала в ближней инфракрасной зоне; выполнять расчёт и планирование траектории движения исполнительного органа манипулятора на основе решения обратной кинематической и динамической задач; управление движением исполнительных органов манипуляторов, обеспечивая синхронное перемещение захватной головки в соответствии со скоростью движения конвейерной ленты; обеспечивать захват и перемещение объектов массой до 3 кг при помощи вакуумной головки.

В ходе экспериментальных исследований функционала ЭО РСУ было установлено соответствие полученных характеристик и параметров, заданным в ТЗ, подтверждена полнота реализованного функционала ЭО РСУ.

По работе «3.5 Разработка технико-экономического обоснования разработки продукции» проведена оценка конкурентоспособности потенциальной продукции на

основе ЭО РСУ, разработана финансовая модель производства ячеек автоматизированной сортировки при помощи роботов-манипуляторов. В результате разработки технико-экономического обоснования разработки продукции на основе полученных в результате проекта технических решений показана конкурентоспособность разработанных решений и разработана финансовая модель производства и реализации продукции в период 2020-2025 годы. На основании предварительного анализа производственных возможностей Индустриального партнёра и ЭКД на ЭО РСУ сформированы исходные данные о себестоимости производства. Показано, что разработанные технические решения имеют хороший потенциал для коммерциализации и вывода продукции на рынки вторичной переработки сырья, сортировки продуктов питания и сервисной робототехники и могут представлять интерес не только для традиционных инвесторов, но и венчурных, т.е. высоко рискованных, с ожидаемым доходом на инвестиции до 10 раз.

По работе «3.6 Разработка рекомендаций по использованию результатов, проведенных исследований в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках.» показано, что разработанные алгоритмы и программные модули могут быть широко использованы при решении задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов. В том числе при первичной сортировке твердых бытовых отходов в домашних хозяйствах, на ранних стадиях цепочки создания ценности вторичной переработки.

По работе «3.7 Разработка технических требований и предложений по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей, и особенностей индустриального партнера - организации реального сектора экономики.» разработаны предложения по опытному производству комплексов роботизированной сортировки ТБО.

Основные (ключевые) конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики разрабатываемых технических решений,

согласно Техническому заданию и подтверждённые в результате экспериментальных исследований:

- 1) распознавание формы и материала объекта;
- 2) автоматический захват объектов в рабочей зоне манипулятора, в том числе находящегося на движущейся конвейерной ленте;
- 3) захват и перемещение объектов, форма которых может быть аппроксимирована при помощи трехмерных геометрических примитивов: параллелепипед, сфер, цилиндр;
- 4) обеспечение усилий, достаточных для выполнения манипуляций с объектами массой до 3 кг;
- 5) перемещение рабочего органа манипулятора в рабочей зоне диаметром 1000 мм
- 6) точность позиционирования рабочего органа манипулятора 0,5 мм;
- 7) скорость движения исполнительного органа манипулятора 600 мм/с;
- 8) скорость движения конвейерной ленты -300 мм/с;
- 9) масса - 40 кг (без учета массы транспортного ленточного конвейера);

Степень внедрения. Выполнен заключительный Этап 3 ПНИЭР.

Рекомендации по внедрению. Разработаны предложения и требования по дальнейшему использованию результатов проекта при коммерциализации комплексов роботизированной сортировки ТБО.

Область применения. Разработанные технические решения в области создания роботизированного сортировочного узла, по окончании проекта, должны стать основой для применения в следующих областях:

- 1) Сортировка твердых бытовых отходов по типу материала
- 2) Фасовка готовой продукции (фрукты, овощи, детали, заготовки)
- 3) Упаковка готовой продукции в короба
- 4) Позиционирование и ориентация деталей и заготовок

- 5) Визуальный контроль качества и отбраковка пищевой продукции
- 6) Калибровка овощей и фруктов
- 7) Выполнение операций с химическими реактивами и препаратами

В научно-технологическом плане реализованные программно-аппаратные решения представляют большой задел в прикладной отечественной науке и дает возможность решать сходные научно-прикладные задачи как в смежных областях применения, например для сортировки отходов других типов, так и для более отдаленных, например сортировки разных видов объектов в других отраслях (продовольственные товары в магазинах, овощи или фрукты на складах, для автоматизации некоторых производств, где важна сортировка объектов по категориям исходя из их свойств).

Экономическая эффективность или значимость работы. Результаты всего проекта в целом – конструкторские и программно-технические решения в области создания роботизированного сортировочного узла позволят разработать модельный ряд роботизированных сортировочных узлов с различными характеристиками, согласно требованиям решаемой задачи.

Это позволит уменьшить трудозатраты, связанные с использованием человеческого труда в данных сферах, приведет к экономии средств на выполнение подобных работ. Данная мера обеспечит конкурентоспособность продукции отечественных предприятий на мировом рынке. Результатом будет положительный экономический эффект, начало массового внедрения умной робототехники в сферы жизни человека, снижение рисков для человека при выполнении манипуляций в условиях агрессивной среды.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования. Исходя из результатов аналитического обзора и результатов патентных исследований можно сделать прогнозное предположение о следующих направлениях развития объекта исследований:

- 1) использование роботов-манипуляторов при выполнении различных манипуляций с объектами в составе конвейера
- 2) развитие систем оптического распознавания типов материалов и снижение их стоимости
- 3) интеграция систем управления манипуляторами с системами машинного зрения для автоматического выполнения операций в условиях недетерминированного окружения.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	17
1 Разработка и сборка экспериментального образца роботизированного сортировочного узла (ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на ЭО РСУ.....	33
1.1 Описание разработки ЭО РСУ.....	33
1.2 Разработка ЭКД на ЭО РСУ.....	47
1.3 Выводы.....	48
2 Разработка испытательного стенда (ИС) для испытаний ЭО РСУ (ИС ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на испытательный стенд (ИС) для испытаний ЭО РСУ.....	54
2.1 Описание разработки испытательного стенда	54
2.1.1 Контрольно-измерительная аппаратура	54
2.1.2 Набор тестовых предметов	54
2.1.3 Рабочее место оператора.....	55
2.2 ЭКД на испытательный стенд.....	55
2.3 Выводы.....	56
3 Проведение экспериментальных исследований ЭО РСУ в соответствии с разработанной ПМЭИ.....	58
3.1 Планирование экспериментов.....	58
3.2 Выводы.....	59
4 Выполнение обобщения и оценки полученных результатов.....	61
4.1 Обобщение результатов исследований.....	61
4.1.1 Краткие выводы по результатам Этапа 1 ПНИЭР.....	61
4.1.2 Краткие выводы по результатам Этапа 2 ПНИЭР.....	78

4.1.3 Краткие выводы по результатам Этапа 3 ПНИЭР.....	83
4.2 Сопоставление анализа научно-информационных источников и результатов теоретических и экспериментальных исследований.....	87
4.3 Оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем.....	94
4.4 Анализ выполнения требований ТЗ на проведение исследований.....	101
4.5 Оценка полноты решения задач и достижения поставленных целей исследований.....	102
4.6 Выводы.....	104
5 Разработка технико-экономического обоснования разработки продукции.....	106
5.1 Оценка конкурентоспособности разработанного ЭО РСУ.....	106
5.2 Расчёт выручки от оказания работ и услуг.....	107
5.3 Состав и структура затрат.....	108
5.4 Выводы.....	114
6 Разработка рекомендаций по использованию результатов, проведенных исследований в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках	116
6.1 Выводы.....	118
7 Разработка технических требований и предложений по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей, и особенностей индустриального партнера - организации реального сектора экономики	119
7.1 Технические требования и предложения по разработке продукции.....	119
7.2 Технические требования и предложения по производству продукции	119
7.3 Технические требования и предложения по эксплуатации продукции	125
7.4 Выводы.....	133

8	Разработка комбинированной системы машинного зрения на основе трехмерных сенсоров глубины и спектрометра в ближней инфракрасной области (КСМЗ) и эскизной конструкторской документации (ЭКД) на КСМЗ.	135
8.1	Разработка КСМЗ.....	135
8.2	Разработка ЭКД на КСМЗ.....	136
8.3	Выводы.....	136
9	Разработка проекта технического задания на проведение ОКР по теме: «Разработка автоматизированного узла сортировки полезных фракций твердых бытовых отходов».....	
9.1	Цели и задачи ОКР.....	139
9.2	Выводы.....	139
10	Проведение дополнительных патентных исследований.....	140
10.1	Постановка задачи патентных исследований.....	140
10.2	Выводы.....	147
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	149
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.1 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.1-4.13	161
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.2 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.14-4.16.....	164
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.3 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.17-4.19.....	166
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.4 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.20-4.22.....	168
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.5 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.23-4.24, 4.33-4.38... ..	170
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.6 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.25, 4.64-4.65, 4.74-4.75, 4.84-4.105.....	173
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.7 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.26, 4.106-4.118	179
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.8 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.27-4.30, 4.53-4.62, 4.68	183

ПРИЛОЖЕНИЕ А.9 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.31	187
ПРИЛОЖЕНИЕ А.10 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.32	189
ПРИЛОЖЕНИЕ А.11 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.39-4.40	192
ПРИЛОЖЕНИЕ А.12 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.41-4.44	194
ПРИЛОЖЕНИЕ А.13 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.45-4.46	197
ПРИЛОЖЕНИЕ А.14 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.47-4.52	199
ПРИЛОЖЕНИЕ А.15 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.63	201
ПРИЛОЖЕНИЕ А.16 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.67-4.73	203
ПРИЛОЖЕНИЕ А.17 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.76-4.78	206
ПРИЛОЖЕНИЕ А.18 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.79-4.83	209
ПРИЛОЖЕНИЕ А.19 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.119-4.127	211
ПРИЛОЖЕНИЕ А.20 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.128-4.141	214

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем отчете об исследованиях использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 2.105-95 – Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам

ГОСТ 2.111-68 – Единая система конструкторской документации. Нормоконтроль

ГОСТ 7.9-95 – Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования

ГОСТ 7.32-2001 – Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления

ГОСТ 15.101-98 – Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ

ГОСТ Р 15.011-96 – Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- ИКС – инфракрасная спектроскопия
- ОКР – опытно-конструкторская работа
- ОППИ – отчёт о патентных исследованиях
- ОС – оптическая спектроскопия
- ПВХ – поливинилхлорид
- ПЗС – прибор с зарядовой связью
- ПИД – программно-интегрально-дифференциальный
- ПОМ – полиоксиметилен
- ПП – полипропилен
- ПС – полистирол
- ПЭВП – полиэтилен высокой плотности
- ПЭНП – полиэтилен низкой плотности
- ПЭТ – полиэтилентерефталат
- ТБО – твердые бытовые отходы
- ТГцС – терагерцовая спектроскопия
- ТЗ – техническое задание
- УФ – ультрафиолет
- УФС – ультрафиолетовая спектроскопия
- ЧПУ – численно-программное управление

- ЭО РСУ – экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла
- HDPE – полиэтилен высокой плотности
- LDPE – полиэтилен низкой плотности
- MPC – метод управления с прогнозирующими моделями
- OMPL – открытая библиотека планирования движения
- PET – полиэтилентерефталат
- PP – полипропилен
- PRM – вероятностный метод построения маршрутной карты
- PS – полистирол
- PVC – поливинилхлорид
- RRT – быстро растущее случайное дерево

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы.

Разрабатываемые конструкторские и программно-технические технические решения в составе экспериментального образца роботизированного сортировочного узла (ЭО РСУ). предназначены для дальнейшего применения в задачах автоматизации процессов проведения сортировочных операций с объектами, имеющими несколько (более одной) характеристик (свойств объектов, значимых для их классификации и/или проведения сортировочной операции). В дальнейшем (по окончании проекта), разработанные решения должны найти свое применение, прежде всего, при проведении сортировочных операций с компонентами твердых бытовых отходов на стадии технологического цикла мусоросортировки по отбору полезных фракций. Данная задача является в классе задач сортировки по сути модельной, наиболее характерной (показательной, решение которой позволит сформировать подходы к автоматизации целого класса близких задач (сортировка объектов по группе признаков и манипуляции с ними: сортировка овощей/фруктов, отбраковка деталей, и т.д.). Таким образом, данная задача принята за модельную задачу проекта.

На рынке в настоящий момент представлены 2 основных типа комплексов по сортировке твердых бытовых отходов: автоматизированные и с использованием ручной сортировки. Разделение на автоматизированные и ручные здесь условное, т.к. в обоих случаях используется ручной труд, но в разных масштабах. Главное отличие – использование ручной сортировки на этапе отбора полезных фракций (бумага/картон, пластик, дерево, текстиль, стекло, металлы), которые могут подвергаться вторичной переработки и представляют ценность с точки зрения получения прибыли и возможности построения бизнеса в сфере сортировки твердых бытовых отходов.

Решаемую в рамках данного проекта научно-техническую проблему применения робототехнических систем автоматизации сортировки объектов можно разделить на три части: разработка системы оптического распознавания типов материалов, разработка программно-аппаратных средств роботов-манипуляторов и прикладного программного обеспечения, обеспечивающего автоматизацию операций сортировки.

В настоящее время в области роботизированной сортировки сильно продвинулась финская компания ZenRobotics. Это компания представила систему повторной переработки, которая автоматически сортирует отходы строительства и сноса зданий.

Основные принципы, лежащие в основе оптической сортировки твёрдых бытовых отходов, были разработаны в 90-х годах 20-го века. Данная технология отличается высоким качеством распознавания веществ и позволяет разделять их с минимальным количеством ошибок. Технология активно применяется и на рынке представлено достаточное количество готовых автоматических линий сортировки твёрдых бытовых отходов. Все производители подобных линий являются зарубежными, ни одна отечественная компания линий оптической сортировки не производит. Лидерами рынка являются такие компании, как CPG Group, MEYER, Green Machine, Envac, Paprec Group, TOMRA.

Представленные на рынке линии сортировки имеют идентичную конструкцию: транспортерная лента, на которую подаются распределённые в один слой отходы. Над лентой установлена оптическая система, осуществляющая распознавание веществ, из которых состоят элементы отходов. В конце транспортерной ленты установлены воздушные сопла, перемещающие распознанные элементы отходов в разные ёмкости при помощи потока сжатого воздуха.

Однако, у всех подобных систем есть общий недостаток – необходимость предварительно дробить поступающие отходы, что повышает

количество мелких, не сортируемых элементов. А также они отличаются крайне высокой ценой, доходящей до нескольких миллионов Евро.

Применение робототехнических манипуляторов позволит сортировать отходы без необходимости их дробления, так как манипулятор, в отличие от пневматической системы, имеет значительно более высокую грузоподъемность при схожей производительности.

Со второй частью научно-технической проблемы – прикладным программным обеспечением, ситуация значительно хуже. Для простых задач, таких как перемещение, сортировка предметов разработаны необходимые алгоритмы. Также разработан инструментарий для программирования и обучения робототехнических систем выполнению различных простых производственных операций. Для более сложных задач решений нет.

Таким образом, ситуация на рынке сортировочных комплексов твердых бытовых отходов (ТБО) и состояние научно-технических решений по управлению манипуляторами в сложных задачах подтверждает актуальность темы и возможность разработки собственных, конкурентоспособных робототехнических систем.

Основание и исходные данные для разработки темы. Основанием для разработки темы является Соглашение №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 года, заключенное между Московским Политехом и Министерством образования и науки Российской Федерации, Соглашение №1 от 18 июля 2016 года о научно-техническом сотрудничестве, заключенное между Московским Политехом и Profina Oy (Профина Ою), Договор №1 от 18 июля 2016 года о дальнейшем использовании результатов исследований (проекта), заключенный между Московским Политехом и ООО «РУ.Роботикс».

Исходными данными для выполнения исследований являются требования технического задания, Соглашение №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 года.

Обоснование необходимости проведения исследований.

Существующие разработки в области построения роботизированных комплексов сортировки работают в условиях частичной детерминированности среды, в которой заранее известны характеристики объектов сортировки (габариты, масса, материал, форма) и неизвестно лишь их расположение и ориентация в пространстве. Использование средств машинного зрения в совокупности с системой управления движением манипулятора позволяет определять положение и ориентацию объектов для формирования целеуказаний для перемещения захватной головки. Подобные системы используются, в основном, для сортировки небольшого класса объектов, обладающих неизменными известными параметрами, как например, сортировка и фасовка деталей и заготовок. Использование роботов-манипуляторов для сортировки широкого класса предметов с заранее недетерминированными параметрами и произвольным размещением в рабочей зоне манипулятора, частная модельная задача которых может рассматриваться как сортировка твердых бытовых отходов, требует проведения исследований в области разработки средств и методов распознавания типов материала, исследования возможности распознавания объектов, имеющих произвольные деформации поверхности, методов согласованного управления движением манипулятора и захватной головкой в составе движущейся конвейерной ленты.

Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки.

Разработанный роботизированный сортировочный узел обладает следующими конструктивными, технологическими и технико-эксплуатационными характеристиками:

- 1) выделение отдельных предметов на изображении, распознавание формы и материалов объектов (пластик, бумага, картон, металл, древесина, текстиль) при помощи интеллектуальной обработки данных от комбинированной системы технического зрения

- 2) формирование траекторий движения исполнительного органа манипулятора, захват движущихся объектов и перемещение в рабочей зоне
- 3) грузоподъёмность до 3 кг
- 4) рабочая зона представляет собой цилиндр, диаметром 1000мм и высотой 500мм
- 5) скорость движения исполнительного органа манипулятора - до 600 мм/с;
- 6) скорость движения конвейерной ленты - до 300 мм/с
- 7) масса без учета массы транспортного ленточного конвейера – 40 кг

Сведения о патентных исследованиях и выводы по результатам их проведения. В результате проведённых патентных исследований в соответствии ГОСТ Р 15.011-96 был выявлен технический уровень разработок и основные тенденции развития в областях разработки данных исследований. Показана высокая изобретательская активность зарубежных исследователей по выбранным предметам поиска патентных исследований, что свидетельствует о актуальности выполнения исследований в областях разработки данных исследований. Так же должны быть выявлены тенденции в развитии области техники по предметам разработки.

По результатам проведённого анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития устройств разделения ТБО на фракции следует отнести:

- 1) Использование манипуляторов для извлечения конкретного объекта из ряда объектов. Данная тенденция обуславливается необходимостью выполнения выборки конкретного объекта из

группы ТБО с высокой точностью. Немаловажно, что при использовании нескольких манипуляторов увеличивается скорость выполнения сортировочных операций.

- 2) Использование цифровых камер с оптической системой для получения изображения в составе системы распознавания движения объектов. Данная тенденция объясняется тем, чтобы для выполнения сортировочных операций необходимо идентифицировать положение захватываемого объекта на движущейся конвейерной ленте. Использование цифровых камер в составе системы распознавания движения позволяет в масштабе реального времени предсказывать дальнейшее положение необходимого для захвата объекта.
- 3) Использование системы распознавания типа материала и формы объекта. Данная тенденция объясняется тем, что для выполнения сортировочных операций комплексу необходимо определить сортируемый объект, а также указать, в какую область фракций направить сортируемый объект. Технология автоматической сортировки с применением оптического распознавания материала обладает более высокой производительностью.

По результатам проведённого анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития устройств и методов распознавания типа материала и формы объекта следует отнести:

- 1) Использование технологии спектроскопии в ближней инфракрасной области для распознавания типа материала и формы объекта. Действие системы инфракрасного распознавания основано на том, что каждый компонент ТБО реагирует на воздействие инфракрасного излучения индивидуально, что дает возможность распознавать эти компоненты. Сенсор считывает изменения излучения после того, как оно проходит через слой отходов. Данная тенденция обуславливается тем, что метод спектроскопии в ближней инфракрасной области для распознавания типа материала и формы объекта является наилучшим

методом с учетом технологических, экономических, экологических критериев.

- 2) Использование технологий спектроскопии в видимой области для распознавания типа материала и форм объекта. В качестве источников света видимой области находят применение лампы накаливания или лазеры. Попадая в освещенную зону обследования, материал отражает падающий свет от источника излучения. Сенсоры или камеры получают отраженный свет от материала, обнаруживают мельчайшую разницу в цвете частиц продукта, и посылают импульсы в электронную часть. Данная тенденция объясняется тем, что метод спектроскопии в видимой области позволяет распознать материал по цвету.
- 3) Совместное использование технологий, спектроскопии в ближней инфракрасной области, спектроскопии в видимой области для распознавания типа материала и формы объекта. Комплексование вышеперечисленных решений позволяет с высокой точностью и скоростью распознать широкий спектр отходов: макулатура, пластик, стекло, текстиль, древесина, черные и цветные металлы, инертные материалы.

По результатам проведенного анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития алгоритмов планирования движений манипулятора, методов управления захватной головкой следует отнести:

- 1) Планирование траектории и синхронизация движения отдельных элементов манипулятора (формирование базы знаний известных предметов, определения параметров захватываемого предмета и формы как по тактильным сенсорам обратной связи, так и по системе

машинного зрения). Данная тенденция обуславливается необходимостью выполнения задач по перемещению объектов.

- 2) Контроль усилий захвата. Данная тенденция обуславливается необходимостью выполнения задач, связанных с захватыванием и перемещением объекта с помощью устройства захвата.

Сведения о метрологическом обеспечении исследований. Все результаты измерений выражаются в узаконенных (установленных законодательством России) единицах. Точность измерений определяется требованиями Технического задания, исходя из которых определяется точность применяемых средств измерений. В том числе установлены следующие требования по точности измерений:

- 1) точность позиционирования рабочего органа манипулятора не хуже 0,5 мм;
- 2) разрешение изображения: не менее 640x480 пикселей;
- 3) минимальная дальность обнаружения: не более 300 мм;
- 4) максимальная дальность обнаружение: не менее 1500 мм;
- 5) точность измерения расстояния: от 5мм@300мм до 15мм@1500мм.

Цель работы. Разработка новых конструкторских и программно-технических решений в области создания универсального экспериментального образца роботизированного сортировочного узла (ЭОРСУ), с целью формирования научно-технического задела для дальнейшего применения в задачах проведения сортировочных операций с объектами, имеющими несколько (более одной) характеристик (свойств объектов, значимых для их классификации и/или проведения сортировочной операции).

Актуальность и новизна темы. В современном обществе различные сферы деятельности человека приводят в постоянно возрастающему количеству отходов. В основном, методами утилизации отходов является сжигание и захоронение на полигонах. Полигоны для захоронения могут приводить к проникновению опасных веществ, патогенной микрофлоры и токсинов в грунтовые воды и почву.

За счёт качественной организации процесса вторичной переработки отходов может быть уменьшен общий объем отходов, требующих захоронения. Положительным экологическим эффектом является сокращение площадей полигонов и выбросов различных вредных веществ. Экономический эффект заключается в снижении расходов на ликвидацию загрязнений окружающей среды.

На данный момент в России более распространены технологии ручной сортировки. Связано это с тем, что только начинается внедрение автоматизированных линий по аналогии с Европейскими странами. В России также существует специфика сбора мусора. В отличие от стран Европейского Союза, где преобладает отдельный сбор мусора (пластик, бумага, прочее), в России среднестатистический состав мусорной корзины может рассматриваться как смешанный мусор, и актуальными являются вопросы исследования состава таких отходов, формирование базы данных спектральных характеристик мусора с учётом влажности, привязка к виду деятельности, географии и прочее. Стоит отметить, что автоматические линии сортировки показывают высокую эффективность именно при работе с отдельным мусором. В то время как для отбора полезных фракций смешанного мусора целесообразно использование ручного труда.

Оптическая сортировка по качеству распознавания не уступает человеку, при этом значительно эффективнее:

- 1) Производительность в 20-50 раз выше человека;
- 2) Непрерывный режим работы может составлять 24/365;

3) Выход полезных фракций до 90% (у человека 25-50%);

Факторы, влияющие на эффективность автоматической сортировки:

1) Масса предметов;

Недетерминированность массы отдельных фракций обуславливает ситуации, при которых из-за недостаточного давления на выходе пневмоклапана «отстреливаемый» объект не достигает приемника, а при превышении требуемого давления возникают столкновения и рикошеты при взаимодействии потока частиц. Скорость конвейера совместно с ошибками идентификации габаритов фракций также может привести к некорректному управлению продолжительностью открытия (временем воздействия струи воздуха на объект) пневмоклапана.

2) Плотность размещения объектов на конвейерной ленте;

Плотность определяет степень взаимного перекрытия объектов. Высокая плотность приводит к ошибкам оптической системы при анализе и классификации состава потока, а также затрудняется процесс разделения по контейнерам на этапе воздействия сжатым воздухом при помощи пневмоклапанов. В автоматических линиях сортировки для сохранения высокой производительности применяются различные специальные сепараторы, выполняющие предварительное разделение объектов перед подачей на конвейер.

3) Смещение центра масс объекта относительно геометрического центра;

Воздействие струи воздуха, как правило, осуществляется на геометрический центр, что, в случае смещения центра масс, приводит к возникновению нежелательных вращательных

движений. Эти движения могут нарушить траекторию полёта и снизить дальность.

4) Ориентация объектов на конвейерной ленте;

Наряду с габаритами и массой предмета важным фактором для успешного воздействия сжатым воздухом, является ориентация предмета. Так, например, воздействие на вытянутые предметы более эффективно при ориентации перпендикулярно конвейерной ленте. Это обуславливается положением пневматических клапанов, которые размещаются в конце конвейерной ленты перпендикулярно направлению движения.

Совокупность указанных факторов приводит к снижению эффективности цикла автоматической сортировки твердых бытовых отходов.

Особенностью оптических линий сортировки является то, что изображение объектов на конвейерной ленте формируется за счёт синхронизации времени экспонирования и скорости конвейера. Система машинного зрения осуществляет вертикальную развёртку перпендикулярно конвейерной ленте, горизонтальная развёртка обеспечивается за счёт смещения самой ленты. Таким образом, оптическая система формирует статическое изображение, содержащее информацию о положении и материалах объектов в потоке. Недостатком является то, что взаимная ориентация и положение предметов, движущихся на конвейерной ленте, могут быть нарушены, как за счёт высокой скорости движения, так и при воздействии сжатого мусора на плотный поток объектов. В результате совокупного воздействия всех указанных факторов для сохранения эффективности автоматической линии сортировки необходимо либо снижение общей производительности адекватно составу и конфигурацией поступающего потока, либо использование дополнительных средств автоматизации, таких как непрерывное видеонаблюдение, выделение и

отслеживание объектов на конвейерной ленте, использование быстродействующих роботизированных манипуляторов.

Согласованное управление автоматической линией сортировки, включающей в свой состав конвейер, систему машинного зрения и роботоманипулятор является предметом исследований в данном проекте.

Новизна заключается в универсальном подходе при использовании единой системы машинного зрения как управления многозвенными манипуляторами робота, так и для определения положения формы и материала объекта.

Новизна при разработке системы машинного зрения заключается в разработке системы согласованной обработки изображений на основе комбинации пространственной информации, получаемой от системы машинного зрения на основе стереоскопического сенсора глубины, и информации о материале объекта посредством анализа данных спектрометра ближней инфракрасной зоны. При этом обеспечивается способность различать предметы по следующим материалам: бумага/картон, пластик(классификация типов), дерево, текстиль, стекло, металлы.

Основным преимуществом является возможность сопоставления материала объекта с его трехмерной моделью, получаемой при помощи глубинного сенсора. Таким образом, обеспечивается как возможность анализа формы объекта для выполнения захвата, так и сегментация по типам материалов.

При разработке системы согласованного управления роботоманипулятором для захвата предметов, движущихся вдоль транспортной ленты, будут использоваться средства операционной системы роботов для совместного моделирования алгоритмов поиска объектов, распознавания контактных плоскостей на объектах для выполнения захвата, планирования траектории движения исполнительного органа манипулятора при помощи программной реализации виртуальной среды моделирования с

использованием графической визуализации и физического взаимодействия объектов. Таким образом, на Этапе 2 исследований должны быть разработаны компоненты системы управления и её программная реализация.

Для проведения экспериментальных исследований разрабатываемой системы управления должна быть разработана её программная реализация, которая позволит провести исследования возможности согласованной работы элементов системы в реальном масштабе времени.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами.

Данные исследования носят самостоятельный характер и не связаны с другими научно-исследовательскими работами.

Целью Этапа 3 исследований является разработка и изготовление образца ЭО РСУ, разработка ЭКД на ЭО РСУ, обобщение результатов проекта и оценка достижения требований ТЗ на ПНИЭР.

Задачами Этапа 3 исследований являются:

а) Разработка и сборка экспериментального образца роботизированного сортировочного узла (ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на ЭО РСУ.

б) Разработка испытательного стенда (ИС) для испытаний ЭО РСУ (ИС ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на испытательный стенд (ИС) для испытаний ЭО РСУ.

в) Проведение экспериментальных исследований ЭО РСУ в соответствии с разработанной ПМЭИ.

г) Обобщение и оценки полученных результатов

д) Разработка технико-экономического обоснования разработки продукции.

е) Разработка рекомендаций по использованию результатов, проведенных исследований в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках.

ж) Разработка технических требований и предложений по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей, и особенностей индустриального партнера - организации реального сектора экономики.

Целью исследований Этапа 3, выполняемых иностранным партнёром, является разработка комбинированной системы машинного зрения на основе трехмерных сенсоров глубины и спектрометра в ближней инфракрасной области и эскизной конструкторской документации, проекта ТЗ на проведение ОКР по теме «Разработка автоматизированного узла сортировки полезных фракций твердых бытовых отходов».

Место в выполнении исследований в целом. Этап 3 является заключительным этапом проекта. В рамках Этапа 3 разработана эскизная конструкторская документация на ЭО РСУ, проведен анализ, обобщение и оценка достигнутых результатов проекта, показано полное соответствие технических параметров и функционала ЭО РСУ в соответствии с требованиями ТЗ.

Этап 3 (Экспериментальные исследования, обобщение и оценка результатов ПНИЭР) является заключительным этапом проекта. В рамках 3 этапа проведено обобщение и оценка результатов исследований, показано соответствие технических параметров и функционала ЭО РСУ требованиям ТЗ и КП. Подтверждена правильность направлений исследований и подходов, разработанных на 1 и 2 этапах подходов к построению конструктивно-компоновочных и программно-аппаратных решений. В целом, показана верность общего направления реализации принятых на этапе 2 конструктивно-компоновочных и программно-аппаратных решений, что подтверждается результатами проведенных испытаний на этапе 3.

На 3 этапе работ по проекту, в соответствии с логикой научного исследования, Техническим заданием и План-графиком, изготовлен экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, представляющего собой дельта-робот в составе конвейерной ленты, изготовлен испытательный стенд, проведены экспериментальные исследования с целью определения достижения требований ТЗ, разработан проект ТЗ на ОКР на последующие разработки, проведение технико-экономического обоснования разработки продукции на основе полученных в результате проекта технических решений в области разработки систем автоматической сортировки широкого класса предметов при помощи манипуляторов, работающих как стационарно, так и в составе движущейся конвейерной ленты. Использование разработанных алгоритмов и программных модулей для решения задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов. В том числе при первичной сортировке твердых бытовых отходов в домашних хозяйствах, на ранних стадиях цепочки создания ценности вторичной переработки. Показано, что разработанные технические решения имеют хороший потенциал для коммерциализации и вывода продукции на рынки вторичной переработки сырья, сортировки продуктов питания и сервисной робототехники. Выявлено, что разработанные решения конкурентоспособны по сравнению с представленными на рынке отечественными и импортными аналогами.

Достигнуты все запланированные требования ТЗ и ПГ Соглашения №14.586.21.0029 от «28» июля 2016г., в том числе подтверждено достижение технических параметров разработанных отдельных модулей ЭО РСУ в соответствии с требованиями ТЗ. Результаты 3 этапа позволяют позиционировать разработку, как решение, обладающее новизной в сравнении с аналогичными применениями с использованием роботов Sawyer (Rethink robotics), UR-5 (Universal Robotics) и ZenRobotics Recycler

(ZenRobotics), а также традиционных комплексов автоматической сортировки TITECH finder (TOMRA SORTING), GREEN EYE (GREEN MACHINE) и LDS Plastic Color Sorter (MEYER), с использованием пневматического воздействия на предметы воздухом, по ряду ключевых параметров. Наличие комбинированной захватно-анализирующей головки и системы трехмерного технического зрения позволяет извлекать информацию как о форме, так и о материале объекта. Подобный подход в условиях сортировки ТБО, когда наблюдается сильное взаимное перекрытие множества разнотипных объектов, преимущественно используется спектрометрия в ближней инфракрасной зоне для распознавание материала объекта непосредственно в момент схвата предмета, в то время как при сортировке однотипных или отдельно лежащих объектов для распознавания типов материалов возможно путём обработки данных системы трехмерного технического зрения в видимом диапазоне. При этом, в обоих случаях система трехмерного технического зрения используется для выделения объекта интереса и определения целеуказаний манипулятору для схвата и перемещения.

По результатам этапов представлены отчеты:

Промежуточный отчет о ПНИЭР (этап №1), инв. №

Промежуточный отчет о ПНИЭР (этап №2), инв. №

Заключительный отчет о ПНИЭР (этап №3), инв. № -

1 Разработка и сборка экспериментального образца роботизированного сортировочного узла (ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на ЭО РСУ.

1.1 Описание разработки ЭО РСУ

Общие требования к роботизированному сортировочному комплексу определены Техническим Задаaniem:

- а) рабочая зона манипулятора диаметром не менее 400 мм;
- б) скорость движения исполнительного органа манипулятора не менее 300 мм/с;
- в) скорость движения конвейерной ленты не менее 300 мм/с;
- г) масса не более 50 кг
- д) манипулятор должен включать не менее 3 поворотных элементов;
- е) не менее одного дополнительного поворотного элемента для вращения исполнительного органа (захватной головки);

Для работы дельта робота с конвейером требуется зона достижимости с радиусом 400 мм. Поступательная скорость движения исполнительного органа должна составлять 300 мм/сек.

Геометрические обозначения

Рассмотрим чертеж платформы (см. рисунок 1), где L - длина верхнего звена, l - длина нижнего звена

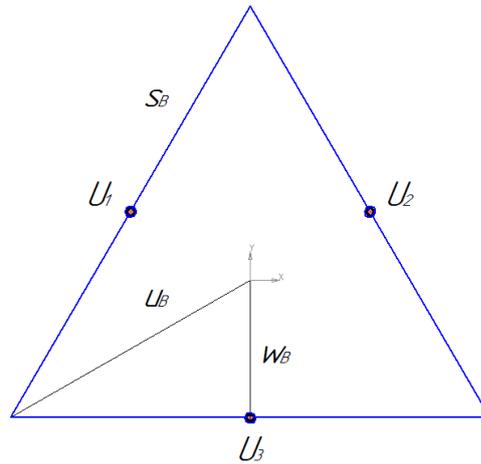


Рисунок 1 – Чертеж платформы с приводами

U_1, U_2, U_3 – места креплений верхних звеньев

S_B – сторона треугольника

ω_B – расстояние от центра платформы до одной из сторон треугольника

u_B – расстояние от центра платформы до одного из углов треугольника

Рассмотрим чертеж платформы с полезной нагрузкой:

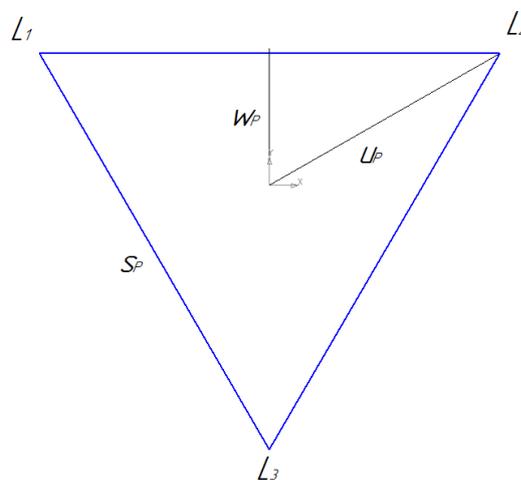


Рисунок 2 – Чертеж платформы

L_1, L_2, L_3 – места креплений нижних звеньев

S_P – сторона треугольника

ω_P – расстояние от центра платформы до одной из сторон треугольника

u_P – расстояние от центра платформы до одного из углов треугольника

Для определения длин звеньев решим прямую задачу по положению для исполнительного органа относительно углов поворота звеньев, получим:

$$\begin{cases} X_P = \cos 120^\circ (\omega_B + L \cos \theta_i + l \cos \alpha_i \cos(\theta_i + \gamma_i) - u_P) - L \sin 120^\circ \sin \alpha_i \\ Y_P = \sin 120^\circ (\omega_B + L \cos \theta_i + l \cos \alpha_i \cos(\theta_i + \gamma_i) - u_P) + l \cos 120^\circ \sin \alpha_i \\ Z_P = L \sin \theta_i + l \cos \alpha_i \sin(\theta_i + \gamma_i) \end{cases}$$

(1)

где:

i – индекс звена

θ, α, γ – углы в шарнирах

Решая эту систему численным образом, были получены следующие оптимальные значения:

$$L = 350 \text{ мм}$$

$$l = 350 \text{ мм}$$

$$\omega_B = 50 \text{ мм}$$

$$u_P = 20 \text{ мм}$$

Для оценки угловой скорости вращения привода введём коэффициенты:

$$a = \omega_B - u_P \quad (2)$$

$$b = \frac{SP}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \omega_B \quad (3)$$

$$c = \omega_P - \frac{1}{2} \omega_B \quad (4)$$

Уравнения, связывающие угловые скорости звеньев и линейные скорости рабочего органа

$$x\dot{x} + (y + a)\dot{y} + L\dot{y} \cos \theta_1 + z\dot{z} + L\dot{z} \sin \theta_1 = L(y + a)\dot{\theta}_1 \sin \theta_1 - Lz\dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \quad (5)$$

$$2(x + b)\dot{x} + 2(y + c)\dot{y} - L(\sqrt{3}\dot{x} + \dot{y}) \cos \theta_2 + 2z\dot{z} + 2L\dot{z} \sin \theta_2 = -L(\sqrt{3}(x + b) + y + c)\dot{\theta}_2 \sin \theta_2 - 2Lz\dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \quad (6)$$

$$2(x - b)\dot{x} + 2(y + c)\dot{y} - L(\sqrt{3}\dot{x} - \dot{y}) \cos \theta_3 + 2z\dot{z} + 2L\dot{z} \sin \theta_3 = L(\sqrt{3}(x - b) - y - c)\dot{\theta}_3 \sin \theta_3 - 2Lz\dot{\theta}_3 \cos \theta_3 \quad (7)$$

апишем в векторной форме:

$$(8) \left[\begin{array}{ccc|ccc} x & y + a + \cos \theta_1 & z + L \sin \theta_1 & \dot{x} & & \\ 2(x + b) - \sqrt{3}L \cos \theta_2 & 2(y + c) - L \cos \theta_2 & 2(z + L \sin \theta_2) & \dot{y} & & \\ 2(x - b) + \sqrt{3}L \cos \theta_3 & 2(y + c) - L \cos \theta_3 & 2(z + L \sin \theta_3) & \dot{z} & & \\ L((y + a) \sin \theta_1 - z \cos \theta_1) & & 0 & & 0 & \\ 0 & -L(\sqrt{3}(x + b) + y + c) \sin \theta_2 + 2z \cos \theta_2 & & & 0 & \\ 0 & & 0 & & & L(\sqrt{3}(x - b) - y - c) \sin \theta_3 + 2z \cos \theta_3 \end{array} \right] \begin{Bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{Bmatrix}$$

Таким образом, были получены уравнения, связывающие угловые скорости звеньев и поступательную скорость исполнительного органа.

Подставляя в данное уравнение различные координаты x, y, z в области возможных траекторий и составляющие линейной скорости $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$, суммарно не превышающей требуемую, были получены следующие значения:

$$\dot{\theta}_{1 \text{ MAX}} = \dot{\theta}_{2 \text{ MAX}} = \dot{\theta}_{3 \text{ MAX}} = 3 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 0,48 \frac{\text{об}}{\text{с}}$$

Для выбора привода был произведён расчёт требуемого момента. На рисунке 3 приведена упрощенная схема сил инерции и сил тяжести.

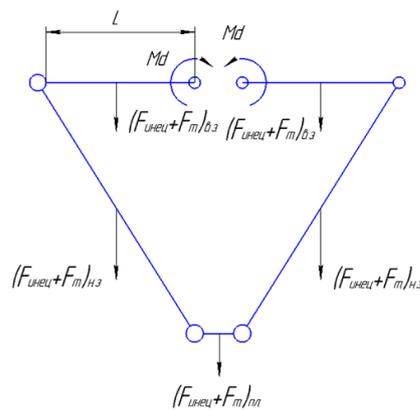


Рисунок 3 – Упрощенная схема сил инерции и сил тяжести

Исходя из схемы:

$$M_d = (F_{inertial}^{up} + F^{down}) \cdot \frac{L}{2} + \left((F_{inertial}^{down} + F^{down}) + \frac{(F_{inertial}^{ef} + F^{ef})}{3} \right) \cdot L \quad (9)$$

где M_d – момент вращения двигателя;

$F_{inertial}^{up}$ и F^{up} – силы инерции и тяжести верхнего звена;

$F_{inertial}^{down}$ и F^{down} – силы инерции и тяжести нижнего звена;

$F_{inertial}^{ef}$ и F^{ef} – силы инерции и тяжести платформы с захватом и полезной нагрузки (end-effector);

Рассчитаем момент в статике. Примем $F_{inertial}^{up} = 0, F_{inertial}^{down} = 0, F_{inertial}^{ef} = 0$

На основе массогабаритных параметров разработанной твердотельной модели манипулятора массы звеньев составляют:

$$m_{UP} = 2 \text{ кг}$$

$$m_{DOWN} = 1 \text{ кг}$$

$$m_{EF} = 5,1 \text{ кг}$$

$$M_d = (1 * 9,8) \cdot \frac{0,35}{2} + \left((2 * 9,8) + \frac{(5,1 * 9,8)}{3} \right) \cdot 0,35 = 14,406 \text{ Нм}$$

Найдём мощность привода:

$$P = M_d \dot{\theta}_{1 \text{ MAX}} = 14,406 * 0,48 = 6,9 \text{ Вт}$$

Таблица 1. Минимальные требования к двигателям шарниров

Параметр	Значение
Номинальная частота вращения, не менее, об/мин	28,8

Номинальный момент, Нм	14,406
Минимальная мощность двигателя, Вт	6,9

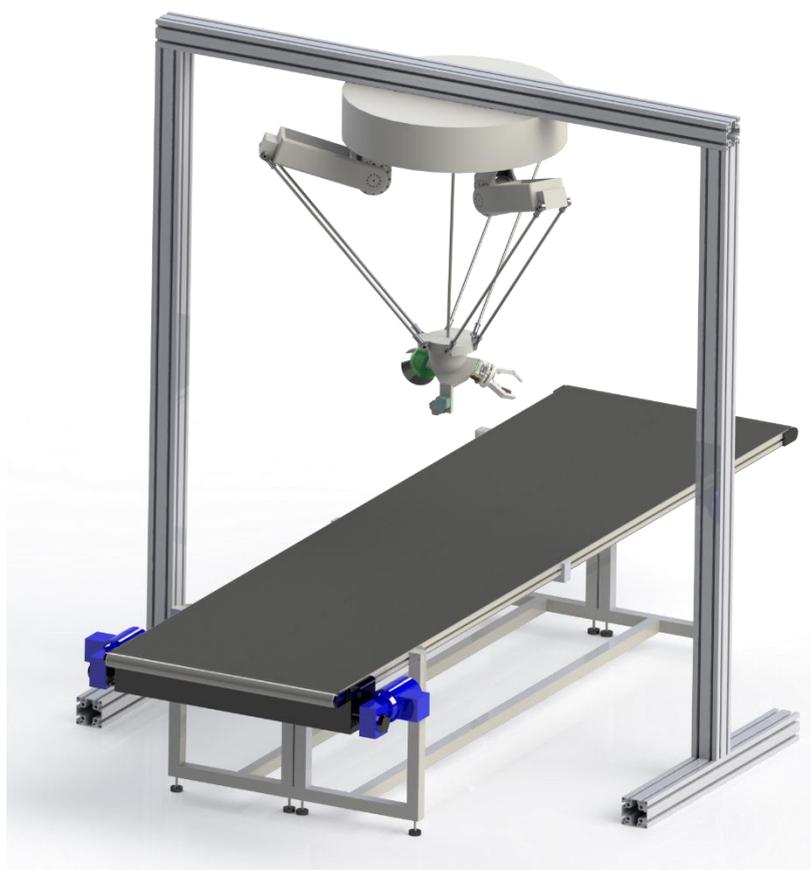


Рисунок 4 – Внешний вид дельта-робота в составе сортировочного узла

В качестве приводов шарниров дельта-робота используются сервоприводы SS-100, развивающие вращающий момент в 100Нм при максимальной частоте вращения 120 об/мин. На сервоприводы возможна установка рычагов переменной длины для регулировки рабочей зоны манипулятора. С рычагами длиной 350мм, рабочая зона представляет собой цилиндр, диаметром 1000мм и высотой 500мм.

Манипулятор имеет 4 управляемых степени свободы. Четвёртая степень свободы реализована в виде поворотного устройства, приводимого в движение при помощи карданного вала от основания робота. Применение карданного вала позволило разместить сервопривод поворотного устройства рядом с основными приводами и облегчить перемещаемое звено манипулятора.



Рисунок 5 – Захватно-анализирующая головка

Для анализа и захвата объектов, на поворотное устройство установлена хватно-анализирующая головка. Хватная головка представляет собой кронштейн с тремя установочными фланцами, к которым крепятся исполнительные устройства:

- 3-пальцевая хватная головка

Развиваемое усилие: до 50Н

Напряжение питания: 12В

Время сжатия: 1 сек

Масса: 300 грамм

- Вакуумный захват

Рабочее давление - 6 атм,

Грузоподъёмность - (создаваемое усилие от 1.3 до 5.9 кг в зависимости от глубины создаваемого вакуума и пористости объекта)

Масса – 200 грамм

- DLP NIR сканирующая головка

Диапазон: 900...1700 нм

Расстояние сканирования: 0...20 мм

Время сканирования: менее 1 сек

Масса – 120 грамм

Сенсор DLP NIR отличается очень малой массой, но при этом имеет ограниченный радиус действия, потому для его использования, необходимо приближать объектив сенсора как можно ближе к анализируемому объекту. Благодаря малой массе, манипулятор способен перемещать захватно-анализирующую головку с высокой скоростью и обрабатывать большое количество объектов за единицу времени.

После анализа, объект должен быть захвачен и перемещён. Для этого в составе захватно-анализирующей головки предусмотрены два захватных устройства: механическое трёхпальцевое и вакуумное. Вакуумный захват представляет собой конус из пористого полимерного материала с газонепроницаемой боковой поверхностью. При прижатии нижней поверхности к захватываемому объекту и откачиванию воздуха, нижняя поверхность конуса деформируется и принимает форму объекта. Вакуумный захват предназначен для работы с лёгкими объектами, имеющими гладкие поверхности.

Поворотное устройство, приводимое в движение карданным шарниром, обеспечивает выбор необходимого инструмента: сенсора, или

одного из захватов. На кронштейн возможна установка дополнительных крепёжных фланцев под различный инструмент.

Для удержания тяжёлых объектов произвольной формы применяется механический захват с адаптивными пальцами. При сжатии пальцев, фаланги адаптируются и обхватывают объект.

Транспортировочный конвейер представляет собой транспортировочную ленту шириной 80см и длиной 3м. Конвейер оснащён сервоприводом и способен обеспечивать плавное изменение скорости от 0 до 2м/с.

Таблица 2. Характеристики ЭО РСУ

	Исходные требования	Достигнутые значения
Диаметр рабочей зоны	Не менее 400 мм	1000 мм
Высота рабочей зоны	Требование установлено лишь габаритами объектов (не менее 100 мм)	500 мм
Грузоподъёмность	3 кг	3 кг
Скорость движения исполнительного органа манипулятора	не менее 300 мм/с	400 мм/с и выше
Количество поворотных элементов (звеньев)	3	3
Поворотный элемент (звено) для вращения исполнительного органа	1	1
Исполнительные органы манипулятора	Вакуумный захват	Вакуумный захват 3-пальцевый захват Спектрометр БИК

В результате работы разработан дельта-робот в соответствии с заданными требованиями по грузоподъёмности, скорости перемещения и габаритов рабочей зоны в составе:

- 1) Сервоприводы с высоким моментом на выходном валу
- 2) Рычаги и крепёжные элементы
- 3) 3-пальцевая хватная головка
- 4) Спектрометр в ближней инфракрасной зоне
- 5) Вакуумный захват
- 6) Поворотное устройство-селектор рабочего органа манипулятора
- 7) Трёхмерный стереосенсор глубины

Разработанный комплекс роботизированной сортировки может быть использован в следующих областях:

- 1) Сортировка твердых бытовых отходов по типу материала
- 2) Калибровка овощей и фруктов
Фасовка готовой продукции
(фрукты, овощи, детали, заготовки)
- 4) Упаковка готовой продукции в короба
- 5) Позиционирование и ориентация деталей и заготовок
- 6) Визуальный контроль качества и отбраковка пищевой продукции
- 7) Выполнение операций с химическими реактивами и препаратами

Для изготовления деталей экспериментального образца роботизированного сортировочного узла использован трёхкоординатный фрезерный станок с числовым программным управлением (ЧПУ).

Управление станком с ЧПУ осуществляется при помощи специально разработанных программ, которые содержат перечень траекторий движения инструмента станка.

Разработка управляющей программы для станка с ЧПУ, содержащей траектории движения инструмента при обработке заготовки, осуществлялась при помощи пакета SolidCAM, который представляет собой надстройку в интерфейсе системы автоматизированного проектирования SolidWorks. При помощи SolidCAM произведена подготовка отдельных программ с оптимизацией времени и точности обработки заготовок, в том числе при групповой обработке нескольких деталей, расположенных на одной заготовке, одновременно. Предварительное моделирование программы обработки позволяет произвести визуальный контроль корректности и правильной последовательности режимов обработки при использовании нескольких инструментов. После успешной отладки программы обработки, она может быть конвертирована в G-коды - язык программирования станков с ЧПУ.



Рисунок 6 – Внешний вид узлов ЭО РСУ



Рисунок 7 – Внешний вид узлов ЭО РСУ

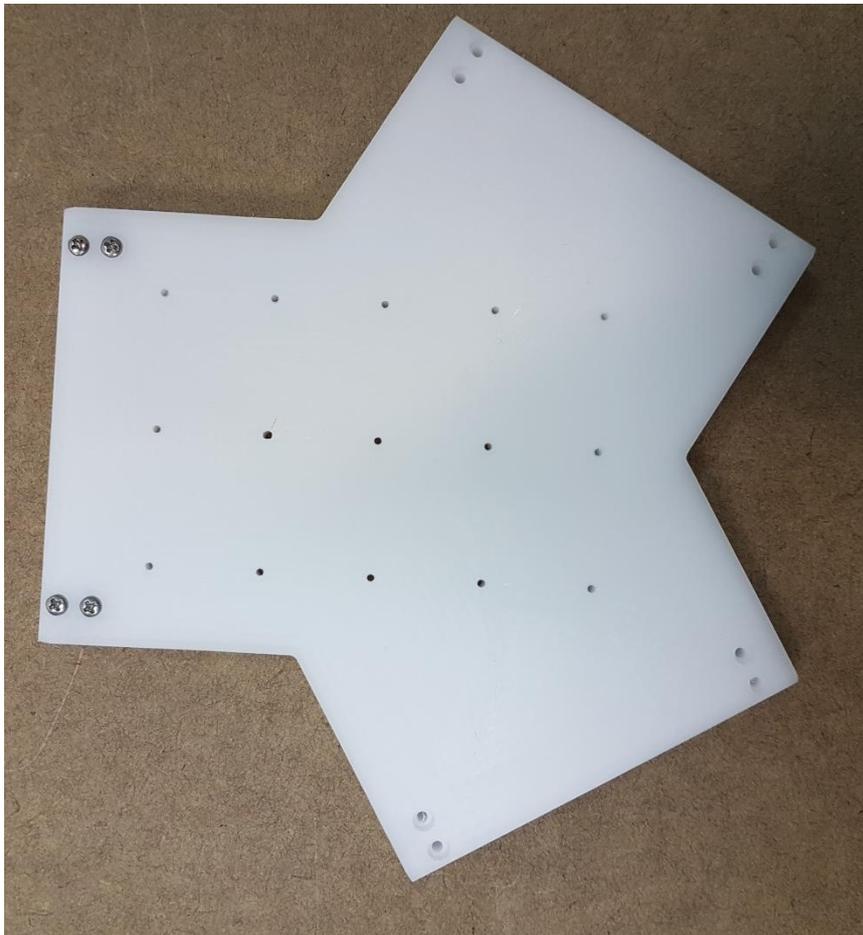


Рисунок 8 – Внешний вид узлов ЭО РСУ



Рисунок 9 – Внешний вид узлов ЭО РСУ

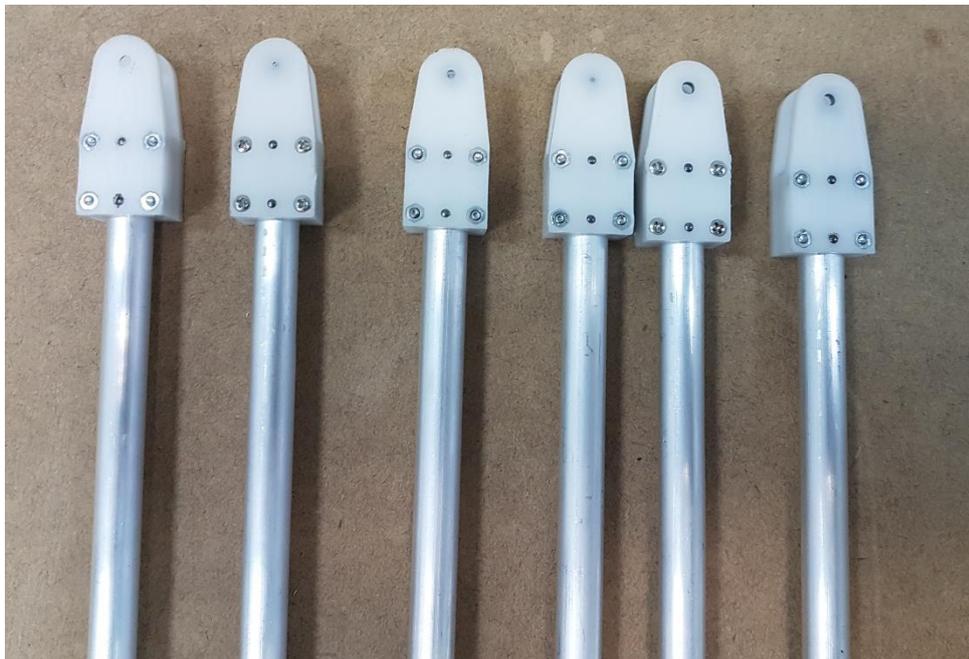


Рисунок 10 – Внешний вид узлов ЭО РСУ

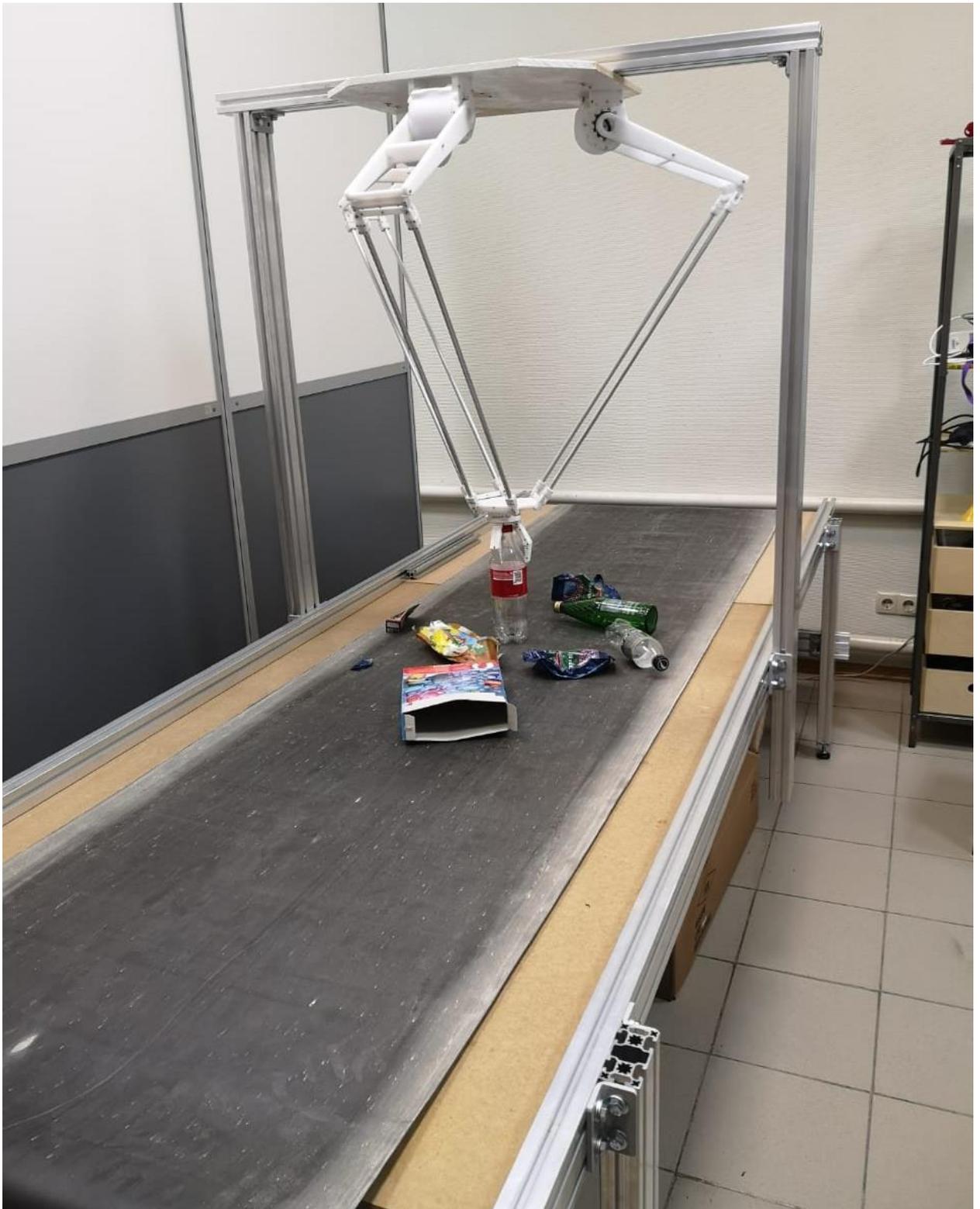


Рисунок 11 – Внешний вид ЭО РСУ

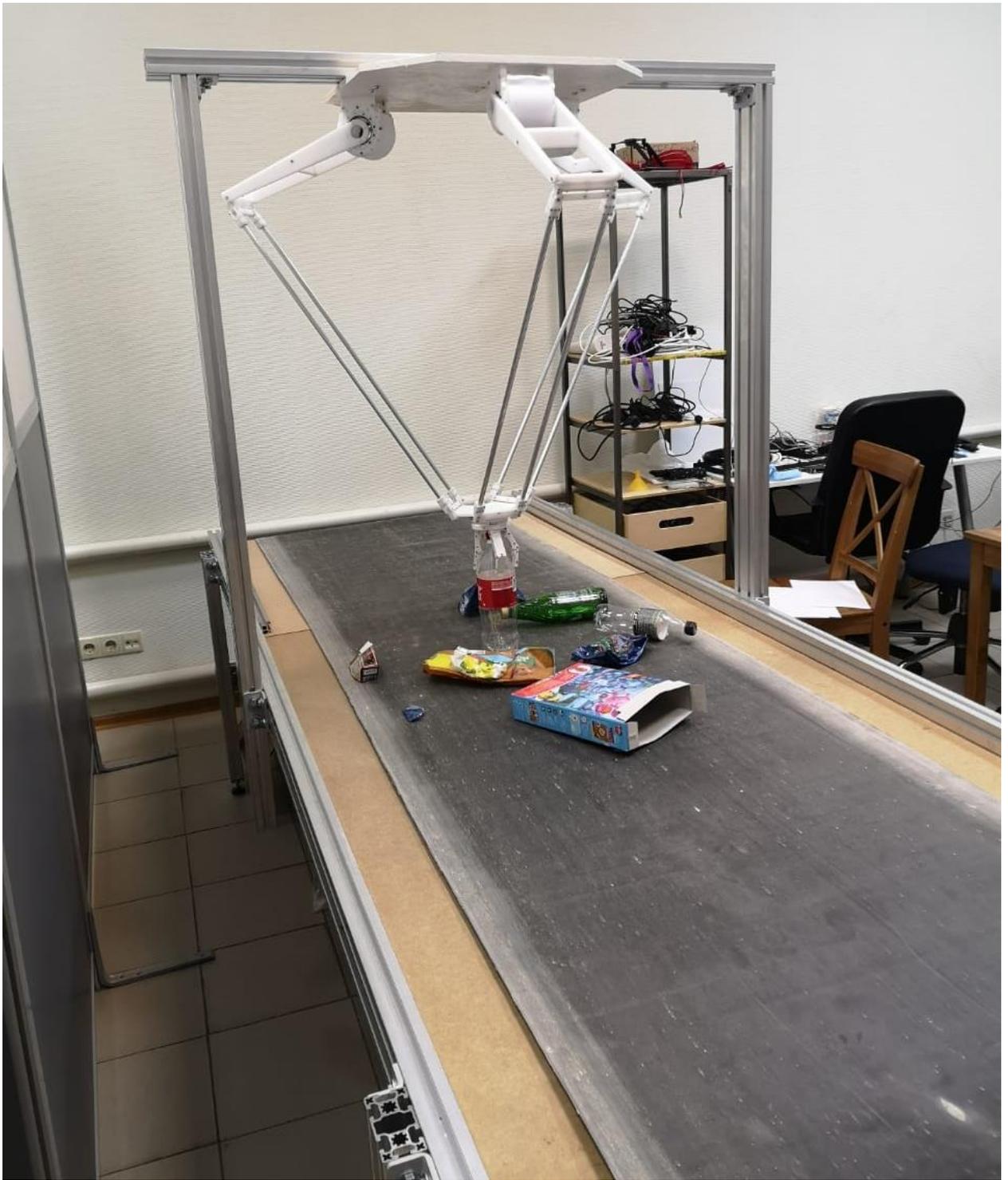


Рисунок 12 – Внешний вид ЭО РСУ

1.2 Разработка ЭКД на ЭО РСУ

Для разработки ЭКД на ЭО РСУ была использована система автоматического проектирования AutoCAD.

Для оформления ЭКД был произведён экспорт твердотельных моделей компонентов дельта-робота и захватной головки из системы автоматизированного проектирования SolidWorks в систему AutoCAD.

Для ЭО РСУ был разработан комплект эскизной конструкторской документации (см. ЭКД на ЭО РСУ, представленную отдельным документом) в составе:

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

1.3 Выводы

В результате работы разработан ЭО РСУ в соответствии с заданными требованиями по грузоподъёмности, скорости перемещения и габаритов рабочей зоны в составе:

- 1) Сервоприводы с высоким моментом на выходном валу
- 2) Рычаги и крепёжные элементы
- 3) 3-пальцевая захватная головка
- 4) Спектрометр в ближней инфракрасной зоне
- 5) Вакуумный захват
- 6) Поворотное устройство-селектор рабочего органа манипулятора

7) Трехмерный стереосенсор глубины

Таблица 3. Соответствие параметров разработанного ЭО РСУ и пунктов ТЗ

№	Пункт ТЗ	Исходные требования	Достигнутые значения
1	4.3.11.а	рабочая зона манипулятора диаметром не менее 400 мм	1000 мм
2	4.3.11.б	скорость движения исполнительного органа манипулятора не менее 300 мм/с	400 мм/с и выше
3	4.3.11.в	скорость движения конвейерной ленты не менее 300 мм/с	до 500 мм/с
4	4.3.11.г	масса не более 200 кг (без учета массы транспортного ленточного конвейера)	50 кг
5	4.3.11.д	должен производить захват и перемещение отдельных объектов	Посредством дельта-робота в составе ЭО РСУ, пальцевой захватной головки и вакуумного схвата
6	4.3.11.е	должен выполнять сортировку в соответствии с классом объекта	В соответствии с разработанным ППро ПЗУРСУ
7	4.3.12.а	система машинного трехмерного зрения видимого диапазона (СМТЗВД) в количестве не менее 1 шт	Стереокамера

8	4.3.12.б	система спектрометрии в ближнем инфракрасном диапазоне (ССБИД) в количестве не менее 1 шт	БИК спектрометр TI DLPNIR, 1 шт
9	4.3.12.в,г	транспортный ленточный конвейер в количестве не менее 1 шт;	1 шт
10	4.3.12.г	манипулятор ЭО РСУ в количестве не менее 1 шт;	Дельта-робот, 1 шт
11	4.3.12.д	захватная головка ЭО РСУ в количестве не менее 1 шт;	Вакуумный захват 1 шт, пальцевый захват 1 шт
12	4.3.12.е	вычислительный модуль ЭО РСУ в количестве не менее 1 шт;	NUC5i7RYH
13	4.3.17.а	длина конвейерной ленты не менее 3000 мм:	3000 м
14	4.3.17.б	ширина конвейерной ленты не менее 400 мм;	500 мм
15	4.3.17.в	максимальная скорость движения конвейерной ленты не менее 300 мм/с;	До 500 мм/с
16	4.3.17.г	точность установки скорости вращения с шагом не менее 100 мм/сек	50 мм/сек
17	4.3.18.а	масса не должна превышать 50 кг;	9 кг
18	4.3.18.б	рабочая зона манипулятора диаметром не менее 400 мм;	1000 мм
19	4.3.18.в	скорость движения	400 мм/с и выше

		исполнительного органа манипулятора: не менее 300 мм/с	
20	4.3.18.г	манипулятор должен включать не менее 3 поворотных элементов;	3 поворотных элемента с независимыми приводами
21	4.3.18.д	не менее одного дополнительного поворотного элемента для вращения исполнительного органа (захватной головки);	1
22	4.3.18.е	фланец и соединительные элементы для установки захватной головки;	Присутствуют
23	4.3.19.а	должна представлять собой механический зажим клещевого типа с не менее чем 2 (двумя) противопоставленными исполнительными контактными группами;	3 контактные группы
24	4.3.19.б	должна обеспечивать захват плоских объектов при помощи вакуумного захвата;	Вакуумная захватная головка в наличии
25	4.3.19.в,г	должна обеспечивать захват объектов массой не более 3 кг;	Грузоподъемность до 3 кг
26	4.3.19.д	должна иметь фланец для крепления на исполнительный орган манипулятора ЭО РСУ;	Присутствует

27	4.3.20.1	разрядность процессора: не менее 32 бит	64 бит
28	4.3.20.2	тактовая частота: не более 3 ГГц	3 ГГц
29	4.3.20.3	количество ядер процессора: не менее 2	2
30	4.3.20.4	оперативная память: не менее 4ГБ	8 Гб
31	4.3.20.5	интерфейс беспроводной связи Wi-Fi 802.11b/g/n	Wi-Fi
32	4.3.20.6	Интерфейсы Ethernet, USB, SPI	Ethernet и USB - встроенные, SPI посредством интерфейса USB-SPI

Для ЭО РСУ был разработан комплект эскизной конструкторской документации (см. ЭКД на ЭО РСУ, представленную отдельным документом) в составе:

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

Таким образом, работа выполнена в полном объеме в соответствии с перечнем работ согласно ТЗ и календарному плану Соглашения о предоставлении субсидии №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 года на Этап 3 работ.

2 Разработка испытательного стенда (ИС) для испытаний ЭО РСУ (ИС ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на испытательный стенд (ИС) для испытаний ЭО РСУ

2.1 Описание разработки испытательного стенда

Для проведения испытаний ЭО РСУ в соответствии с разработанной программой и методикой экспериментальных испытаний был изготовлен испытательный стенд в следующем составе:

- 1) Контрольно-измерительная аппаратура
- 2) Набор тестовых предметов из различных материалов
- 3) Приёмные бункеры
- 4) Рабочее место оператора

2.1.1 Контрольно-измерительная аппаратура

Состав контрольно-измерительной аппаратуры

- 1) Лабораторные весы
- 2) Градуированная линейка
- 3) Секундомер

2.1.2 Набор тестовых предметов

В соответствии с ТЗ в качестве тестовых предметов были подготовлены следующие объекты:

- 1) ПЭТ Бутылка 0.5 л
- 2) ПЭТ Бутылка 1.0 л
- 3) Лист полиэтилена высокого давления
- 4) Лист полиэтилена низкого давления

- 5) Лист полипропилена
- 6) Лист ПВХ
- 7) Лист картона
- 8) Текстиль, лист
- 9) Металлический объект
- 10) Стеклянный стакан
- 11) Древесина, брусок 5x5x15см
- 12) Груз 3 кг

2.1.3 Рабочее место оператора

В состав рабочего места оператора входит рабочая станция со следующими характеристиками:

- 1) процессор Intel Core i7-3630QM(2,4ГГц)
- 2) объем оперативной памяти: 8 ГБ
- 3) жесткий диск со свободным местом не менее 100Мб

В соответствии с требованиями ТЗ к объектам экспериментальных исследований и согласно разработанной Программе и методике экспериментальных исследований экспериментального образца роботизированного сортировочного узла для проведения экспериментальных испытаний на, а также в соответствии с разработанным комплектом эскизной конструкторской и программной документации на испытательный стенд на Этапе 3 ПНИЭР был изготовлен и смонтирован испытательный стенд.

2.2 ЭКД на испытательный стенд

Для испытательного стенда был разработан комплект эскизной конструкторской документации (см. ЭКД на испытательный стенд, представленную отдельным документом) в составе:

- а) Чертежи 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;
 - и) Формуляр в соответствии с ГОСТ 2.610-2006;
 - к) Акты сборки и ввода в эксплуатацию ИС.
- ж) Схема соединений и подключения в соответствии с ГОСТ 2.701-84.

2.3 Выводы

Для проведения испытаний ЭО РСУ в соответствии с разработанной программой и методикой экспериментальных испытаний был изготовлен испытательный стенд в следующем составе:

- 1) Контрольно-измерительная аппаратура
- 2) Набор тестовых предметов из различных материалов
- 3) Приёмные бункеры
- 4) Рабочее место оператора

Таблица 4. Соответствие параметров разработанного испытательного стенда и пунктов ТЗ

№	Пункт ТЗ	Исходные требования	Достигнутые значения
1	4.3.40.1	центральный процессор Intel Core i7 (Ivy Bridge или старше) или аналог	Core i7-3630QM(2,4ГГц)
2	4.3.40.2	Оперативная память 8 Гб	8 Гб DDR3
3	4.3.40.3	Доступная память на жестком диске 128 Гб	128 Гб SSD

4	4.3.40.4	Набор тестовых объектов согласно классам объектов пп. 4.2.7-4.2.9;	1) ПЭТ Бутылка 0.5 л 2) ПЭТ Бутылка 1.0 л 3) Лист полиэтилена высокого давления 4) Лист полиэтилена низкого давления 5) Лист полипропилена 6) Лист ПВХ 7) Лист картона 8) Текстиль, лист 9) Металлический объект 10) Стекланный стакан 11) Древесина, брусок 5x5x15см 12) Груз 3 кг
5	4.3.41.a	Обмен данными с ППрО ПЗУРСУ	Осуществляется посредством интерфейса Ethernet
6	4.3.41.б	Проведение экспериментальных исследований согласно разрабатываемой ПМЭИ	Обеспечивается составом стенда и исполнением ППрО ИС

Таким образом, работа выполнена в полном объеме в соответствии с перечнем работ согласно ТЗ и календарному плану Соглашения о предоставлении субсидии №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 года на Этап 3 работ.

3 Проведение экспериментальных исследований ЭО РСУ в соответствии с разработанной ПМЭИ

3.1 Планирование экспериментов

Разработанные ПМЭИ на Этапе 2 предназначены как для проверки экспериментального образца роботизированного сортировочного узла на соответствие назначению, техническим и функциональным требованиям раздела 4 ТЗ, так и для решения прикладных задач:

- 1) Распознавание формы и материала объекта
- 2) Автоматический захват объектов в рабочей зоне манипулятора, в том числе находящегося на движущейся конвейерной ленте;
- 3) Захват и перемещение объектов, форма которых может быть аппроксимирована при помощи трехмерных геометрических примитивов: параллелепипед, сфер, цилиндр;
- 4) Создание усилий, достаточных для выполнения манипуляций с объектами массой до 3 кг
- 5) Перемещение рабочего органа манипулятора в рабочей зоне диаметром не менее 400 мм
- 6) Точность позиционирования рабочего органа манипулятора не хуже 0,5 мм
- 7) Проведение сортировочных операций с объектами, находящимся на конвейерной ленте, движущейся со скоростью не менее 300 мм/с.

Целью экспериментальных испытаний ЭО РСУ является:

- 1) исследование технических характеристик объекта испытаний и путей достижения значений, установленных требованиями технического задания;
- 2) предварительная оценка соответствия объекта испытаний

требованиям ТЗ;

3) подтверждение соответствия характеристик объекта всем требованиям, заданным ТЗ.

3.2 Выводы

В ходе экспериментальных исследований было проверено соответствие экспериментального образца роботизированного сортировочного узла на по назначению, техническим и функциональным требованиям раздела 4 ТЗ, а также способности решения прикладных задач:

- 1) Распознавание формы и материала объекта
- 2) Автоматический захват объектов в рабочей зоне манипулятора, в том числе находящегося на движущейся конвейерной ленте;
- 3) Захват и перемещение объектов, форма которых может быть аппроксимирована при помощи трехмерных геометрических примитивов: параллелепипед, сфер, цилиндр;
- 4) Создание усилий, достаточных для выполнения манипуляций с объектами массой до 3 кг
- 5) Перемещение рабочего органа манипулятора в рабочей зоне диаметром не менее 400 мм
- 6) Точность позиционирования рабочего органа манипулятора не хуже 0,5 мм
- 7) Проведение сортировочных операций с объектами, находящимся на конвейерной ленте, движущейся со скоростью не менее 300 мм/с.

В соответствии с разработанной ПМЭИ были проведены экспериментальные исследования (см. Приложение А) ЭО РСУ в полном объеме в соответствии с перечнем работ согласно ТЗ и календарному плану Соглашения о предоставлении субсидии №14.586.21.0029 от 28 июля 2016

года на Этап 3. В ходе экспериментальных исследований было установлено соответствие полученных характеристик ЭО РСУ требованиям ТЗ.

4 Выполнение обобщения и оценки полученных результатов

4.1 Обобщение результатов исследований

4.1.1 Краткие выводы по результатам Этапа 1 ПНИЭР

По работе «Аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, в том числе, обзор научных информационных источников: статьи в ведущих зарубежных и (или) российских научных журналах, монографии и (или) патенты – не менее 15 научно-информационных источников за период 2011–2016 гг.»:

Проведён аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему создания сортировочного комплекса ТБО. Аналитический обзор содержит 70 научно-информационных источников, в том числе 39 источников за период 2011 – 2016 гг. и позволил выявить следующие направления развития технологий в области построения и управления роботизированными комплексами для автоматизированного выполнения сортировочных операций:

- 1) Появление новых сортировочных комплексов ТБО.
- 2) Появление «умных» производств на основе робототехнических систем и без использования человеческого труда.

Рассмотрены основные технологии оптического распознавания типов материалов:

- 1) оптическая спектроскопия;
- 2) инфракрасная спектроскопия;
- 3) ультрафиолетовая спектроскопия;
- 4) терагерцовая спектроскопия;

Выявлены методы распознавания предметов на основе обработки двумерных изображений:

- 1) Отделение объекта от фона
- 2) Извлечение дескрипторов (особых точек, областей), инвариантных к повороту и масштабированию объекта
- 3) Поиск объекта по дескриптору

Рассмотрены 4 типа роботов-манипуляторов и их кинематические схемы для использования в составе разрабатываемых конструкторских решений:

- 1) дельта-робот;
- 2) промышленный 6-осевой робот;
- 3) SCARA;
- 4) декартов робот.

По работе «1.2 Проведение патентных исследований в соответствии ГОСТ Р 15.011-96» проведены патентные исследования, количество охраняемых документов, рассмотренных в патентных исследованиях: более 1500 штук. Глубина поиска составила 20 лет: с 1995 г. по 2015 г

Патентные исследования позволили выявить технический уровень разработки и основные тенденции развития в этих областях. Показана высокая изобретательская активность зарубежных исследователей по выбранным предметам поиска патентных исследований, что свидетельствует о актуальности выполнения исследований в указанных областях.

По результатам проведённого анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития устройств разделения ТБО на фракции следует отнести:

- 1) Использование манипуляторов для извлечения конкретного объекта из ряда объектов. Данная тенденция обуславливается

необходимостью выполнения выборки объектов с высокой точностью. Немаловажно, что при использовании нескольких манипуляторов увеличивается скорость выполнения сортировочных операций.

2) Использование пневматических дюз для отстрела полезных фракций

3) Использование системы машинного зрения. Данная тенденция объясняется тем, чтобы для выполнения сортировочных операций манипулятору необходимо идентифицировать положение захватываемого объекта на движущейся конвейерной ленте. Использование системы машинного зрения позволяет в масштабе реального времени предсказывать дальнейшее положение необходимого для захвата объекта.

4) Использование системы распознавания типа материала и формы объекта. Данная тенденция объясняется тем, что для выполнения сортировочных операций манипулятору необходимо знать, в какую область фракций переместить захватываемый объект.

По результатам проведённого анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития устройств и методов распознавания типа материала и формы объекта следует отнести:

1) Использование технологии спектроскопии в ближней инфракрасной области для распознавания типа материала и формы объекта. Данная тенденция обуславливается тем, что метод спектроскопии в ближней инфракрасной области для распознавания типа материала и формы объекта является наилучшим методом с учетом технологических, экономических, экологических критериев.

2) Использование технологий спектроскопии в видимой области для распознавания типа материала и форм объекта. Данная тенденция объясняется тем, что метод спектроскопии в видимой области позволяет распознать материал по цвету.

3) Совместное использование технологий машинного зрения, спектроскопии в ближней инфракрасной области, спектроскопии в видимой области для распознавания типа материала и формы объекта. Комплексование вышеперечисленных решений позволяет с высокой точностью и скоростью распознать широкий спектр отходов: макулатура, пластик, стекло, текстиль, древесина, черные и цветные металлы, инертные материалы.

По результатам проведенного анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития алгоритмов планирования движений манипулятора, методов управления захватной головкой следует отнести:

1) Планирование траектории и синхронизация движения отдельных элементов манипулятора (формирование базы знаний известных предметов, определения параметров захватываемого предмета и формы как по тактильным сенсорам обратной связи, так и по системе машинного зрения). Данная тенденция обуславливается необходимостью выполнения задач по перемещению объектов.

2) Контроль усилий захвата. Данная тенденция обуславливается необходимостью выполнения задач, связанных с захватыванием и перемещением объекта с помощью устройства захвата.

По работе «1.3 Выбор и обоснование направлений исследований» на основе результатов анализа литературы Раздела 1 промежуточного отчета об исследованиях и Отчета о патентных исследованиях, по результатам которых были сформированы концепция и прогнозируемый облик разрабатываемых конструкторских и программно-технических решений в области создания универсального роботизированного узла для распознавания типов материалов объектов и автоматизированной сортировки.

На основе проведенного анализа информационных источников, выявленного уровня техники и тенденций по результатам патентных

исследований для реализации на следующих этапах работы выбраны следующие направления исследований.

В соответствии с проведённым анализом технологий оптического распознавания типов материалов оптимальным вариантом для реализации в составе ЭО РСУ является реализация комбинированной системы машинного зрения на основе использования спектроскопии в ближней инфракрасной зоне, видимого спектра, а также системы трехмерного зрения для идентификации формы предмета. Такой комплексный подход позволит обеспечить как распознавание предмета и его материала, так и определение контактных поверхностей для выполнения захвата при помощи захватной головки манипулятора.

В качестве инфракрасного сенсора целесообразно использовать отладочный набор DLPNIRnano от компании Texas Instruments, т.к он представляет собой интегрированное решение из излучателя и матричного сенсора.

Как было показано в ходе работ Иностранного партнёра по исследованию сенсоров ближней инфракрасной зоны, DLPNIRnano, имеет малое фокусное расстояние (около 17мм). Потому возможно два варианта использования данного сенсора:

- 1) размещение на захватной головке манипулятора для достижения наибольшего качества распознавания непосредственно в момент захвата предмета;
- 2) размещение группы из нескольких сенсоров параллельно плоскости транспортной ленты так, чтобы проходящий поток объектов на конвейере попадал в область зрения сенсора, например, через прозрачное окно, вмонтированное в плоскости транспортной ленты.

Для формирования целеуказаний на позиционирование захватной головки манипулятора необходимо определять геометрические параметры наблюдаемых объектов, параметры движения и расположения в пространстве относительно системы координат, связанной с манипулятором. В качестве такого сенсора целесообразно использование сенсоров глубины или трехмерных сенсоров, например, сенсор на базе структурированной подсветки, так же обеспечивающий получение обычных двумерных изображений видимого спектра.

В ходе проведенного анализа кинематических схем манипуляторов в качестве манипулятора в составе ЭО РСУ будет использован дельта-робот.

Операция захвата предмета роботизированным сортировочным узлом может быть разделена на следующие стадии:

- 1) Поиск и локализация объекта посредством анализа изображений системы машинного зрения в процессе которого решается задача поиска группы особых точек на поверхности предмета, характеризующих положение и ориентацию предмета в пространстве.

Задача поиска особых поверхностей заключается в анализе неупорядоченного облака трехмерных точек, содержащих пространственную информацию об окружающем пространстве. В общем случае облако точек содержит как полезную информацию (форма объекта), так и избыточные лишние данные – статический фон. Сократить вычислительную сложность можно посредством отсекающих точек, соответствующих фоновому изображению. Сделать это можно при помощи контурного анализа плоских (цветных) изображений с последующим сопоставлением бинарных масок для удаления не нужных точек на пространственном изображении. Таким образом, после предварительной фильтрации

облако точек содержит лишь информацию об объектах манипуляций.

Для поиска особых поверхностей и элементов (линия, плоскость, образующая цилиндра, сфера) может использоваться метод оценки параметров модели на основе случайных выборок, при котором итерационно проверяются гипотезы о принадлежности той или иной точке определённой поверхности.

2) Планирование траектории и перемещение захватной головки.

Согласно предварительным исследованиям в ходе анализа информационных источников показано, что одним из наиболее эффективных алгоритмов планирования траекторий перемещения многозвенных механизмов в среде с большим числом препятствий является алгоритм оптимизации на основе быстрорастущих деревьев, а также его модификации.

3) Позиционирование захватной головки вокруг предмета.

Контактные группы захватной головки при смыкании должны обхватывать область пространства, соответствующую группе точек на трехмерном изображении окружающего пространства. При этом перемещение (положение в пространстве) захватной головки в рабочей зоне по трем осям осуществляется при помощи дельта-робота, а управление ориентацией захватной головки в вертикальной плоскости при помощи дополнительной степени свободы. Угол поворота захватной головки относительно объекта определяется как функция ориентации образующих линий и плоскостей, принадлежащих объекту.

В результате анализа информационных источников и проведения патентных исследований, а также в результате проведённых работ Иностранном партнёром были выявлены следующие объекты управления роботизированного сортировочного узла:

- а) скорость движения конвейерной ленты;

- б) габариты и расположение приемных бункеров относительно манипулятора;
- в) размер рабочей зоны манипулятора (положение основания манипулятора относительно конвейерной ленты)
- г) количество степеней подвижности манипулятора
- д) количество манипуляторов в составе одного сортировочного узла
- е) диапазон длин волн спектрометра ближней инфракрасной зоны
- ж) время/точность распознавания (разрешение обрабатываемых изображений, алгоритм извлечения дескрипторов)
- и) траектория и скорость движения манипулятора (скорость движения манипулятора обратно пропорциональна грузоподъемности)

По работе «1.4 Разработка математической и программной модели (ММ1, ПМ1), описывающих кинематику и динамику робота-манипулятора в составе ЭО РСУ с использованием линейных и нелинейных дифференциальных уравнений» были разработаны математическая модель дельта-робота и СКАРА, реализована программная модель дельта-робота, проведен предварительный анализ кинематических схем и динамических параметров манипуляторов с целью использования в составе роботизированного сортировочного узла.

По работе «1.5 Проведение проверки разработанной математической модели на точность и адекватность» математическая модель манипулятора прошла проверку на точность и адекватность, которая подтверждается следующими техническими характеристиками модели:

- а) отклонение размеров манипулятора захвата не более 1 мм;
- б) отклонение массы манипулятора не более 100 гр.;
- в) точность определения угла поворота приводов не менее 0,1 град.

По работе «1.6 Аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы по методам оптической сортировки твердых бытовых отходов» (**работа выполнена Иностраннным партнёром**) выполнен обзор методов спектроскопии в различных диапазонах длин волн электромагнитного излучения в контексте их применения для детектирования различных материалов (бумага/картон, пластик, дерево, текстиль, стекло, металлы). В качестве основы для построения системы оптической сортировки рассмотрен ряд сенсоров, работающих в различных диапазонах длин волн. На основе анализа источников можно сделать вывод, что для распознавания типов материалов при помощи ЭО РСУ, в состав необходимо включить два сенсора для обеспечения спектроскопии в видимой области и ближней инфракрасной области.

Для формирования целеуказаний на позиционирование захватной головки манипулятора необходимо определять геометрические параметры наблюдаемых объектов, параметры движения и расположения в пространстве относительно системы координат, связанной с манипулятором. В качестве такого сенсора целесообразно использование сенсоров глубины или трехмерных сенсоров. Из рассмотренных выше способов и средств сканирования наиболее подходящими для применения в системе сканирования твердых бытовых отходов, являются системы с модулированной или структурированной подсветкой и лазерного сканирования.

По работе «1.7 Обзор технологий оптической спектрометрии VIS (технология на основе облучения поверхности объекта светом с длиной волны, соответствующей видимому спектру) и NIR (технология на основе облучения поверхности объекта светом с длиной волны в инфракрасном диапазоне) в контексте решения задач» (**работа выполнена Иностраннным**

партнёром) в результате обзора технологий оптической сортировки, выполненного иностранным партнёром, сформирован перечень оборудования для использования в составе роботизированного сортировочного узла.

В соответствии с проведённым анализом технологий оптического распознавания типов материалов оптимальным вариантом для реализации в составе ЭО РСУ является использование комбинированной системы машинного зрения на основе использования спектроскопии в ближней инфракрасной зоне, видимого спектра, а также системы трехмерного зрения для идентификации формы предмета. Такой комплексный подход обеспечит как распознавание предмета и типа материала, так и определение контактных поверхностей для выполнения захвата при помощи захватной головки манипулятора. В качестве NIR сенсора целесообразно использовать отладочный набор DLPNIRnano от компании Texas Instruments, т.к. он представляет собой интегрированное решение из излучателя и матричного сенсора. В качестве системы трехмерного зрения может быть использован сенсор на базе структурированной подсветки, так же обеспечивающий получение обычных двумерных изображений видимого спектра.

По работе «1.8 Аналитический обзор современных источников и практического опыта, описывающих морфологический состав и характеристики твердых бытовых отходов, характерных для России и ее различных регионов, в контексте задач их дальнейшей сортировки» **(работа выполнена Иностраным партнёром)** были выявлены особенности состава твердых бытовых отходов, в отличие от Европы, где развит отдельный сбор отходов, в России преимущественно смешанный сбор отходов, характеризующийся высокой влажностью, обусловленной наличием большого количества органических компонентов и, как следствие, слипанием их между собой. Это значительно затрудняет распознавание и дальнейшее разделение полезных фракций. Кроме того, как показывает практика,

используемые в России материалы обладают несколько иными спектральными характеристиками, чем их аналоги в Европе. Потому широчайшая база данных, накопленная многолетним опытом немецких производителей систем оптической сортировки, для российских материалов зачастую становится совершенно бесполезной и требуется построение специальных баз данных материалов.

По работе «1.9 Подготовка описания процесса сортировки твердых бытовых отходов на стадии выделения полезных фракций, как объекта автоматизации» **(работа выполнена Иностранном партнёром)** разработано описание следующих объектов автоматизации:

- 1) Подсистема оптического сканирования
- 2) Конвейер
- 3) Робот-манипулятор

Каждая подсистема может рассматриваться в качестве «черного ящика» обладающего некоторым набором функциональных характеристик. Ключевым параметром для автоматизации являются задержки, определяемые пропускной способностью используемых линий обмена данными, производительностью и временем обработки информации, инерцией физических объектов. Т.к. задержки являются сложно формализуемым параметром, точное их определение целесообразно выполнять в ходе экспериментальных исследований, однако при разработке систем автоматического управления на Этапе 2 необходимо применять меры компенсации задержек и синхронизации систем управления.

Исходными данными для описания объекта автоматизации являются:

- 1) ассортимент объектов сортировки
 - а) виды материалов;
 - б) морфологический состав потока ТБО

в) габаритные размеры;

2) объекты регулирования:

а) скорость движения конвейерной ленты;

б) габариты и расположение приемных бункеров относительно манипулятора;

в) размер рабочей зоны манипулятора (положение основания манипулятора относительно конвейерной ленты)

г) количество степеней подвижности манипулятора

д) количество манипуляторов в составе одного сортировочного узла

е) диапазон длин волн спектрометра ближней инфракрасной зоны

ж) время/точность распознавания (разрешение обрабатываемых изображений, алгоритм извлечения дескрипторов)

и) траектория и скорость движения манипулятора (скорость движения манипулятора обратно пропорциональна грузоподъемности)

Также проведена оценка влияния различных характеристик объектов как на качество работы оптической системы распознавания, так и на качества захвата при помощи манипулятора.

При разработке системы согласованного управления роботом-манипулятором для захвата предметов, движущихся вдоль транспортерной ленты, будут использоваться средства операционной системы роботов для совместного моделирования алгоритмов поиска объектов, распознавания контактных плоскостей на объектах для выполнения захвата, планирования траектории движения исполнительного органа манипулятора при помощи программной реализации виртуальной среды моделирования с использованием графической визуализации и физического взаимодействия объектов. Таким образом, на Этапе 2 исследований должны быть разработаны компоненты системы управления и её программная реализация.

Таким образом, на Этапе 2 исследований должны быть разработаны алгоритмы комплексирования данных от комбинированной системы машинного зрения и распознавания типов материалов, алгоритмы управления манипулятором и захватной головкой в составе ЭО РСУ, алгоритмы планирования заданий для выполнения операций над несколькими предметами. Задачей экспериментальных исследований на Этапе 3 исследований является разработка экспериментального образца сортировочного узла и эскизной конструкторской документации, экспериментальное подтверждение достигнутых результатов исследований в соответствии с требованиями Технического Задания, разработка предложений по производству и эксплуатации продукции на основе результатов проекта.

Новизна заключается в универсальном подходе при использовании единой системы машинного зрения как управления многозвенными манипуляторами робота, так и для определения положения формы и материала объекта.

В отличие от традиционных средств автоматической сортировки твердых бытовых отходов, способных на стадии отбора полезных фракций эффективно разделять не более чем по 2 (двум) типам материалов, разрабатываемые конструкторские и программно-технические решения позволяют выполнять разделение объектов по произвольному (более 2(двух)) числу классов за счёт способности избирательного воздействия и манипулирования с отдельно взятым предметом.

Новизна при разработке системы машинного зрения заключается в разработке системы согласованной обработки изображений на основе комбинации пространственной информации, получаемой от системы машинного зрения на основе стереоскопического сенсора глубины, и информации о материале объекта посредством анализа данных спектрометра ближней инфракрасной зоны. При этом будет обеспечиваться способность

различать предметы по следующим материалам: бумага/картон, пластик (классификация по типам), дерево, текстиль, стекло, металлы. Для построения математической модели универсальной системы управления необходимо выполнить разработку математической и программной модели, описывающих кинематику и динамику многозвенного манипулятора с использованием линейных и нелинейных дифференциальных уравнений.

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 2017 и 2018 годах следующие РИД, на которые могут быть оформлены охранные документы Российской Федерации:

а) Патент на полезную модель «Устройство роботизированного сортировочного комплекса» (получение в 2018м году).

Мусоросортировочный комплекс, содержащий по меньшей мере один первый манипулятор (110), предназначенный для выделения по меньшей мере одного объекта из исходного материала; по меньшей мере один датчик (120) для получения информации по меньшей мере одного объекта, находящегося в рабочей зоне датчика (120), причем датчик расположен вне рабочей зоны.

б) Патент на изобретение РФ (получение в 2018 году), Программа для ЭВМ «Метод управления звеньями манипулятора захвата с использованием информации о материале объекта»

Отличительной особенностью системы управления является подача сигналов управления на звенья манипулятора,

основываясь на качественных параметрах приоритетов захватываемых объектов.

При этом перемещение трех осей осуществляется при помощи манипулятора, а управление ориентацией захватной головки в вертикальной плоскости осуществляется при помощи дополнительной степени свободы. Угол поворота захватной головки определяется при помощи анализа трехмерного изображения объекта и может быть вычислено через ориентацию линий и плоскостей, принадлежащих данному объекту.

в) Патент на изобретение РФ (получение в 2018 году), Программа для ЭВМ (получение в 2018 году) «Метод комплексирования данных определения типа материала и формы объекта VIS NIR спектроскопии»

Реализация метода слияния информации в единое информационное пространство для получения интегрированных данных о форме объекта и материале.

г) Патент на изобретение РФ (получение в 2018 году), Программа для ЭВМ (получение в 2017 году) «Метод определения контактных точек на поверхности объекта для захвата объекта»

Для позиционирования захватной головки вокруг предмета необходимо её разместить так, чтобы контактные группы обхватывали область пространства, соответствующую группе пространственных точек на трехмерном изображении окружения. Разрабатываемый алгоритм позволит в масштабе реального времени определять параметры поверхностей объектов для дальнейшего захвата.

д) Программа для ЭВМ (получение в 2018 году) «Программа формирования приоритетов выполнения сортировочных операций»

е) Программа для ЭВМ (получение в 2017 году) «Программа управления захватной головкой роботизированной сортировочной линией», реализующая алгоритм управления захватной головкой на основе данных измерений по меньшей мере одного силомоментного датчика, данных VIS-NIR спектроскопии, определяющий тип материала и формы объекта, его качественные характеристики.

По результатам проведённого анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития устройств разделения ТБО на фракции следует отнести:

- 1) Использование манипуляторов для извлечения конкретного объекта из ряда объектов. Данная тенденция обуславливается необходимостью выполнения выборки конкретного объекта из группы ТБО с высокой точностью. Немаловажно, что при использовании нескольких манипуляторов увеличивается скорость выполнения сортировочных операций.
- 2) Использование цифровых камер с оптической системой для получения изображения в составе системы распознавания движения объектов. Данная тенденция объясняется тем, чтобы для выполнения сортировочных операций необходимо идентифицировать положение захватываемого объекта на движущейся конвейерной ленте. Использование цифровых камер в составе системы распознавания движения позволяет в масштабе реального времени предсказывать дальнейшее положение необходимого для захвата объекта.

- 3) Использование системы распознавания типа материала и формы объекта. Данная тенденция объясняется тем, что для выполнения сортировочных операций комплексу необходимо определить сортируемый объект, а также указать, в какую область фракций направить сортируемый объект. Технология автоматической сортировки с применением оптического распознавания материала обладает более высокой производительностью.

По результатам проведённого анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития устройств и методов распознавания типа материала и формы объекта следует отнести:

- 1) Использование технологии спектроскопии в ближней инфракрасной области для распознавания типа материала и формы объекта. Действие системы инфракрасного распознавания основано на том, что каждый компонент ТБО реагирует на воздействие инфракрасного излучения индивидуально, что дает возможность распознавать эти компоненты. Сенсор считывает изменения излучения после того, как оно проходит через слой отходов. Данная тенденция обуславливается тем, что метод спектроскопии в ближней инфракрасной области для распознавания типа материала и формы объекта является наилучшим методом с учетом технологических, экономических, экологических критериев.
- 2) Использование технологий спектроскопии в видимой области для распознавания типа материала и форм объекта. В качестве источников света видимой области находят применение лампы накаливания или лазеры. Попадая в освещенную зону обследования, материал отражает падающий свет от источника излучения. Сенсоры или камеры получают отраженный свет от материала, обнаруживают мельчайшую разницу в цвете частиц продукта, и посылают импульсы в электронную часть. Данная тенденция объясняется тем, что метод

спектроскопии в видимой области позволяет распознать материал по цвету.

- 3) Совместное использование технологий, спектроскопии в ближней инфракрасной области, спектроскопии в видимой области для распознавания типа материала и формы объекта. Комбинирование вышеперечисленных решений позволяет с высокой точностью и скоростью распознать широкий спектр отходов: макулатура, пластик, стекло, текстиль, древесина, черные и цветные металлы, инертные материалы.

По результатам проведенного анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития алгоритмов планирования движений манипулятора, методов управления захватной головкой следует отнести:

- 1) Планирование траектории и синхронизация движения отдельных элементов манипулятора (формирование базы знаний известных предметов, определения параметров захватываемого предмета и формы как по тактильным сенсорам обратной связи, так и по системе машинного зрения). Данная тенденция обуславливается необходимостью выполнения задач по перемещению объектов.
- 2) Контроль усилий захвата. Данная тенденция обуславливается необходимостью выполнения задач, связанных с захватыванием и перемещением объекта с помощью устройства захвата.

4.1.2 Краткие выводы по результатам Этапа 2 ПНИЭР

По работе «2.1 Разработка кинематической схемы робота-манипулятора, обеспечивающей необходимый функционал для проведения

сортировочных операций с объектами в составе роботизированного сортировочного узла (ЭО РСУ)» разработана кинематическая схема дельта-робот, которая обеспечивает размер рабочей зоны по горизонтали до 1300мм, по вертикали – до 600мм, грузоподъёмность до 3 кг, что позволяет разместить до 4х бункеров с каждой стороны конвейерной ленты. Таким образом, при выбранной кинематической схеме возможна одновременная сортировка не менее 9 классов объектов (8 бункеров размещается снаружи конвейерной ленты и один дополнительный бункер в конце ленты для сбора предметов, не подходящих под заданный класс).

По работе «2.2 Разработка алгоритмов управления кинематическими звеньями (УКЗМ) манипулятора в составе ЭО РСУ, реализующих принципы инверсной кинематики и динамики» выведено аналитическое выражение, описывающее решение обратной кинематической задачи для координаты центра исполнительного органа манипулятора. Преимуществом является высокая точность определения и скорость вычисления обобщённых координат исполнительных звеньев манипулятора, позволяющая в реальном масштабе времени проводить вычисление сложных траекторий движения между заданными точками рабочей зоны синхронно с движением объекта на конвейерной ленте, в том числе, при помощи линейной и нелинейной аппроксимации промежуточных точек траектории.

По работе «2.3 Разработка алгоритмов управления захватной головкой манипулятора (УЗГМ) при захвате движущихся объектов, имеющих сложные характеристики» был разработан алгоритм позиционирования захватной головки относительно произвольно расположенного предмета. Для позиционирования захватной головки вокруг предмета необходимо её разместить так, чтобы контактные группы обхватывали область пространства, соответствующую группе пространственных точек на

трехмерном изображении. При этом перемещение трех осей осуществляются при помощи исполнительных узлов дельта-робота, а управление ориентацией захватной головки в вертикальной плоскости осуществляется при помощи дополнительной степени свободы. Угол поворота захватной головки определяется при помощи анализа трехмерного изображения объекта и может быть вычислено через ориентацию линий и плоскостей, принадлежащих данному объекту. Таким образом, координата центра объекта является целеуказанием для системы управления поворотными звеньями дельта-робота, а ориентация объекта – целеуказание для 4ой оси – ориентация захватной головки.

По работе «2.4 Разработка алгоритмов планирования заданий и управления роботизированным сортировочным узлом (ПЗУРСУ) для выполнения операций над несколькими объектами в режиме реального времени» в ходе разработки алгоритма планирования заданий предпочтение отдается алгоритму FIFO (первый вошел – первый вышел), т.к. в соответствии с требованиями ТЗ экспериментальные исследования ЭО РСУ будут проводиться на модельной задаче, при которой объекты на конвейерную ленту выкладываются последовательно, т.е. их положение вдоль направления движения конвейерной ленты регламентировано, однако, поперёк движения конвейерной ленты положение случайное, как и ориентация самого объекта относительно ленты.

По работе «2.5 Разработка имитационной модели (ИМ) роботизированного сортировочного узла» имитационная модель непосредственно компонентов роботизированного сортировочного узла реализована в среде физического моделирования V-REP, подключаемого к операционной системе роботов (ROS) посредством плагина RosPlugin. При разработке имитационных моделей в составе ЭО РСУ использован комбинированный подход – физическое моделирование проводится средствами V-REP, синхронизация же с времен симуляции в ROS и V-REP

производится при помощи плагина RosPlugin, а моделирование систем управления осуществляется непосредственно средствами ROS.

По работе «2.6 Разработка программной модели роботизированного сортировочного узла с использованием средств трехмерной визуализации и моделирования физических процессов (ПМ ВИМ) и программной документации (ПрД) на ПМ ВИМ» разработана программная модель роботизированного сортировочного узла в составе:

- 1) Программная модель конвейерной ленты
- 2) Программная модель системы технического зрения
- 3) Программная модель дельта-робота

По работе «2.7 Разработка прикладного программного обеспечения УКЗМ (ППрО УКЗМ) и программной документации (ПрД) на ППрО УКЗМ» разработан исходный код программного обеспечения, осуществляющий прием целеуказаний на позиционирование исполнительного органа манипулятора в точке, аппроксимация траектории движения для обеспечения плавного перемещения между текущей и заданной точками пространства, расчёт траектории движения узлов манипулятора, формирование и передачу команд управления сервоприводами дельта-робота.

По работе «2.8 Разработка прикладного программного обеспечения УЗГМ (ППрО УЗГМ) и программной документация (ПрД) на ППрО УЗГМ» разработан исходный код программного обеспечения, осуществляющий поиск объектов в видеопотоке, определение положения и ориентации объекта относительно направления движения конвейерной ленты, детектор рабочих плоскостей для на поверхности предмета для осуществления захвата.

По работе «2.9 Разработка прикладного программного обеспечения ПЗУРСУ (ППРО ПЗУРСУ) и программной документации (ПрД) на ППРО ПЗУРСУ» разработан исходный программного обеспечения, выполняющий роль диспетчера по управлению синхронизации основных узлов ЭО РСУ. Реализован планировщик стека последовательности операций захвата нескольких объектов, движущихся на конвейерной ленте по правилу «первый вошёл – первый вышел».

По работе «2.10 Разработка прикладного программного обеспечения ВИМ (ППРО ВИМ)» реализована программная модель ЭО РСУ в целом с использованием комбинированных средств трехмерного графического и физического моделирования на основе ROS и V-REP.

По работе «2.11 Проведение моделирования совместной работы алгоритмов УКЗМ, УЗГМ, КДВИК и ПЗРСУ, с использованием ВИМ» для алгоритма управления кинематическими звеньями установлена точность позиционирования исполнительного органа (захватной головки) в 0,1 мм. По результатам моделирования системы управления захватной головкой показана способность выполнять манипуляции с объектами, форма которых может быть аппроксимирована при помощи трехмерных геометрических примитивов: цилиндр, параллелепипед, сфера.

В результате взаимного моделирования планировщика заданий сортировочного узла, программы управления кинематическими звеньями, программы управления захватной головкой и комбинированной системы технического зрения, установлено, что разработанная система управления дельта-роботом способна выполнять сортировку объектов при скорости движения конвейерной ленты в 1 м/с и общей пропускной способности до 1400 предметов в час при общей рабочей зоне до 1000 мм.

По работе «2.12 Разработка прикладного программного обеспечения для испытательного стенда (ППРО ИС) и программной документации (ПрД)

на ППРО ИС» разработано кросс-платформенное программное обеспечение для управления режимами проведения экспериментальных исследований, поддерживается как ручное управление основными агрегатами ЭО РСУ, так и переключение режимов в соответствии с методиками ПМЭИ.

4.1.3 Краткие выводы по результатам Этапа 3 ПНИЭР

В рамках 3 этапа проведено обобщение и оценка результатов исследований, показано соответствие технических параметров и функционала ЭО РСУ требованиям ТЗ и КП. Подтверждена правильность направлений исследований и подходов, разработанных на 1 и 2 этапах подходах к построению конструктивно-компоновочных и программно-аппаратных решений. В целом, показана верность общего направления реализации принятых на этапе 2 конструктивно-компоновочных и программно-аппаратных решений, что подтверждается результатами проведённых испытаний на этапе 3.

На 3 этапе работ разработан и изготовлен экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, представляющего собой дельта-робот в составе конвейерной ленты, изготовлен испытательный стенд.

Разработанный роботизированный сортировочный узел обладает следующими конструктивными, технологическими и технико-эксплуатационными характеристиками:

- 1) выделение отдельных предметов на изображении, распознавание формы и материалов объектов (пластик, бумага, картон, металл, древесина, текстиль) при помощи интеллектуальной обработки данных от комбинированной системы технического зрения

- 2) формирование траекторий движения исполнительного органа манипулятора, захват движущихся объектов и перемещение в рабочей зоне

3) грузоподъёмность до 3 кг

4) рабочая зона представляет собой цилиндр, диаметром 1000мм и высотой 500мм

5) скорость движения исполнительного органа манипулятора - до 600 мм/с;

6) скорость движения конвейерной ленты - до 300 мм/с

7) масса без учета массы транспортного ленточного конвейера – 40 кг

В результате проведённых экспериментальных исследований разработанные программно-аппаратные решения успешно прошли проверки на соответствие требованиям Технического Задания и подтвердили правильность выбранных направлений исследования на Этапе 1 ПНИЭР.

Показана конкурентоспособность разработанных решений и разработана финансовая модель производства и реализации продукции в период 2020-2025 годы. На основании предварительного анализа производственных возможностей Индустриального партнёра и ЭКД на ЭО РСУ сформированы исходные данные о себестоимости производства. Показано, что коммерциализация результатов проекта может представлять интерес не только для традиционных инвесторов, но и венчурных, т.е. высоко рискованных, с ожидаемым доходом на инвестиции до 10 раз.

Показано, что полученные в ходе ПНИЭР программно-аппаратные решения могут быть использованы при разработке новых образцов продукции, как в комплексе, так и отдельными модулями:

- автоматическая система сортировки твердых бытовых отходов
- комбинированная система оптического сканирования и распознавания предметов
- дельта-робот

- программное обеспечение роботизированной сортировки ТБО, в том числе позволяющего использовать промышленных и коллаборативных манипуляторов сторонних производителей.

В результате проведённых дополнительных патентных исследований показана патентоспособность двух разработанных РИД.

Проведены экспериментальные исследования с целью определения достижения требований ТЗ, разработан проект ТЗ на ОКР на последующие разработки,

В результате проведённых дополнительных исследований №1 и анализа технического уровня разработок в области способов распознавания типа материала и формы объекта показано получение охраноспособного РИД на программу для ЭВМ РФ «Программа распознавания материалов объектов на основе обработки спектра отражённого сигнала в ближней ИК зоне». Программа предназначена для предварительной обработки и подготовки данных, полученных от спектрометра ближней инфракрасной зоны, формированию указаний учителя и настройки алгоритма обучения многослойных искусственных нейронных сетей. Программа осуществляет распознавание спектральной плотности принятого сигнала и сопоставляет с ранее известными образцами с целью определения принадлежности типу материала. Осуществляет распознавание типов материалов посредством обработки сигналов в ближней инфракрасной зоне. Программа может быть широко использована для решения задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов. Программное обеспечение, будучи программой для ЭВМ, может быть отнесено к изобретениям как неотъемлемая часть программно-аппаратного комплекса.

В результате проведённых дополнительных исследований №2 и на основе анализа технического уровня разработок в области способов расчета

траектории движения промышленного робота показано получение охраноспособного РИД на программу для ЭВМ РФ «Программа управления роботизированным комплексом сортировки твердых бытовых отходов».

Программа предназначена для расчёта траекторий движения дельта-робота при выполнении манипуляций с движущимися объектами на конвейерной ленте. Программа осуществляет синхронизацию скорости перемещения исполнительного органа и осуществляет переключение между вакуумным схватом, трехпалой захватной головкой и спектрометром ближней инфракрасной зоны. Может быть использована для управления роботизированными комплексами автоматической сортировки твердых бытовых отходов.

В результате разработки технико-экономического обоснования разработки продукции на основе полученных в результате проекта технических решений показана конкурентоспособность разработанных решений и разработана финансовая модель производства и реализации продукции в период 2020-2025 годы. На основании предварительного анализа производственных возможностей Индустриального партнёра и ЭКД на ЭО РСУ сформированы исходные данные о себестоимости производства. Показано, что разработанные технические решения имеют хороший потенциал для коммерциализации и вывода продукции на рынки вторичной переработки сырья, сортировки продуктов питания и сервисной робототехники и могут представлять интерес не только для традиционных инвесторов, но и венчурных, т.е. высоко рискованных, с ожидаемым доходом на инвестиции до 10 раз.

Разработанные алгоритмы и программные модули могут быть широко использованы при решении задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов. В том числе при первичной сортировке

твердых бытовых отходов в домашних хозяйствах, на ранних стадиях цепочки создания ценности вторичной переработки.

4.2 Сопоставление анализа научно-информационных источников и результатов теоретических и экспериментальных исследований

В рамках выполнения работ Этапа 1 по результатам анализа информационных источников и проведения патентных исследований были сформулированы следующие направления развития технологий в области построения автоматизированных сортировочных комплексов:

а) Система машинного зрения и распознавание материалов

Рассмотрены основные технологии оптического распознавания типов материалов:

- 1) оптическая спектроскопия;
- 2) инфракрасная спектроскопия
- 3) ультрафиолетовая спектроскопия;
- 4) терагерцовая спектроскопия;

На основе выше проанализированных статей можно сделать вывод, что все выявленные системы оптической сортировки уникальны, но не одна из них не может дать полного описания для любого объекта ТБО. Поэтому, для максимально точной классификации объектов ТБО необходимо объединять эти системы в комплекс распознавания и классификации объектов ТБО.

Использование компонентов системы машинного зрения, извлекающей информацию об изображении, геометрической форме, габаритах и материале предметов позволяет использовать алгоритмы обработки и распознавания изображений для идентификации предметов и их

принадлежности к известным классам. Система машинного зрения в составе робота манипулятора предназначена так же для формирования целеуказаний для захвата и перемещения объектов. Использование технологий машинного обучения позволяет автоматизировать настройку системы под изменяющиеся параметры ТБО, например, при добавлении новой фракции для сортировки, алгоритмы машинного обучения могут повторно проанализировать сохраненные данные для быстрого поиска решения. Использование комбинированной системы машинного зрения на основе нескольких технологий спектроскопии позволяет расширить ассортимент распознаваемых типов материалов.

б) Распознавание изображений

Для распознавания отдельных предметов могут быть использованы методы обработки двумерных изображений:

- 1) Отделение объекта от фона
- 2) Извлечение дескрипторов (особых точек, областей), инвариантных к повороту и масштабированию объекта
- 3) Поиск объекта по дескриптору

Проблема выделения объектов от фона является базовой задачей для систем машинного зрения. Широко используется метод построения, основанный на использовании взвешенных сумм интенсивностей набора изображений, полученных от видеосистемы при анализе статического окружения. В рамках проекта подразумевается наличие подвижной конвейерной ленты, потому наиболее целесообразно использование методов цветовой сегментации, т.е. разбиения изображения на зоны, близкие по цветовой интенсивности. Например, эффективным методом является пирамидальная сегментация изображений.

Так как фон (транспортная лента) с некоторым допуском может считаться равномерным, для выделения объектов могут использоваться

методы выделения контуров изображений, основанных на цифровой фильтрации (например, операторы Собеля, Кэнни), которые преобразуют исходное изображение в бинарную маску (набор единиц и нулей), где единица соответствует границе объекта. Особенностью наблюдаемой сцены в данном проекте является высокая контрастность изображений объектов и фона, за счёт чего могут быть построены замкнутые контуры. Последующее выделение области на исходном изображении может осуществляться посредством описания контура в виде замкнутой области и сопоставления элементов изображения, находящегося внутри полученной области.

в) Манипулятор

В состав роботизированного комплекса должны входить два или несколько манипуляторов с подвижными схватами, конвейер для подачи предметов в реальном времени и система распознавания и классификации ТБО.

Разработка сортировочных промышленных линий идет в направлении автоматизации и повышения гибкости. Они оснащаются все большим количеством автоматизированного оборудования и промышленных манипуляторов.

Применение манипуляторов вместо тяжелого ручного труда обеспечивает механизацию, автоматизацию и повышение гибкости производственного процесса. В процессе сортировки необходимо распознавать и перемещать объекты различных типов.

Рассмотрены 4 типа роботов-манипуляторов и их кинематические схемы:

- 1) дельта-робот
- 2) промышленный 6-осевой робот
- 3) SCARA
- 4) Декартов робот.

Для сервоприводов поворотных звеньев манипуляторов целесообразно использовать коллекторные либо бесколлекторные электродвигатели. Сервопривод представляет из себя любой тип механического привода с отрицательной обратной связью. Помимо привода, сервопривод включает в себя датчик и блок управления, автоматически поддерживающий требуемые показания датчика. Датчик может быть различного типа – положения (энкодер, резольвер), усилия, скорости и т.д.

В качестве методов управления движением сервопривода были рассмотрены:

- 1) ПИД-регулятор
- 2) Регулятор с использованием нечёткой логики
- 3) Использование прогнозирующих моделей

Управление приводами исполнительных звеньев манипуляторов может осуществляться при помощи следящих контуров управления с обратной связью как по положению (угловое положение сустава – использование линейных или круговых датчиков положения), так и по усилию (использование сило-моментных датчиков). Возможно использование комбинированной системы позиционно-силового управления. Система управления приводами может быть построена с использованием ПИД-регуляторов, нейросетевых регуляторов, а также предиктивных систем управления, которые включают в контур управления модель объекта управления.

По результатам проведённого анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития устройств разделения ТБО на фракции следует отнести:

- 1) Использование манипуляторов для извлечения конкретного объекта из ряда объектов. Данная тенденция обуславливается необходимостью выполнения выборки конкретного объекта из группы ТБО с высокой точностью. Немаловажно, что при

использовании нескольких манипуляторов увеличивается скорость выполнения сортировочных операций.

- 2) Использование цифровых камер с оптической системой для получения изображения в составе системы распознавания движения объектов. Данная тенденция объясняется тем, чтобы для выполнения сортировочных операций необходимо идентифицировать положение захватываемого объекта на движущейся конвейерной ленте. Использование цифровых камер в составе системы распознавания движения позволяет в масштабе реального времени предсказывать дальнейшее положение необходимого для захвата объекта.
- 3) Использование системы распознавания типа материала и формы объекта. Данная тенденция объясняется тем, что для выполнения сортировочных операций комплексу необходимо определить сортируемый объект, а также указать, в какую область фракций направить сортируемый объект. Технология автоматической сортировки с применением оптического распознавания материала обладает более высокой производительностью.

По результатам проведённого анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития устройств и методов распознавания типа материала и формы объекта следует отнести:

- 1) Использование технологии спектроскопии в ближней инфракрасной области для распознавания типа материала и формы объекта. Действие системы инфракрасного распознавания основано на том, что каждый компонент ТБО реагирует на воздействие инфракрасного излучения индивидуально, что дает возможность распознавать эти компоненты. Сенсор считывает изменения излучения после того, как оно проходит через слой отходов. Данная тенденция обуславливается тем, что метод спектроскопии в ближней инфракрасной области для распознавания типа материала и формы объекта является наилучшим

методом с учетом технологических, экономических, экологических критериев.

- 2) Использование технологий спектроскопии в видимой области для распознавания типа материала и форм объекта. В качестве источников света видимой области находят применение лампы накаливания или лазеры. Попадая в освещенную зону обследования, материал отражает падающий свет от источника излучения. Сенсоры или камеры получают отраженный свет от материала, обнаруживают мельчайшую разницу в цвете частиц продукта, и посылают импульсы в электронную часть. Данная тенденция объясняется тем, что метод спектроскопии в видимой области позволяет распознать материал по цвету.
- 3) Совместное использование технологий, спектроскопии в ближней инфракрасной области, спектроскопии в видимой области для распознавания типа материала и формы объекта. Комплексирование вышеперечисленных решений позволяет с высокой точностью и скоростью распознать широкий спектр отходов: макулатура, пластик, стекло, текстиль, древесина, черные и цветные металлы, инертные материалы.

По результатам проведенного анализа патентно-лицензионной ситуации к современным тенденциям развития алгоритмов планирования движений манипулятора, методов управления захватной головкой следует отнести:

- 1) Планирование траектории и синхронизация движения отдельных элементов манипулятора (формирование базы знаний известных предметов, определения параметров захватываемого предмета и формы как по тактильным сенсорам обратной связи, так и по системе

машинного зрения). Данная тенденция обуславливается необходимостью выполнения задач по перемещению объектов.

- 2) Контроль усилий захвата. Данная тенденция обуславливается необходимостью выполнения задач, связанных с захватыванием и перемещением объекта с помощью устройства захвата.

По результатам анализа технического уровня разработок в области устройств разделения ТБО на фракции можно сделать вывод, что оптимальным будет:

- 1) Для выполнения сортировочных операций может быть использована структура мусоросортировочного комплекса, описанного в патенте WO2015158962 (A1) «A material sorting unit, a system and a method for sorting material» (Материалосортировочный комплекс, система и метод сортировки материала).
- 2) Для определения захватываемого объекта может быть использована система управления сортировочным комплексом, описанным в патенте Китая CN104148300 (A) «Garbage sorting method and system based on machine vision» (Система и метод сортировки мусора на основе машинного зрения).

По результатам анализа технического уровня разработок в области устройств и методов распознавания типа материала и формы объекта можно сделать вывод, что оптимальным будет:

- 1) Для осуществления процесса распознавания типа материала и формы объекта может быть использован метод идентификации объектов, описанный в патенте на изобретение Японии JP2014134461 (A) «Preform inspection method and preform inspection device» (Метод и устройство осмотра заготовок).
- 2) Для осуществления процесса распознавания типа материала и формы объекта может быть использовано устройство идентификации

объектов, описанное в патенте на изобретение Австрии AU2014343597 (A1) «Inspection apparatus» (Устройство обнаружения).

По результатам анализа технического уровня разработок в области алгоритмов планирования движений манипулятора, методов управления захватной головкой, можно сделать вывод, что оптимальным будет:

- 1) Для осуществления процесса определения места захвата может быть использован метод, описанный в патенте на изобретение Российской Федерации RU2594231 (C2) «Method, computer program and apparatus for determining gripping location» (Способ, компьютерная программа и устройство для определения места захвата).
- 2) Для осуществления процесса вычисления оптимальной силы захвата может быть использован метод, описанный в патенте на изобретение США US7650263 (B2) «Method for fast computation of optimal contact forces» (Метод вычисления оптимальной силы сжатия захвата).

4.3 Оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем

Достигнуты все запланированные требования ТЗ и ПГ Соглашения №14.586.21.0029 от «28» июля 2016г., в том числе подтверждено достижение технических параметров разработанных отдельных модулей ЭО РСУ в соответствии с требованиями ТЗ. Результаты 3 этапа позволяют позиционировать разработку, как решение, обладающее новизной в сравнении с аналогичными применениями с использованием роботов Sawyer (Rehink robotics), UR-5 (Universal Robotics) и ZenRobotics Recycler (ZenRobotics), а также традиционных комплексов автоматической

сортировки TITECH finder (TOMRA SORTING), GREEN EYE (GREEN MACHINE) и LDS Plastic Color Sorter (MEYER), с использованием пневматического воздействия на предметы воздухом, по ряду ключевых параметров. Наличие комбинированной захватно-анализирующей головки и системы трехмерного технического зрения позволяет извлекать информацию как о форме, так и о материале объекта. Подобный подход в условиях сортировки ТБО, когда наблюдается сильное взаимное перекрытие множества разнотипных объектов, преимущественно используется спектрометрия в ближней инфракрасной зоне для распознавание материала объекта непосредственно в момент схвата предмета, в то время как при сортировке однотипных или отдельно лежащих объектов для распознавания типов материалов возможно путём обработки данных системы трехмерного технического зрения в видимом диапазоне. При этом, в обоих случаях система трехмерного технического зрения используется для выделения объекта интереса и определения целеуказаний манипулятору для схвата и перемещения.

Таблица 5. Сравнение комплексов сортировки ТБО

	Оптическая сортировка TITECH	Роботизированный комплекс ZEN ROBOTICS	Ручная сортировка	ЭО РСУ
Раздельный мусор	Да	Да	Да	Да
Комбинированный мусор (несколько разных материалов)	Нет	Нет	Да	Да
Влияние характеристик предмета на качество (масса, плотность, ориентация, кучность)	Да	Да	Нет	Нет
Стоимость технологического участка	Высокая	Высокая	Низкая	Низкая

Эффективность	Хорошая	Хорошая	Низкая	Хорошая
Вредные/опасные условия труда	Нет	Нет	Да	Нет
Адекватность условиям России	Нет	Нет	Да	Да

Таблица 6. Сравнение комплексов сортировки ТБО по устройству и способам воздействия

Показатель	Комплекс сортировки				
	ЭО РСУ	ZenRobotics Recycler, ZenRobotic	GREEN EYE, GREEN MACHINE, США	LDS Plastic Color Sorter, MEYER,	TOMRA Autosort, TOMRA SORTING
Средство разделения твердых бытовых отходов	Захватная головка манипулятора с несколькими исполнительным группами	Захватная головка манипулятора типа «клещи»	Пневматические дюзы	Пневматические дюзы	Пневматические дюзы
Тип сортируемы х объектов	Макулатура, пластик, стекло, текстиль, древесина, черные и цветные металлы, инертные материалы	Строительные материалы, дерево, пластик, инертные материалы	Пластик, стекло, металл, пластмассы	Пластиковые частицы (20% примесей) Крышки пластиковых бутылок (Примеси 20%) Пластиковые хлопья для бутылок	Пластмасса, смешанная бумага, картон, металлы
Количество одновремен	1-10	4-8	1-2	1-2	1-2

НО сортируемы х типов объектов					
Режим сортировки ТБО	автоматический	автоматический	полуавтоматический	полуавтоматический	автоматический
Точность выполнения сортировоч ных операций	95%	95%	80%	80%	80%
Влияние положения центра масс сортируемо го объекта	нет	нет	да	да	да

Таблица 7. Сравнение комплексов сортировки ТБО по методам распознавания типа материала и формы объекта

Показатель	Комплекс сортировки
------------	---------------------

	ЭО РСУ	ZenRobotics Recycler, ZenRobotic	GREEN EYE, GREEN MACHINE, США	LDS Plastic Color Sorter, MEYER,	TOMRA Autosort, TOMRA SORTING
Метод исследования твердых веществ	Спектрофотометрия	Спектрометрия	Спектрометрия	Спектрометрия	Спектрометрия
Плотность расположения сортируемого материала	Высокая	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая
Определение местоположения объекта	Система, состоящая из цифровых камер, высокое качество определения местоположения благодаря матрице высокого	Система , состоящая из цифровых камер, предназначенных для создания по меньшей мере двух изображений, сравнения этих изображений с целью получения качественных характеристик движения сортируемого объекта	Линейный сенсор с низким разрешением, как вывод – низкое качество определения местоположения	Линейный сенсор с низким разрешением, как вывод – низкое качество определения местоположения	Линейный сенсор с низким разрешением, как вывод – низкое качество определения местоположения

	разрешения				
Определен ие формы и габаритов объекта	Да, трехмерное сканирование	нет	нет	нет	нет
Формат исследован ия объекта	Трехмерное и двумерное исследование сортируемого объекта	Двумерное исследование сортируемого объекта	Двумерное исследование сортируемого объекта	Двумерное исследование сортируемого объекта	Двумерное исследование сортируемого объекта
Распознава ние связанных объектов	да	нет	нет	нет	нет

Показана способность ЭО РСУ автоматически выделять предметы в видеопотоке и распознавать тип материала на основе обработки спектра отражённого сигнала в ближней инфракрасной зоне; выполнять расчёт и планирование траектории движения исполнительного органа манипулятора на основе решения обратной кинематической и динамической задач; управление движением исполнительных органов манипуляторов, обеспечивая синхронное перемещение захватной головки в соответствии со скоростью движения конвейерной ленты; обеспечивать захват и перемещение объектов массой до 3 кг при помощи вакуумной головки.

В ходе экспериментальных исследований функционала ЭО РСУ было установлено соответствие полученных характеристик и параметров, заданным в ТЗ, подтверждена полнота реализованного функционала ЭО РСУ.

На Этапе 3 проекта проведено обобщение и оценка результатов исследований, проведённых в ходе выполнения ПНИЭР. Показано, что разработанные технические решения имеют хороший потенциал для коммерциализации и вывода продукции на рынки вторичной переработки сырья, сортировки продуктов питания и сервисной робототехники. Выявлено, что разработанные решения конкурентоспособны по сравнению с представленными на рынке отечественными и импортными аналогами.

4.4 Анализ выполнения требований ТЗ на проведение исследований

В соответствии с представленной Formой Д2 «Ведомость соответствия результатов выполнения проекта/работ Техническому заданию/Заданию на выполнение работ» в составе отчётной документации результаты ПНИЭР полностью соответствуют требованиям ТЗ Соглашения №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 года.

Результаты 3 этапа ПНИЭР должны быть использованы Индустриальным партнером при выработке подходов к производству и коммерциализации конкретных применений разработанного ЭО РСУ – автоматизированной роботизированной ячейки для выполнения задач отбора полезных фракций при сортировке твердых бытовых отходов.

4.5 Оценка полноты решения задач и достижения поставленных целей исследований

На Этапе 3 в соответствии с принятыми на Этапе 1 принципами построения ЭО РСУ была разработана конструкция роботизированного сортировочного узла и оформлена ЭКД.

В качестве кинематической схемы манипулятора, в соответствии с проведённым на Этапе 1 анализе схем промышленных манипуляторов был выбран дельта-робот. Основным преимуществом дельта-робота является его высокая скорость перемещения, что является ключевым параметром для решения задачи сортировки объектов, особенно, при работе в составе движущейся конвейерной ленты.

В качестве приводов шарниров дельта-робота используются сервоприводы SS-80, развивающие вращающий момент в 40Нм при максимальной частоте вращения 120 об/мин. На сервоприводы возможна установка рычагов переменной длины для регулировки рабочей зоны манипулятора. С рычагами длиной 350мм, рабочая зона представляет собой цилиндр, диаметром 1000мм и высотой 500мм

Манипулятор имеет 4 управляемых степени свободы. Четвёртая степень свободы реализована в виде поворотного устройства, приводимого в движение при помощи карданного вала от основания робота. Применение карданного вала позволило разместить сервопривод поворотного устройства

рядом с основными приводами и облегчить перемещаемое звено манипулятора.

На Этапе 3 в соответствии с разработанной ПМЭИ были проведены экспериментальные исследования ЭО РСУ. В результате экспериментальных исследований было установлено соответствие полученных характеристик ЭО РСУ требованиям ТЗ.

В ходе экспериментальных исследований были подтверждены следующие гипотезы об облике и архитектуре ЭО РСУ, принятые на Этапах 1 и 2 теоретических исследований о способах управления, планирования траекторий движения манипулятора, планировании заданий для выполнения сортировочных операций, распознавании формы и типов материалов.

В соответствии с проведённым анализом на Этапе 1 технологий оптического распознавания типов материалов оптимальным вариантом для реализации в составе ЭО РСУ является использование комбинированной системы машинного зрения на основе использования спектроскопии в ближней инфракрасной зоне, видимого спектра, а также системы трехмерного зрения для идентификации формы предмета. Такой комплексный подход обеспечил одновременно распознавание предмета и материала, а также определение контактных поверхностей для выполнения захвата при помощи захватной головки манипулятора. Для формирования целеуказаний на позиционирование захватной головки манипулятора необходимо определять геометрические параметры наблюдаемых объектов, параметры движения и расположения в пространстве относительно системы координат, связанной с манипулятором. В качестве такого сенсора выбран трехмерный сенсор глубины. Из рассмотренных выше способов и средств сканирования наиболее подходящими для применения в системе сканирования твёрдых бытовых отходов, являются системы с модулированной или структурированной подсветкой и лазерного сканирования.

В результате разработки алгоритма планирования заданий сортировки на Этапе 2 был реализован программный модуль на основе алгоритма FIFO (первый вошёл – первый вышел).

Таким образом достигнуты все запланированные требования ТЗ и ПГ Соглашения №14.586.21.0029 от «28» июля 2016г., в том числе подтверждено достижение технических параметров разработанных отдельных модулей ЭО РСУ в соответствии с требованиями ТЗ.

4.6 Выводы

Показана способность ЭО РСУ автоматически выделять предметы в видеопотоке и распознавать тип материала на основе обработки спектра отражённого сигнала в ближней инфракрасной зоне; выполнять расчёт и планирование траектории движения исполнительного органа манипулятора на основе решения обратной кинематической и динамической задач; управление движением исполнительных органов манипуляторов, обеспечивая синхронное перемещение захватной головки в соответствии со скоростью движения конвейерной ленты; обеспечивать захват и перемещение объектов массой до 3 кг при помощи вакуумной головки.

В ходе выполнения проекта были достигнуты все запланированные требования ТЗ и ПГ Соглашения №14.586.21.0029 от «28» июля 2016г., в том числе подтверждено достижение технических параметров разработанных отдельных модулей ЭО РСУ в соответствии с требованиями ТЗ. Результаты 3 этапа позволяют позиционировать разработку, как решение, обладающее новизной в сравнении с аналогичными применениями с использованием роботов Sawyer (Rehink robotics), UR-5 (Universal Robotics) и ZenRobotics Recycler (ZenRobotics), а также традиционных комплексов автоматической сортировки TITECH finder (TOMRA SORTING), GREEN EYE (GREEN MACHINE) и LDS Plastic Color Sorter (MEYER), с использованием

пневматического воздействия на предметы воздухом, по ряду ключевых параметров. Наличие комбинированной захватно-анализирующей головки и системы трехмерного технического зрения позволяет извлекать информацию как о форме, так и о материале объекта.

Таким образом, работа выполнена в полном объеме в соответствии с перечнем работ согласно ТЗ и календарному плану Соглашения о предоставлении субсидии №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 года на Этап 3 работ. Достигнуты все запланированные требования ТЗ и ПГ Соглашения №14.586.21.0029 от «28» июля 2016г., в том числе подтверждено достижение технических параметров разработанных отдельных модулей ЭО РСУ в соответствии с требованиями ТЗ.

5 Разработка технико-экономического обоснования разработки продукции

5.1 Оценка конкурентоспособности разработанного ЭО РСУ

Потенциальная продукция на основе разработанных программно-аппаратных решений:

- 1) Автоматическая система сортировки твердых бытовых отходов
- 2) Комбинированная система оптического сканирования и распознавания предметов
- 3) Дельта-робот
- 4) Программное обеспечение роботизированной сортировки ТБО

Исходными данными для оценки конкурентоспособности разработанных решений в ходе реализации проекта исследования морфологии ТБО и представленной продукции на рынке, проведённой на Этапе 1 ПНИЭР и обобщённой на данном этапе:

- 1) Ручная сортировка
- 2) Автоматическая сортировка при помощи пневматического воздействия
- 3) Роботизированная сортировка

Основными характеристиками комплексов автоматической сортировки, фактически, критериями конкурентоспособности разных образцов продукции, является:

- 1) Количество операций в единицу времени, производительность сортировки в тоннах/год

- 2) Сложность обслуживания
- 3) Точность отбора полезных фракций
- 4) Себестоимость владения и норма прибыли, срок окупаемости вложений
- 5) Количество одновременно разделяемых объектов на одной ячейке
- 6) Возможность разделения взаимно перекрывающихся отходов

5.2 Расчёт выручки от оказания работ и услуг

При составлении плана продаж в период 2020-2025 годы исходили из плана равномерного роста количество внедряемых комплексов сортировки ТБО, в том числе, локализованных внутри жилых кварталов. Рекомендованная розничная цена на комплекс РСУ ТБО установлена на уровне 1155 тыс. рублей одну ячейку и программное обеспечение стоимостью 1900 тыс. рублей. В соответствии с планируемым лицензионным соглашением одна копия ПО РСУ ТБО поддерживает работу до 10 комплексов РСУ ТБО.

Информирование конечных потребителей планируется осуществлять посредством проведения рекламных компаний в публичных медиа изданиях и в сети Интернет, ежегодные расходы на маркетинг составляют от 0,3 млн руб до 115 млн руб. в период реализации 2020-2025 гг. (см. табл. 8). К 2025 году планируется выйти на продажи до 4000 комплексов в год и до 300 уникальных лицензий. При разработке финансовой модели учитывается влияние курса валюты и налоговая нагрузка.

Таблица 8. План продаж

ГИПОТЕЗЫ

Параметры	Ед.Изм.	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Объёмы продаж							
Ячейка РСУ ТБО	шт/год	2	20	50	300	1 000	4 000
Уникальные лицензии на ПО РСУ ТБО	шт/год	1	5	10	30	200	300
Продажа аппаратных средств							
Ячейка РСУ ТБО	руб.	1 155 000	1 155 000	924 000	808 500	693 000	693 000
Маржинальность	%	1,50	1,50	1,00	0,75	0,50	0,50
Скидка поставщикам и оптовикам	%	0	0	0	0	0	0
Продажа программного обеспечения							
Прикладное ПО (стоимость 1 лицензии)	руб.	1 900 000	1 900 000	1 900 000	1 900 000	1 900 000	1 900 000
Расходы на маркетинг							
SEO	руб.	300 000	1 000 000	5 000 000	5 000 000	15 000 000	15 000 000
Media	руб.	0	5 000 000	15 000 000	50 000 000	100 000 000	100 000 000
Налоги							
НДС	%	18%	18%	18%	18%	18%	18%
Налог на прибыль	%	13%	13%	13%	13%	13%	13%
Социальные налоги	%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Прочие расходы							
Доля импортных комплектующих (по стоимости)	%	50%	50%	40%	30%	20%	20%
Курс USD	руб/USD	70 P	70 P	70 P	70 P	70 P	70 P
Амортизация							
Амортизация в год	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%

На основании разработанных гипотез об объёмах продаж сформируем таблицу выручки (см. Таблица 9).

Таблица 9. Выручка по годам реализации проекта на основе плана продаж

Параметры	Ед.Изм.	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Выручка							
Потребители							
ЭО РСУ	шт.	2	20	50	300	1 000	4 000
Лицензия на ПО РСУ ТБО	шт.	1	5	10	30	200	300
Доходы							
Продажа комплексов РСУ ТБО	руб.	2 310 000	23 100 000	46 200 000	242 550 000	693 000 000	2 772 000 000
Продажа программного обеспечения	руб.	1 900 000	9 500 000	19 000 000	57 000 000	380 000 000	570 000 000
Итого	руб.	4 210 000	32 600 000	65 200 000	299 550 000	1 073 000 000	3 342 000 000

5.3 Состав и структура затрат

Состав затрат на производство и реализацию продукции регламентировано Положением о составе затрат по производству и реализации продукции (работ, услуг), включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг), и о порядке формирования финансовых результатов учитываемых при налогообложении прибыли, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 5 августа 1992 г. № 552 (с учетом

изменений и дополнений, внесенных постановлениями Правительства РФ № 661 от 1 июля 1995 г. и № 1120 от 13 ноября 1995 г.). В соответствии с этим положением затраты на производство и реализацию продукции (работ, услуг), исходя из их экономического содержания, объединяются в пять групп:

- 1) материальные затраты (за вычетом стоимости возвратных отходов);
- 2) затраты на оплату труда;
- 3) капитальные затраты на приобретение производственного и лабораторного оборудования и прочие затраты на обеспечение рабочих мест
- 4) отчисления на социальные нужды

В состав материальных затрат включаются покупные сырье и материалы, необходимые для оказания складских услуг и проведения погрузочно-разгрузочных работ в полном объеме.

На основании предварительного анализа производственных возможностей Индустриального партнёра и ЭКД на ЭО РСУ сформированы исходные данные о себестоимости производства. При расчёте себестоимости принимаются розничные цены на материалы и комплектующие на период коммерциализации 2020-2025 (см. Таблица 10). Расчётная себестоимость одного комплекса РСУ ТБО составляет 462 тыс. рублей. Часть расходов рассчитана исходя из стоимости заказного производства печатных плат, стоимости режущего инструмента, оплаты труда оператора, сборщика и упаковщика.

Таблица 10. Себестоимость комплектующих

ПРОИЗВОДСТВО

ЭО РСУ		2020	2021	2022	2023	2024	2025
Материалы и комплектующие							
Конструкционные материалы	руб.	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
Электродвигатели	руб.	50 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
Электронные модули управления приводам	руб.	10 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
Система технического зрения	руб.	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000
Спектрофотометр БИК	руб.	90 000	90 000	90 000	90 000	90 000	90 000
Центральный вычислительный модуль	руб.	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Аккумулятор	руб.	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000
Провода	руб.	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
Детали шасси	руб.	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Детали корпуса	руб.	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
Прочие детали (подшипники, крепёж и пр.)	руб.	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
ИТОГО Материалы		420 000					
Затраты на производственные операции							
Производство деталей конструкций	руб.	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
Производство электронных модулей	руб.	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000
Сборка и отладка	руб.	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
Упаковка	руб.	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
ИТОГО Изготовление	руб.	42 000					
ИТОГО		462 000					

Производительность изготовления деталей и узлов рассчитана в результате анализа производительности оборудования при обработке заготовок на 60% от максимальной скорости подачи (см. Таблица 11).

Таблица 11. Производительность изготовления деталей и узлов

			2020	2021	2022	2023	2024	2025
		Норма						
Потребность в механобработке								
PCY TBO	шт.	1	2	20	50	300	1000	4000
Потребность в монтаже и сборке								
PCY TBO	чел-час.	16	32	320	800	4800	16000	64000
Исходные данные								
Производительность линии в год	шт./мес	10	120	120	120	120	120	120
Площадь производственного участка	кв.м.	20	20	20	20	20	20	20
Длительность смены	час/мес	160	160	160	160	160	160	160
Количество линий на одного оператора	шт.	2	2	2	2	1	1	1
Площадь рабочего участка	кв.м.	10	10	10	10	10	10	10
Аренда производственной площади	руб/кв.м*год		14 000	14 980	16 029	17 151	18 351	19 636
Аренда офиса и лаборатории	руб/кв.м*год		18 000	19 260	20 608	22 051	23 594	25 246
Стоимость производственного участка	руб		3 300 000	3 300 000	3 300 000	3 300 000	3 300 000	3 300 000
Итого								
Общее производственных участков	шт.		1	1	1	3	9	34
Количество новых производственных участков	шт.		1	0	0	2	6	25
Количество рабочих	чел.		1	2	5	30	100	400
Количество операторов ЧПУ	чел.		1	0	0	2	6	25
Производственная площадь	кв.м		20	20	20	60	180	680
Площадь рабочей зоны	кв.м		10	20	50	300	1 000	4 000

В соответствии с разработанной финансовой моделью штатное расписание (см. Таблица 12) формируется для обеспечения необходимой производительности выпуска готовой продукции.

Таблица 12. Штатное расписание

ФОНД ОПЛАТЫ ТРУДА

Параметры	Ед.Изм.	2020			2021			2022			2023			2024			2025		
		Кол.	Ставка	Итого за год	Кол.	Ставка	Итого за год	Кол.	Ставка	Итого за год	Кол.	Ставка	Итого за год	Кол.	Ставка	Итого за год	Кол.	Ставка	Итого за год
Административный персонал																			
Генеральный директор	руб.	1	1 500 000	1 800 000	1	1 500 000	1 800 000	1	1 500 000	1 800 000	1	250 000	3 000 000	1	750 000	9 000 000	1	750 000	9 000 000
Финансовый директор	руб.				1	120 000	1 440 000	1	120 000	1 440 000	1	160 000	1 920 000	1	450 000	5 400 000	1	450 000	5 400 000
Технический директор	руб.				1	140 000	1 680 000	1	140 000	1 680 000	1	220 000	2 640 000	1	750 000	9 000 000	1	750 000	9 000 000
Отдел разработки и сервисного обслуживания																			
Инженеры	руб.	2	45 000	1 080 000	2	90 000	2 160 000	2	90 000	2 160 000	3	150 000	5 400 000	4	150 000	7 200 000	5	150 000	9 000 000
Программисты	руб.	2	45 000	1 080 000	2	95 000	2 280 000	2	95 000	2 280 000	4	140 000	6 720 000	8	140 000	13 440 000	10	140 000	16 800 000
Производство																			
Технолог	руб.	1	45 000	540 000	1	45 000	540 000	1	50 000	600 000	1	55 000	660 000	1	60 000	720 000	2	65 000	1 560 000
Оператор станка	руб.	1	40 000	480 000	1	40 000	480 000	1	45 000	540 000	2	50 000	1 200 000	3	55 000	1 980 000	4	60 000	2 880 000
Сборка	руб.	1	30 000	360 000	1	30 000	360 000	2	35 000	840 000	8	40 000	3 840 000	12	45 000	6 480 000	20	50 000	12 000 000
Контроль качества	руб.	1	45 000	540 000	1	45 000	540 000	1	50 000	600 000	2	55 000	1 320 000	3	60 000	2 160 000	4	65 000	3 120 000
Отдел продаж																			
Менеджер по работе с партнерами	руб.				0	50 000	0	1	50 000	600 000	1	50 000	600 000	1	50 000	600 000	1	50 000	600 000
Менеджеры по работе с клиентами	руб.				1	50 000	600 000	1	50 000	600 000	2	50 000	1 200 000	2	50 000	1 200 000	3	50 000	1 800 000
Итого	руб.		5 880 000			11 880 000			13 140 000			28 500 000			57 180 000			71 160 000	

В статью «Капитальные затраты» (см. Таблица 13) входят расходы на обеспечение требуемых расчётных производственных мощностей и амортизацию.

Таблица 13. Капитальные затраты

КАПИТАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ

Параметры	Ед.Изм.	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Оборудование и производство							
Компьютеры	руб.	480 000	480 000	700 000	900 000		
Производственное оборудование	руб.	3 300 000	0	0	6 600 000	19 800 000	82 500 000
Лабораторное оборудование	руб.	1 500 000		2 500 000			
Прочие капитальные расходы							
Сертификация	руб.		200 000	500 000	500 000		
Подготовка и подача международных патентов, поддержка	руб.	200 000	200 000	500 000	600 000	900 000	1 500 000
Амортизация							
Амортизация оборудования	руб.	378 000	48 000	118 000	868 000	2 848 000	11 098 000
Лицензионное ПО							
САПР	руб.	1 200 000	2 400 000				
Офисные приложения	руб.	90 000	180 000	180 000	180 000	180 000	180 000
Итого	руб.	7 058 000	3 328 000	4 318 000	9 468 000	23 548 000	95 098 000

Переменные издержки приведены в сводной таблице «Операционные затраты» (см. Таблица 14), сюда входят расходы на выплату заработной платы сотрудника, налоговые отчисления на социальные нужды, оплата покупных изделий и материалов.

Таблица 14. Операционные затраты

ОПЕРАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ

Параметры	Ед.Изм.	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Затраты на маркетинг и рекламу							
Маркетинг	руб.	300 000	6 000 000	20 000 000	55 000 000	115 000 000	115 000 000
Зарплата							
Зарплата	руб.	5 880 000	11 880 000	13 140 000	28 500 000	57 180 000	71 160 000
Налоги на зарплату	руб.	1 775 760	3 587 760	3 968 280	8 607 000	17 268 360	21 490 320
Аренда							
Аренда	руб.	460 000	684 800	1 350 982	7 644 268	26 897 534	114 336 017
Производство продукции							
Комплектующие	руб.	924 000	8 400 000	21 000 000	126 000 000	420 000 000	1 680 000 000
Производственные операции	руб.	84 000	840 000	2 100 000	12 600 000	42 000 000	168 000 000
Итого	руб.	9 423 760	31 392 560	61 559 262	238 351 268	678 345 894	2 169 986 337

Представим итоговые финансовые показатели в сводной Таблица 15.

Таблица 15. Финансовые показатели

Показатели

Параметры	Ед.Изм.	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Выручка	руб.	4	32 600 000	65 200 000	299 550 000	1 073 000 000	3 342 000 000
Операционные затраты	руб.	-9 423 760	-31 392 560	-61 559 262	-238 351 268	-678 345 894	-2 169 986 337
Капитальные затраты	руб.	-7 058 000	-3 328 000	-4 318 000	-9 468 000	-23 548 000	-95 098 000
Налоги	руб.	1	-5 868 000	-11 736 000	-53 919 000	-193 140 000	-601 560 000
ЕБИТДА	руб.	-9 423 756	26 732 000	53 464 000	245 631 000	879 860 000	1 172 013 663
ЕБИТ	руб.	-16 481 756	23 404 000	49 146 000	236 163 000	856 312 000	1 076 915 663
PROFIT (LOSS)	руб.	-16 481 757	29 272 000	60 882 000	290 082 000	1 049 452 000	1 678 475 663
PROFIT (LOSS) COMMULATIVE	руб.	-16 481 757	12 790 243	73 672 243	363 754 243	1 413 206 243	3 091 681 906

На основании финансовых показателей выделим денежный поток по годам реализации и рассчитаем инвестиционную привлекательность проектов на основе показателей внутренней нормы рентабельности и чистого дисконтированного дохода. Примем наихудшие условия, когда ставка дисконтирования равна 50% (см. Таблица 16) и оценим инвестиционную привлекательность проекта (см. Таблица 17).

Таблица 16. Денежный поток

2020	2021	2022	2023	2024	2025
------	------	------	------	------	------

-16481756	29272000	60882000	290082000	1049452000	1678475663
-----------	----------	----------	-----------	------------	------------

Таблица 17. Инвестиционная привлекательность проекта

Ставка дисконтирования	50%
Чистый дисконтированный доход (NPV), руб	362 916 527
Внутренняя норма доходности (IRR)	346 %

Как видно из таблицы 15, при наихудших условиях (ставка дисконтирования равна 50%) полученные значения чистого дисконтированного дохода (362 млн. руб) и внутренней нормы доходности (346%) могут представлять интерес не только традиционных инвесторов, но и венчурных, т.е. высоко рискованных с ожидаемым доходом на инвестиции до 10 раз.

5.4 Выводы

В результате проведённых исследований показано, что на основе разработанных программно-аппаратных решений может быть получена следующая потенциальная продукция:

- 1) Ячейка автоматической сортировки твердых бытовых отходов
- 2) Комбинированная система оптического сканирования и распознавания предметов
- 3) Дельта-робот
- 4) Программное обеспечение роботизированной сортировки ТБО

Разработана финансовая модель производства ячеек автоматизированной сортировки при помощи роботов-манипуляторов. В результате разработки технико-экономического обоснования разработки продукции на основе полученных в результате проекта технических решений показана конкурентоспособность разработанных решений и разработана финансовая модель производства и реализации продукции в период 2020-2025 годы. На основании предварительного анализа производственных возможностей Индустриального партнёра и ЭКД на ЭО РСУ сформированы исходные данные о себестоимости производства. Показано, что разработанные технические решения имеют хороший потенциал для коммерциализации и вывода продукции на рынки вторичной переработки сырья, сортировки продуктов питания и сервисной робототехники и могут представлять интерес не только для традиционных инвесторов, но и венчурных, т.е. высоко рискованных, с ожидаемым доходом на инвестиции до 10 раз.

Таким образом, в результате проведённых работ была проведена разработка технико-экономического обоснования разработки решений на основе ЭО РСУ в соответствии ТЗ и перечнем работ согласно календарному плану Соглашения №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 на Этап 3 работ. Показано, что разработанные технические решения имеют хороший потенциал для коммерциализации и вывода продукции на сегмент рынка средств автоматизации сортировки твердых бытовых отходов. Сравнительный анализ показал, что разработанные решения конкурентоспособны по сравнению с представленными на рынке отечественными и импортными аналогами.

6 Разработка рекомендаций по использованию результатов, проведенных исследований в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках

Разработанный роботизированный сортировочный узел обладает следующими конструктивными, технологическими и технико-эксплуатационными характеристиками:

1) выделение отдельных предметов на изображении, распознавание формы и материалов объектов (пластик, бумага, картон, металл, древесина, текстиль) при помощи интеллектуальной обработки данных от комбинированной системы технического зрения

2) формирование траекторий движения исполнительного органа манипулятора, захват движущихся объектов и перемещение в рабочей зоне

3) грузоподъемность до 3 кг

4) рабочая зона представляет собой цилиндр, диаметром 1000мм и высотой 500мм

5) скорость движения исполнительного органа манипулятора - до 600 мм/с;

6) скорость движения конвейерной ленты - до 300 мм/с

7) масса без учета массы транспортного ленточного конвейера – 40 кг

Разработанный ЭО РСУ должен стать основой для применения в следующих областях:

1) Сортировка твердых бытовых отходов по типу материала

2) Фасовка готовой продукции (фрукты, овощи, детали, заготовки)

3) Упаковка готовой продукции в короба

- 4) Позиционирование и ориентация деталей и заготовок
- 5) Визуальный контроль качества и отбраковка пищевой продукции
- 6) Калибровка овощей и фруктов
- 7) Выполнение операций с химическими реактивами и препаратами

В научно-технологическом плане разработанные решения проекта представляют большой задел в прикладной отечественной науке и даст возможность решать сходные научно-прикладные задачи как в смежных областях применения, например для сортировки отходов других типов, так и для более отдаленных, например сортировки разных видов объектов в других отраслях (продовольственные товары в магазинах, овощи или фрукты на складах, для автоматизации некоторых производств, где важна сортировка объектов по категориям исходя из их свойств).

«Программа распознавания материалов объектов на основе обработки спектра отражённого сигнала в ближней ИК зоне». Программа предназначена для предварительной обработки и подготовки данных, полученных от спектрометра ближней инфракрасной зоны, формированию указаний учителя и настройки алгоритма обучения многослойных искусственных нейронных сетей. Программа осуществляет распознавание спектральной плотности принятого сигнала и сопоставляет с ранее известными образцами с целью определения принадлежности типу материала. Осуществляет распознавание типов материалов посредством обработки сигналов в ближней инфракрасной зоне. Программа может быть широко использована для решения задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов. Программное

обеспечение, будучи программой для ЭВМ, может быть отнесено к изобретениям как неотъемлемая часть программно-аппаратного комплекса.

«Программа управления роботизированным комплексом сортировки твердых бытовых отходов».

Программа предназначена для расчёта траекторий движения дельта-робота при выполнении манипуляций с движущимися объектами на конвейерной ленте. Программа осуществляет синхронизацию скорости перемещения исполнительного органа и осуществляет переключение между вакуумным схватом, трехпалой захватной головкой и спектрометром ближней инфракрасной зоны. Может быть использована для управления роботизированными комплексами автоматической сортировки твердых бытовых отходов.

6.1 Выводы

Показано, что разработанные алгоритмы и программные модули могут быть широко использованы при решении задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов. В том числе при первичной сортировке твердых бытовых отходов в домашних хозяйствах, на ранних стадиях цепочки создания ценности вторичной переработки.

Таким образом, работа выполнена в полном объеме в соответствии с перечнем работ согласно ТЗ и календарному плану Соглашения о предоставлении субсидии №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 года на Этап 3 работ.

7 Разработка технических требований и предложений по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей, и особенностей индустриального партнера - организации реального сектора экономики

7.1 Технические требования и предложения по разработке продукции

Разработанные программно-аппаратные решения в ходе выполнения проекта представляют собой комплекс взаимосвязанных компонентов, которые, будучи использованными вместе реализуют функционал роботизированной сортировки ТБО по типам материалов. Однако, отдельно взятые модули могут быть использованы в качестве самостоятельных продуктов, таких как:

- 1) Программный комплекс управления сортировкой ТБО, в том числе, с использованием манипуляторов сторонних производителей
- 2) Программный комплекс распознавания объектов и классификации по типам материалов - может быть широко использована для решения задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов.
- 3) Захватно-анализирующая головка с переключением инструмента (вакуумный захват, пальцевый захват, сенсор БИК)

Роботизированный сортировочный узел представляет собой законченное решение в виде отдельной ячейки.

7.2 Технические требования и предложения по производству продукции

В распоряжении Индустриального партнёра имеется следующее производственное и лабораторное оборудование:

а) Фрезерный центр WEIDA XH7132 с ЧПУ Fanuc, автоматической сменой инструмента (до 16 штук);

Таблица 18. Основные технические характеристики.

№	Параметр	Значение
1	Размер рабочего стола	920x320 мм
2	Перемещение стола X/Y	620x350 мм
3	Вертикальное перемещение Z	500 мм
4	T-образный паз / расстояние, 3	14 / 85 мм
5	Расстояние шпиндель-стол	100-600 мм
6	Расстояние шпиндель-стойка	395 мм
7	Максимальная нагрузка на стол	300 кг
8	Конус шпинделя	BT-40
9	Частота вращения шпинделя	до 12000 об/мин
10	Мощность двигателя	3,7 кВт
11	Скорость подачи X/Y/Z	2,5-3000 мм/мин
12	Ускоренное перемещение X/Y/Z	18 (24) м/мин
13	Инструментальный магазин	16 инструментов
14	Тип инструментального магазина	зонтик
15	Максимальная масса инструмента	8 кг
16	Габаритные размеры инструмента	Ø130 мм
17	Точность позиционирования	±0,015 мм
18	Повторяемость	±0,0075 мм
19	Давление воздуха	5 МПа
20	Габаритные размеры (ДxШxВ)	2230x2080x2460 мм
21	Масса	2720 кг

Особенности:

- Система ЧПУ Fanuc 0i MATE MD
- Частота вращения шпинделя 6000 об/мин
- Высокоточные линейные направляющие по трем координатам
- Инструментальный магазин на 16 позиций
- Ленточный транспортер отвода стружки
- Автоматическая система подвода СОЖ
- Автоматическая система смазки
- Автоматическое автоотключение

Дополнительное оснащение:

- Прецизионная (1 мкм) 3D измерительная головка Renishaw OMP60 для контроля заготовок и деталей
- Контактный датчик для наладки инструмента Renishaw TS27R

б) Проволочный электроэрозионный ЧПУ станок HanQi HQ32GZ-AS

Таблица 19. Основные технические характеристики.

№	Параметр	Значение
1	Размер рабочего стола	740×470 мм
2	Перемещение стола X/Y	400×320 мм
3	Вертикальное перемещение Z	300 мм
4	Диаметр проволоки	0.12-0.20 мм
5	Максимальная нагрузка на стол	500 кг
6	Максимальный ток	10 А
7	Максимальная скорость реза	200 кв.мм/мин

8	Точность позиционирования	±0,001 мм
9	Шероховатость поверхности (Ra)	0,7 мкм
10	Точность многопроходной обработки	±0,0025 мм
11	Габаритные размеры (ДхШхВ)	1680×1200×2300 мм
12	Масса	2000 кг

в) Супердрель Д-703.1 (HanQi HQ-703)

Таблица 20. Основные технические характеристики.

№	Параметр	Значение
1	Размер рабочего стола	440×320 мм
2	Перемещение рабочего стола	350×250 мм
3	Перемещение шпинделя	300 мм
4	Минимальное / максимальное расстояние между шпинделем и рабочим столом	50 / 350 мм
5	Управляемые ЧПУ оси	Z
6	Диаметр электрода	0,3~3,0 мм
7	Максимальный рабочий ток	30 А
8	Рабочая жидкость	Вода
9	Наибольшее соотношение глубины отверстия к диаметру	300:01:00
10	Питание	3,5 кВт
11	Габаритные размеры (ДхШхВ)	920×950×1750 мм
12	Масса	600 кг

г) Фрезерный станок с ЧПУ LTT-P6090

Таблица 21. Основные технические характеристики.

№	Параметр	Значение
1	Размер стола, мм	780×1320
2	Рабочая зона	600×900×100 мм
3	Точность позиционирования	0,030 мм
4	Частота вращения шпинделя	0-18000 об/мин
5	Мощность шпинделя, кВт	1,5
6	Цанги	ER16-6, ER16-8
7	Максимальная скорость перемещения,	15 м/мин
8	Максимальная скорость подачи X/Y/Z	600 мм/мин
9	Рабочее напряжение, В	220
11	Габаритные размеры, мм	1780x1180x1670
10	Масса, кг	250

- д) Фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ Реабин МШ-2.2
- е) Паяльная станция Weller WD-1M с микропаяльником WMRT для пайки поверхностно-монтируемых компонентов размера 0201 и крупнее
- ж) Термовоздушная паяльная станция AOYUE 852A++ с вакуумным пинцетом
- з) Осциллограф TLA721 с дополнительным оборудованием (модуль 136-канального логического анализатора TLA 7N4 и модуль 4-канального аналогового осциллографа TLA 7E2)
 Назначение: анализ аналоговых и цифровых сигналов, проведение отладки и настройки цифровых протоколов обмена данными, проверка силовых каскадов, контроль рабочих точек усилителей и транзисторов.
- и) Мультиметр Mastech MS8268

Назначение: измерение напряжения, потребляемого тока, сопротивления проводников и резисторов

к) Лабораторный блок питания Mastech NY3005D-3

Таблица 22. Основные технические характеристики.

№	Параметр	Значение
1	Выходное напряжение, В	0 - 30
2	Выходной ток, А	0 - 5
3	Погрешность измерения выходного напряжения	1 %
4	Погрешность измерения выходного тока	2 %
5	Питание, В	220В

л) Стабилизированный источник питания MEANWEL RSP-3000-24

м) Лабораторный блок питания RIGOL DP831

Производственное и лабораторное оборудование Индустриального партнёра позволяет изготавливать опытные партии продукции, полностью реализуя необходимые потребности как по механообработке заготовок при изготовлении деталей и узлов посредством ЧПУ фрезерования и электроэрозионной обработки заготовок. Наличие в комплекте с вертикальным обрабатывающим центром автомата замены используемого инструмента (до 16) позволяет выполнять сложную последовательную обработку деталей. для постановки на производство, изготовления, настройки и отладки ЭО РСУ и выпуска продукции небольшими опытными партиями.

Таким образом, технологические возможности Индустриального партнёра являются оптимальными для постановки на производство роботизированной сортировочной.

7.3 Технические требования и предложения по эксплуатации продукции

5.4 Требования надежности

5.4.1 Требования по безотказности

PCY ТБО должен удовлетворять следующим требованиям:

- 1) вероятность безотказной работы 0,90, не менее;
- 2) средняя наработка на отказ 1000 часов, не менее;

5.4.2 Требования по долговечности

Разрабатываемый PCY ТБО должен удовлетворять следующим требованиям:

- 1) ресурс между средними (капитальными) ремонтами 1 год, не менее;
- 2) ресурс до списания 4000 час., не менее;
- 3) срок службы до списания 2 лет, не менее;

5.6 Требования по эргономике и технической эстетике

5.6.1 Все средства отображения информации, органы управления и внутреннего контроля разрабатываемого РСУ ТБО должны быть скомпонованы на лицевых панелях управления.

5.6.2 Кодирование и компоновка средств отображения информации, органов управления на панелях управления, цветовое оформление лицевых панелей пультов разрабатываемого РСУ ТБО должны обеспечивать безошибочность и быстроедействие операторов, удобство и безопасность работы в любое время суток.

5.6.3 По эргономике и технической эстетике разрабатываемое Изделие должно соответствовать требованиям ГОСТ 20.39.108.

5.7 Требования к эксплуатации, удобству технического обслуживания и ремонта

5.7.1 Требования к стойкости к внешним воздействующим факторам

Требования не устанавливаются.

5.7.2 Требования к эксплуатационным показателям

5.7.2.1 РСУ ТБО должен функционировать в следующих режимах:

1) основной – полное функционирование манипулятора, конвейерной ленты и системы машинного зрения.

2) аварийный – автоматический безопасный останов функционирования.

5.7.2.2 Должна быть обеспечена аварийная остановка РСУ ТБО при возникновении следующих ситуаций:

1) превышение предельного значения потребляемого тока одним или несколькими приводами исполнительных групп звеньев;

2) превышение предельного значения температуры внутри корпуса;

5.7.2.3 Периодическое техническое обслуживание разрабатываемого РСУ ТБО должно проводиться не реже одного раза в год.

5.7.2.4 Периодическое техническое обслуживание должно включать в себя обслуживание всех составных частей РСУ ТБО.

5.7.2.5 К обслуживанию комплекса должны допускаться лица, имеющие квалификационную группу по технике безопасности не ниже третьей и имеющие допуск к работе с электроустановками напряжением до 1000 В.

5.7.2.6 Гарантийный срок разрабатываемого Комплекса должен составлять 3 лет, не менее.

5.7.3 Требования по ремонтпригодности

5.7.3.1 Обслуживание и ремонт РСУ ТБО должны производиться без применения специальных инструментов.

5.7.3.2 Требования к ЗИП

1) При поставке нескольких устройств из разрабатываемой линейки и/или нескольких однотипных устройств должен поставляться комплект ЗИП-Г. Окончательный расчет комплекта ЗИП-Г должен быть произведен на этапе технического проекта.

5.8 Требования безопасности

5.8.1 Технические средства разрабатываемого АПК по требованиям защиты человека от поражений электрическим током должны относиться к классу 1 и должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 12.2.007-0-75.

5.8.2 Требования безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте разрабатываемого Комплекса должны быть приведены в эксплуатационной документации.

5.8.3 По санитарно-химической и токсикологической безопасности РСУ ТБО должен соответствовать ГОСТ Р 52770-2007.

5.9 Требования к упаковке и маркировке

5.9.1 Требования к упаковке

5.9.1 Упаковка должна быть обеспечивать защиту от влаги и ударных воздействий

5.9.2 Методы и средства к консервации и упаковки должны соответствовать требованиям ГОСТ 9.014-78 и обеспечивать сохраняемость без обслуживания в режимах и сроках, соответствующих п. 5.4.2 настоящего технического задания.

5.9.2 Требования к маркировке

5.9.2.1 Маркировка должна наноситься на несъемных частях в местах, доступных для обзора.

5.9.2.2 Надписи, цифры, буквы и знаки, нанесенные при маркировке, должны быть хорошо видны, и сохранять четкость в течение всего срока эксплуатации.

5.9.2.3 Маркировка упаковки для транспортирования должна содержать основные, дополнительные, информационные надписи и манипуляционные знаки “Штабелирование ограничено”, “Хрупкое. Осторожно”, “Беречь от влаги”.

5.10 Требования к консервации, хранению и транспортированию

5.10.1 Составные части разрабатываемого Комплекса должны храниться в упакованном виде в отапливаемых и вентилируемых помещениях при температуре от 5 до 35 °С и относительной влажности воздуха не выше 80 % (при температуре 25 °С) при отсутствии в этих помещениях конденсации влаги, паров химически активных веществ и источников электромагнитных полей;

5.10.2 Срок хранения разрабатываемого РСУ ТБО в условиях отапливаемых хранилищ в соответствии с паспортными данными на аппаратуру, но не менее 2 лет.

5.10.3 Манипулятор в составе РСУ ТБО должен транспортироваться в упаковке в пассажирском салоне автомобильного, крытых вагонах или контейнерах железнодорожного или морского транспорта, а также в герметичных отсеках авиационного транспорта на расстояние:

- воздушным транспортом на любое расстояние;
- железнодорожным транспортом до 10000 км;
- автомобильным транспортом до 1000 км со скоростью не более 60 км/час по шоссейным дорогам с твердым покрытием и до 500 км со скоростью не более 20 км/час по грунтовым дорогам."

5.10.4 Условия транспортирования:

- температура окружающей среды: от минус 50 до 50 °С;
- относительная влажность до 95 % при температуре 30 °С;

- атмосферное давление от 84 до 107 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.);
- воздействие ударных нагрузок многократного действия с пиковым ускорением не более 15g (147 м/с²) при длительности действия ударного ускорения 10–15 мс.

5.10.5 Гарантийный срок хранения манипулятора в составе РСУ ТБО в заводской упаковке в отапливаемом помещении - не менее одного года.

5.10.6 На Манипулятор захвата в составе РСУ ТБО должна быть прикреплена таблица, на которой должно быть указано следующее:

- 1) наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;
- 2) наименование прибора и обозначение модели;
- 3) порядковый номер версии;
- 4) дата выпуска.

5.11 Требования стандартизации, унификации и каталогизации

Требования не устанавливаются.

6 Требования по видам обеспечения

6.1 Требования по метрологическому обеспечению

6.1.1 Метрологическое обеспечение манипулятор в составе РСУ ТБО должно включать в себя совокупность организационных мероприятий, технических средств, требований, положений, правил, норм и методик, необходимых для обеспечения единства измерений и требуемой точности измерений и вычислений.

6.1.2 Метрологическое обеспечение манипулятора в составе РСУ ТБО должно отвечать требованиям ГОСТ 8.009.

6.1.3 Испытательное оборудование должно быть аттестовано по ГОСТ Р 8.568-97.

6.1.4 На этапах 2 и 4 Календарного плана выполнения ОКР должна быть проведена метрологическая экспертиза технической документации в соответствии с требованиями РМГ 63-2003. Документы по результатам метрологической экспертизы должны быть оформлены установленным порядком и включены в состав отчетной документации, предъявляемой Заказчику.

8 Специальные требования

8.1 Требования к испытаниям

8.1.1 Для подтверждения и проверки выбранных конструктивно-схемных, конструктивно-технологических и технических решений, а также требований надежности и других, предъявляемых к опытному образцу разрабатываемого Комплекса, его составным частям (сборочным единицам) должны быть изготовлены и испытаны следующие макеты:

1) на этапе Эскизного проекта:

а) макет манипулятора в составе РСУ ТБО

б) макет захватной головки в составе РСУ ТБО

2) на этапе Технического проекта:

а) макет РСУ ТБО;

8.1.2 Испытания макетов должны быть проведены по утвержденным программам и методикам головного исполнителя ОКР.

8.1.3 Для подтверждения соответствия разрабатываемой продукции требованиям настоящего технического задания и нормативно-технической

документации должны быть проведены следующие испытания опытного образца разрабатываемого Комплекса:

1) предварительные испытания с целью предварительной оценки соответствия опытного образца требованиям настоящего технического задания, а также для определения готовности опытного образца к приемочным испытаниям;

2) государственные приемочные испытания с целью оценки всех определенных настоящим техническим заданием характеристик РСУ ТБО, проверки и подтверждения соответствия опытного образца требованиям настоящего технического задания в условиях, максимально приближенных к условиям реальной эксплуатации РСУ ТБО, а также для принятия решений о возможности его промышленного производства и реализации.

8.1.4 Для проведения испытаний должно быть изготовлено следующее количество опытных образцов разрабатываемого РСУ ТБО:

1) для предварительных испытаний – 1 шт.;

2) для государственных приемочных испытаний - 1 шт.

8.1.5 Предварительные испытания опытного образца должны быть проведены по утвержденной программе и методикам головного исполнителя ОКР.

8.1.6 Государственные приемочные испытания опытного образца должны быть проведены по утвержденной программе и методикам головного исполнителя ОКР, согласованным с Заказчиком.

8.1.7 Для обеспечения испытаний должны быть разработаны следующие средства:

1) испытательный стенд, предназначенный для проверки характеристик разрабатываемого РСУ ТБО по п.п. 5.2.2 настоящего технического задания;

2) отладочный стенд, предназначенный для настройки и отладки программного обеспечения из состава разрабатываемого РСУ ТБО

7.4 Выводы

Разработаны технические требования и предложений по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера - организации реального сектора экономики.

Разработанные программно-аппаратные решения в ходе выполнения проекта представляют собой комплекс взаимосвязанных компонентов, которые, будучи использованными вместе реализуют функционал роботизированной сортировки ТБО по типам материалов. Однако, отдельно взятые модули могут быть использованы в качестве самостоятельных продуктов, таких как:

- 1) Программный комплекс управления сортировкой ТБО, в том числе, с использованием манипуляторов сторонних производителей
- 2) Программный комплекс распознавания объектов и классификации по типам материалов - может быть широко использована для решения задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов.
- 3) Захватно-анализирующая головка с переключением инструмента (вакуумный захват, пальцевый захват, сенсор БИК)

Показано, что производственное и лабораторное оборудование Индустриального партнёра позволяет изготавливать опытные партии продукции, полностью реализуя необходимые потребности как по

механообработке заготовок при изготовлении деталей и узлов посредством ЧПУ фрезерования и электроэрозионной обработки заготовок. Наличие в комплекте с вертикальным обрабатывающим центром автомата замены используемого инструмента (до 16) позволяет выполнять сложную последовательную обработку деталей. для постановки на производство, изготовления, настройки и отладки ЭО РСУ и выпуска продукции небольшими опытными партиями.

Таким образом, работа выполнена в полном объеме в соответствии с перечнем работ согласно ТЗ и календарному плану Соглашения о предоставлении субсидии №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 года на Этап 3 работ.

8 Разработка комбинированной системы машинного зрения на основе трехмерных сенсоров глубины и спектрометра в ближней инфракрасной области (КСМЗ) и эскизной конструкторской документации (ЭКД) на КСМЗ.

8.1 Разработка КСМЗ

Для формирования целеуказаний на позиционирование захватной головки манипулятора необходимо определять геометрические параметры наблюдаемых объектов, параметры движения и расположения в пространстве относительно системы координат, связанной с манипулятором. Наиболее подходящими для применения в системе сканирования твёрдых бытовых отходов, являются системы с модулированной или структурированной подсветкой и лазерного сканирования. В качестве такого сенсора может использоваться сенсор глубины eAP87606C01 компании Etron, представляющий собой стереокамеру с базой (расстояние между оптическими осями) в 6 см и встроенным микропроцессором трехмерной стерео реконструкции. Как правило, слабым местом сенсоров на основе стереокамер является их чувствительность к контрастности изображений объектов, обусловленная необходимостью поиска соответствующих (одинаковых) точек на левом и правом изображениях, что приводит к тому, что однородные предметы (например, лист белой бумаги или фрагмент стены) на получаемом облаке трехмерных точек представлены случайными фрагментами с пропусками. Однако, особенностью сенсора eAP87606C01 является наличие специального модуля структурированной инфракрасной подсветки, который может быть активирован программно. Модуль подсветки состоит из пары излучателей, формирующих сетку из вертикальных полосок. Модули расположены взаимно перпендикулярно друг относительно друга, что позволяет создать множество перекрестий в зоне видимости камер, которые представляют собой дополнительное облако особых уникальных точек.

Использование комбинации компонентов системы машинного зрения, извлекающей информацию об изображении, геометрической форме, габаритах и материале предметов позволяет использовать алгоритмы обработки и распознавания изображений для идентификации предметов и их принадлежности к известным классам. Система машинного зрения в составе робота манипулятора предназначена так же для формирования целеуказаний для захвата и перемещения объектов.

8.2 Разработка ЭКД на КСМЗ

Для комбинированной системы машинного зрения был разработан комплект эскизной конструкторской документации (см. ЭКД на КСМЗ, представленную отдельным документом) в составе:

- а) Чертежи общего вида;
- б) Габаритный чертеж;
- в) Схема функциональная;
- г) Схема структурная;
- д) Схема соединений и подключения в соответствии с ГОСТ 2.701-84.

8.3 Выводы

Таблица 23. Соответствие параметров разработанной КСМЗ и пунктов ТЗ

№	Пункт ТЗ	Исходные требования	Достигнутые значения
1	4.3.12.а	Система машинного трехмерного зрения видимого	1 шт, стереокамера

		диапазона (СМТЗВД) в количестве не менее 1 шт;	
2	4.3.12.б	Система спектрометрии в ближнем инфракрасном диапазоне (ССБИД) в количестве не менее 1 шт;	1 шт, DLPNIRNANO
3	4.3.13.а	Сенсор глубины на основе стереоскопического эффекта, либо активного сканирующего устройства	Стереокамера
4	4.3.13.б	Возможные интерфейсы обмена данными: USB, Ethernet;	USB 2.0
5	4.3.14.а	Разрешение изображения: не менее 640x480 пикселей;	До 1280x720
6	4.3.14.б	Минимальная дальность обнаружения: не более 300 мм;	от 250 мм
7	4.3.14.в	Максимальная дальность обнаружение: не менее 1500 мм;	До 2000 мм
8	4.3.14.г	Точность измерения расстояния: от 5мм@300мм до 15мм@1500мм	1.5мм@300мм 150мм@1500мм
9	4.3.15.а	Излучатель ИК-диапазона	Интегрировано в
10	4.3.15.б	Приёмное устройство	DLPNIRNANO
11	4.3.16.а	Детектирование пластмасс: полимерные материалы, полиэтиленовые и ПЭТ-бутылки	Да
12	4.3.16.б	Детектирование макулатуры: бумага, картон;	Да
13	4.3.16.в	Детектирование деревянных объектов	Да

14	4.3.16.г	Детектирование текстильных объектов	Да
15	4.3.16.д	Детектирование металлических объектов	Да
16	4.3.16.е	Детектирование стеклянных объектов	Да

В соответствии с перечнем работ согласно ТЗ Соглашения №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 года на Этап 3 работ и был разработана комбинированная система машинного зрения с использованием трехмерного зрения и спектрофотометрии в ближней инфракрасной зоне. Разработанная эскизная конструкторская документация на комбинированной системы машинного зрения представлена в отдельном документе «ЭКД на КСМЗ».

9 Разработка проекта технического задания на проведение ОКР по теме: «Разработка автоматизированного узла сортировки полезных фракций твердых бытовых отходов»

9.1 Цели и задачи ОКР

В соответствии с разработанными техническими требованиями предложениями по разработке продукции на основе результатов ПНИЭР была проведена разработка технического задания на проведение опытно-конструкторской работы.

Целью проведения опытно-конструкторской работы является разработка комплекта рабочей конструкторской документации на программно-аппаратный комплекс роботизированного узла сортировки ТБО для отбора полезных фракций, способного работать как в составе конвейера, так и в качестве универсального контроллера, позволяющего реализовать функционал РСУ ТБО с использованием промышленных и коллаборативных манипуляторов сторонних производителей.

Проект ТЗ на ОКР представлен в документе «ПРОЕКТ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА ПРОВЕДЕНИЕ ОКР»

9.2 Выводы

В соответствии с перечнем работ согласно ТЗ Соглашения №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 года на Этап 3 работ и был разработан проект технического задания на проведение ОКР по теме: «Разработка серийного программно-аппаратного комплекса роботизированного сортировочного узла твердых бытовых отходов (РСУ ТБО)» (см. ПРОЕКТ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА ПРОВЕДЕНИЕ, представленное отдельным документом).

10 Проведение дополнительных патентных исследований

10.1 Постановка задачи патентных исследований

Дополнительные патентные исследования проведены в соответствии с пунктами 2.2, 3.2 технического задания (приложение № 1 к Соглашению от 28.07.2016 г. №14.586.21.0029 о предоставлении субсидии).

Дополнительные патентные исследования проводились в соответствии с требованиями ГОСТ Р15.011-96 «Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения», а также с учетом «Методических рекомендаций по проведению патентных исследований» (Москва, 1983, ВНИИПИ, одобрены Госкомизобретений СССР).

Задачами дополнительных патентных исследований являются:

1) выявление технических, художественно-конструкторских, программных и других решений, созданных в процессе выполнения ПНИ с целью отнесения их к охраноспособным объектам интеллектуальной собственности, в том числе промышленной, и обоснование целесообразности их правовой охраны;

2) исследование патентной чистоты объектов техники (экспертиза объектов техники на патентную чистоту, обоснование мер по обеспечению их патентной чистоты и беспрепятственному производству, и реализации объектов техники в стране и за рубежом).

Объектами дополнительных патентных исследований являются:

- 1) способы распознавания типа материала и формы объекта
- 2) способы расчета траектории движения промышленного робота.

Глубина поиска составила 2 года: 2017 гг., 2018 гг.

В процессе проведения патентных исследований была определена область поиска по международной патентной классификации (МПК):

B07C5/00 - Сортировка по параметрам или свойствам сортируемых изделий или материалов, например сортировка, выполняемая с помощью устройств, которые воспринимают или измеряют эти параметры или свойства; сортировка с помощью устройств, приводимых в действие вручную, например переключателей;

B07C5/02; - ..операции, предшествующие сортировке, например расположение изделий в потоке, ориентирование

B07C5/342; - ..оптическим, например по окраске

B29B17/00 - Регенерация или переработка пластиков или других составляющих использованных материалов, содержащих пластики

B29B17/02 - ..отделение пластиков от других материалов;

G01J3/00 - Спектрометрия; спектрофотометрия; монохроматоры; измерение цвета;

G01J3/10 - ..источники света, специально предназначенные для спектрометрии или колориметрии

G01J3/18 - ..с помощью дифракционных элементов, например решеток

G01J3/26 - ..с использованием эффекта многократного отражения, например интерферометры Фабри-Перро, переменные интерференционные фильтры

G01J3/42 - ..абсорбционная спектрометрия; двулучевая спектрометрия; мерцающая спектрометрия; отражательная спектрометрия

G01J3/44 - ..раман-спектрометрия; спектрометрия рассеяния

G01N15/00 - Исследование свойств частиц; определение проницаемости, пористости или площади поверхности пористых материалов

G01N15/02 - ..определение размеров частиц или распределения их по размерам

G01N21/00 - Исследование или анализ материалов с помощью оптических средств, т.е. с использованием инфракрасных, видимых или ультрафиолетовых лучей

G01N21/01 - ..устройства или приборы для оптических исследований

G01N21/35 -с использованием инфракрасного излучения

G01N21/3554 -для определения влажности содержимого

G01N21/3563 -для анализа твердых тел; подготовка образцов для этого

G01N21/3581 -используя дальнейшее инфракрасное излучение; используя терагерцовое излучение

G01N21/359 -используя ближнее инфракрасное излучение

G01N21/65 - ...раманское рассеяние

G01N21/71 - ..материал возбуждается термическими средствами

G01N21/84 - ..системы, предназначенные для особых целей

G01N21/85 - ..исследование потоков текучих сред или гранулированных твердых материалов

G01N21/88 - ..выявление дефектов, трещин или загрязнений

G01N23/00 - Исследование или анализ материалов с помощью волнового или корпускулярного излучения, например рентгеновского или нейтронного, не относящиеся к группам G01N 3/00 — G01N 17/00, G01N 21/00 или G01N 22/00[

G01N23/201 - ..измерение рассеяния под малыми углами, например рассеяния рентгеновского излучения под малыми углами [SAXS]

G01N23/203 - ..измерение обратного рассеяния

G01N27/00 - Исследование или анализ материалов с помощью электрических, электрохимических или магнитных средств

G01N27/60 - .путем исследования электростатических переменных величин

G01N29/00 - Исследование или анализ материалов с помощью ультразвуковых, звуковых или инфразвуковых волн; визуализация внутреннего строения объектов путем пропускания через них ультразвуковых или звуковых волн через предметы

G01N29/12 - ..путем измерения частоты или резонанса акустических волн

G01N29/44 - .обработка обнаруженного ответного сигнала

G01N29/46 - ..путем спектрального анализа, например Фурье-анализа

G06N99/00 - Тематика, не отнесенная к другим группам данного подкласса

G06T1/00 - Обработка данных изображения общего применения

G06T7/00 - Анализ изображения, например из побитового к непобитовому изображению

G06T7/12 - ..сегментация на основании выделения границ

G06T7/70 - .определение положения или ориентации объектов или камер

G06T7/90 - .определение цветовых характеристик

G01Q60/00 - Особые виды SPM (Микроскопии Сканирующего Зонда) или устройства для них; обязательные компоненты для них

G01Q60/18 - .сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля (SNOM) или устройства для нее, например SNOM зонды

G01Q60/24 - .атомная силовая микроскопия (AFM) или устройства для нее, например AFM зонды

G01Q60/38 - ..зонды, их изготовление или относящиеся к ним оснащение, например держатели

G02F1/00 - Устройства или приспособления для управления интенсивностью, цветом, фазой, поляризацией или направлением света, исходящего от независимого источника, например для переключения, стробирования или модуляции; нелинейная оптика

G02F1/37 - ..для генерации второй гармоники

B25J9/00 - Манипуляторы с программным управлением

B25J9/16 - программное управление (общее управление технологическим процессом, т.е. централизованное управление множеством станков G 05B 19/418)

B25J9/18 -. электрическое

B25J9/22 - регистрирующие и воспроизводящие системы

B25J13/00 -Управление манипуляторами

B25J13/08 - .с помощью сенсорных устройств, например приборов для визуального наблюдения или тактильных устройств

B25J17/00 - Шарниры

B25J19/00 - Вспомогательные устройства в манипуляторах, например для контроля, для визуального наблюдения; предохранительные приспособления, конструктивно сопряженные с манипуляторами или специально приспособленные к ним (предохранительные устройства общего назначения F 16P; защита от радиации G 21F)

G05B19/00 - Системы программного управления (специальное применение см. в соответствующих подклассах, например A 47L 15/46; часы

с присоединенными или встроенными приспособлениями, управляющими какими-либо устройствами в течение заданных интервалов времени G 04C 23/00; маркировка или считывание носителей записи с цифровой информацией G 06K; запоминающие устройства G 11; реле времени или переключатели с программным управлением во времени и с автоматическим окончанием работы по завершению программы H 01H 43/00)

G05B19/408 - ...отличающееся методами обработки данных или форматом данных, например считывание, буферизация или преобразование данных

G05B19/42 - ..регистрирующие и воспроизводящие системы, т.е. системы, в которых регистрирующее устройство записывает программу одного рабочего цикла, например управляемого вручную, после чего эта запись воспроизводится в том же устройстве

G05D1/00 - Управление или регулирование величин, определяющих местоположение, курс, высоту или положение в пространстве наземных, водных, воздушных или космических транспортных средств, например с помощью автопилотов (радионавигационные или аналогичные системы с использованием других волн G 01S)

G05D1/02 - .управление местоположением или курсом в системах двух координат

G05D1/12 - .средства управления при поиске цели

G06N 3/00 - компьютерные системы, основанные на биологических моделях (аналоговые компьютеры, моделирующие функциональные аспекты живых организмов G 06G 7/60)

G06N 3/08 - ..способы обучения

В соответствии с указанным выше объектом поиска «способы распознавания типа материала и формы объекта» были сформулированы

ключевые слова и фразы для определения классификационных рубрик международной патентной классификации (МПК) и затем поиска релевантной информации в патентных исследованиях:

- 1) identification objects
- 2) classification materials
- 3) inspecting of matter
- 4) determination of characteristics
- 5) matter detection
- 6) inspection apparatus
- 7) recognition system
- 8) near infrared spectroscopy
- 9) visual spectrometry
- 10) optical sorting
- 11) sensor-based sorting
- 12) dimensions object
- 13) machine vision system
- 14) identifying and sorting objects
- 15) scanning images
- 16) spectroscopy
- 17) распознавание объектов
- 18) спектроскопия
- 19) классификация материалов
- 20) оптическая сортировка

В соответствии с указанным выше объектом поиска «способы расчета траектории движения промышленного робота» были сформулированы ключевые слова и фразы для определения классификационных рубрик международной патентной классификации (МПК) и затем поиска релевантной информации в патентных исследованиях:

- 1) automatic sorting system
- 2) machine for sorting
- 3) object position
- 4) selection of physical objects
- 5) recognition of material objects
- 6) robotic item sorting

near spectroscopy trajectory robot

- 7) trajectory planning
- 8) pick-and-place robot
- 9) sorting delta robot
- 10) automatic delta robot
- 11) planning method
- 12) delta robot system
- 13) траектория дельта робота
- 14) движение дельта робота
- 15) планирование траектории
- 16) автоматическое управление дельта роботом

10.2 Выводы

В результате проведённых дополнительных исследований №1 и анализа технического уровня разработок в области способов распознавания типа материала и формы объекта показано получение охраноспособного РИД на программу для ЭВМ РФ «Программа распознавания материалов объектов на основе обработки спектра отражённого сигнала в ближней ИК зоне». Программа предназначена для предварительной обработки и подготовки данных, полученных от спектрометра ближней инфракрасной зоны, формированию указаний учителя и настройки алгоритма обучения многослойных искусственных нейронных сетей. Программа осуществляет распознавание спектральной плотности принятого сигнала и сопоставляет с

ранее известными образцами с целью определения принадлежности типу материала. Осуществляет распознавание типов материалов посредством обработки сигналов в ближней инфракрасной зоне. Программа может быть широко использована для решения задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов. Программное обеспечение, будучи программой для ЭВМ, может быть отнесено к изобретениям как неотъемлемая часть программно-аппаратного комплекса.

В результате проведенных дополнительных исследований №2 и на основе анализа технического уровня разработок в области способов расчета траектории движения промышленного робота показано получение охраноспособного РИД на программу для ЭВМ РФ «Программа управления роботизированным комплексом сортировки твердых бытовых отходов».

Программа предназначена для расчёта траекторий движения дельта-робота при выполнении манипуляций с движущимися объектами на конвейерной ленте. Программа осуществляет синхронизацию скорости перемещения исполнительного органа и осуществляет переключение между вакуумным схватом, трехпалой захватной головкой и спектрометром ближней инфракрасной зоны. Может быть использована для управления роботизированными комплексами автоматической сортировки твердых бытовых отходов.

Таким образом, работа выполнена в полном объеме в соответствии с перечнем работ согласно ТЗ и календарному плану Соглашения о предоставлении субсидии №14.586.21.0029 от 28 июля 2016 года на Этап 3 работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сведения о выполненном этапе проекта.

На 3 этапе работ по проекту, в соответствии с логикой научного исследования, Техническим заданием и План-графиком, перед Исполнителем стояли задачи:

а) Разработка и сборка экспериментального образца роботизированного сортировочного узла (ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на ЭО РСУ.

б) Разработка испытательного стенда (ИС) для испытаний ЭО РСУ (ИС ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на испытательный стенд (ИС) для испытаний ЭО РСУ.

в) Проведение экспериментальных исследований ЭО РСУ в соответствии с разработанной ПМЭИ.

г) Обобщение и оценки полученных результатов

д) Разработка технико-экономического обоснования разработки продукции.

е) Разработка рекомендаций по использованию результатов, проведенных исследований в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках.

ж) Разработка технических требований и предложений по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей, и особенностей индустриального партнера - организации реального сектора экономики.

Этап 3 (Экспериментальные исследования, обобщение и оценка результатов ПНИЭР) является заключительным этапом проекта. В рамках 3

этапа проведено обобщение и оценка результатов исследований, показано соответствие технических параметров и функционала ЭО РСУ требованиям ТЗ и КП. Подтверждена правильность направлений исследований и подходов, разработанных на 1 и 2 этапах подходов к построению конструктивно-компоновочных и программно-аппаратных решений. В целом, показана верность общего направления реализации принятых на этапе 2 конструктивно-компоновочных и программно-аппаратных решений, что подтверждается результатами проведённых испытаний на этапе 3.

На 3 этапе работ по проекту, в соответствии с логикой научного исследования, Техническим заданием и План-графиком, изготовлен экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, представляющего собой дельта-робот в составе конвейерной ленты, изготовлен испытательный стенд, проведены экспериментальные исследования с целью определения достижения требований ТЗ, разработан проект ТЗ на ОКР на последующие разработки, проведение технико-экономического обоснования разработки продукции на основе полученных в результате проекта технических решений в области разработки систем автоматической сортировки широкого класса предметов при помощи манипуляторов, работающих как стационарно, так и в составе движущейся конвейерной ленты. Использование разработанных алгоритмов и программных модулей для решения задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов. В том числе при первичной сортировке твердых бытовых отходов в домашних хозяйствах, на ранних стадиях цепочки создания ценности вторичной переработки. Показано, что разработанные технические решения имеют хороший потенциал для коммерциализации и вывода продукции на рынки вторичной переработки сырья, сортировки продуктов питания и сервисной робототехники.

Выявлено, что разработанные решения конкурентоспособны по сравнению с представленными на рынке отечественными и импортными аналогами.

Краткие выводы и обобщения по выполненным на Этапе 3 работам и полученным результатам.

В результате выполнения Этапа 3 ПНИЭР были получены следующие результаты.

По работе «3.1 Разработка и сборка экспериментального образца роботизированного сортировочного узла (ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на ЭО РСУ.» разработан ЭО РСУ в соответствии с заданными требованиями по грузоподъемности, скорости перемещения и габаритов рабочей зоны в составе:

- 1) Сервоприводы с высоким моментом на выходном валу
- 2) Рычаги и крепёжные элементы
- 3) 3-пальцевая захватная головка
- 4) Спектрометр в ближней инфракрасной зоне
- 5) Вакуумный захват
- 6) Поворотное устройство-селектор рабочего органа манипулятора
- 7) Трёхмерный стереосенсор глубины

Для ЭО РСУ был разработан комплект эскизной конструкторской документации в составе:

- а) Чертежи общего вида;
- б) Габаритный чертеж;
- в) Схема функциональная;
- г) Схема структурная;
- д) Схема электрическая в соответствии с ГОСТ 2.701-84;
- е) Схема кинематическая (ПрСХ) в соответствии с ГОСТ 2.701-84;

ж) Схема соединений и подключения в соответствии с ГОСТ 2.701-84.

По работе «3.2 Разработка испытательного стенда (ИС) для испытаний ЭО РСУ (ИС ЭО РСУ) и разработка эскизной конструкторской документации (ЭКД) на испытательный стенд (ИС) для испытаний ЭО РСУ.» в соответствии с требованиями ТЗ к объектам экспериментальных исследований и согласно разработанной Программе и методике экспериментальных исследований экспериментального образца роботизированного сортировочного узла для проведения экспериментальных испытаний на, а также в соответствии с разработанным комплектом эскизной конструкторской и программной документации на испытательный стенд был изготовлен и смонтирован испытательный стенд.

По работе «3.3 Проведение экспериментальных исследований ЭО РСУ в соответствии с разработанной ПМЭИ.» было установлено соответствие полученных характеристик ЭО РСУ требованиям ТЗ.

По работе «3.4 Выполнение обобщения и оценки полученных результатов» показано, что выбранные на Этапе 1 направления исследований и их реализация на Этапа 2 и 3 успешно прошли экспериментальные проверки. Показана способность ЭО РСУ автоматически выделять предметы в видеопотоке и распознавать тип материала на основе обработки спектра отражённого сигнала в ближней инфракрасной зоне; выполнять расчёт и планирование траектории движения исполнительного органа манипулятора на основе решения обратной кинематической и динамической задач; управление движением исполнительных органов манипуляторов, обеспечивая синхронное перемещение захватной головки в соответствии со скоростью движения конвейерной ленты; обеспечивать захват и перемещение объектов массой до 3 кг при помощи вакуумной головки.

В ходе экспериментальных исследований функционала ЭО РСУ было установлено соответствие полученных характеристик и параметров, заданным в ТЗ, подтверждена полнота реализованного функционала ЭО РСУ.

По работе «3.5 Разработка технико-экономического обоснования разработки продукции» проведена оценка конкурентоспособности потенциальной продукции на основе ЭО РСУ, разработана финансовая модель производства ячеек автоматизированной сортировки при помощи роботов-манипуляторов. В результате разработки технико-экономического обоснования разработки продукции на основе полученных в результате проекта технических решений показана конкурентоспособность разработанных решений и разработана финансовая модель производства и реализации продукции в период 2020-2025 годы. На основании предварительного анализа производственных возможностей Индустриального партнёра и ЭКД на ЭО РСУ сформированы исходные данные о себестоимости производства. Показано, что разработанные технические решения имеют хороший потенциал для коммерциализации и вывода продукции на рынки вторичной переработки сырья, сортировки продуктов питания и сервисной робототехники и могут представлять интерес не только для традиционных инвесторов, но и венчурных, т.е. высоко рискованных, с ожидаемым доходом на инвестиции до 10 раз.

По работе «3.6 Разработка рекомендаций по использованию результатов, проведенных исследований в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках.» показано, что разработанные алгоритмы и программные модули могут быть широко использованы при решении задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов. В том числе при первичной сортировке твердых бытовых отходов в домашних хозяйствах, на ранних стадиях цепочки создания ценности вторичной переработки.

По работе «3.7 Разработка технических требований и предложений по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей, и особенностей индустриального партнера -

организации реального сектора экономики.» разработаны предложения по опытному производству комплексов роботизированной сортировки ТБО.

Оценка полноты решения задач, поставленных на Этапе 3 исследований.

Достигнуты все запланированные требования ТЗ и ПГ Соглашения №14.586.21.0029 от «28» июля 2016г., в том числе подтверждено достижение технических параметров разработанных отдельных модулей ЭО РСУ в соответствии с требованиями ТЗ.

Оценка технико-экономической эффективности или значимость работы.

Разрабатываемый в рамках исследований роботизированный комплекс для сортировки ТБО позволит перейти к выполнению ОКР и автоматизации производств, связанных с сортировкой ТБО в течение 3 последующих лет по окончании исследований. Емкость рынка роботизированных комплексов для сортировки ТБО оценивается в несколько десятков тысяч единиц в год, с учетом различных направлений их использования:

а) в промышленности, для замены человеческого труда в условиях производства, в том числе, связанного с повышенной опасностью.

Использование отечественной элементной базы в конечной продукции позволит снизить стоимость по сравнению с аналогичной продукцией иностранных компаний, что позволит обеспечить импортозамещение, увеличить доступность изделий и повысить экспортный потенциал.

Результаты оценки научно-технического уровня выполненного проекта в сравнении с лучшими достижениями в данной области.

Результаты 3 этапа позволяют позиционировать разработку, как решение, обладающее новизной в сравнении с аналогичными применениями

с использованием роботов Sawyer (Rethink robotics), UR-5 (Universal Robotics) и ZenRobotics Recycler (ZenRobotics), а также традиционных комплексов автоматической сортировки TITECH finder (TOMRA SORTING), GREEN EYE (GREEN MACHINE) и LDS Plastic Color Sorter (MEYER), с использованием пневматического воздействия на предметы воздухом, по ряду ключевых параметров. Наличие комбинированной захватно-анализирующей головки и системы трехмерного технического зрения позволяет извлекать информацию как о форме, так и о материале объекта. Подобный подход в условиях сортировки ТБО, когда наблюдается сильное взаимное перекрытие множества разнотипных объектов, преимущественно используется спектрометрия в ближней инфракрасной зоне для распознавание материала объекта непосредственно в момент схвата предмета, в то время как при сортировке однотипных или отдельно лежащих объектов для распознавания типов материалов возможно путём обработки данных системы трехмерного технического зрения в видимом диапазоне. При этом, в обоих случаях система трехмерного технического зрения используется для выделения объекта интереса и определения целеуказаний манипулятору для схвата и перемещения.

Ссылка на официальный сайт Получателя субсидии с информацией о ходе выполнения этапа проекта. Сведения о ходе выполнения проекта «Исследование и разработка научно-технических решений в области проведения сортировочных операций в режиме реального времени, с объектами, имеющими сложные характеристики, с использованием высокоэффективных робототехнических средств автоматизации» представлены на официальном сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский Политехнический Университет (Московский Политех)» и доступны по следующей ссылке: <http://mospolytech.ru/index.php?id=2338>

Рекомендации и предложения по использованию результатов выполненного проекта.

Разработанные технические решения в области создания роботизированного сортировочного узла, по окончании проекта, должны стать основой для применения в следующих областях:

- 1) Сортировка твердых бытовых отходов по типу материала
- 2) Фасовка готовой продукции (фрукты, овощи, детали, заготовки)
- 3) Упаковка готовой продукции в короба
- 4) Позиционирование и ориентация деталей и заготовок
- 5) Визуальный контроль качества и отбраковка пищевой продукции
- 6) Калибровка овощей и фруктов
- 7) Выполнение операций с химическими реактивами и препаратами

В научно-технологическом плане реализованные программно-аппаратные решения представляют большой задел в прикладной отечественной науке и дает возможность решать сходные научно-прикладные задачи как в смежных областях применения, например для сортировки отходов других типов, так и для более отдаленных, например сортировки разных видов объектов в других отраслях (продовольственные товары в магазинах, овощи или фрукты на складах, для автоматизации некоторых производств, где важна сортировка объектов по категориям исходя из их свойств).

Разработанные программно-аппаратные решения в ходе выполнения проекта представляют собой комплекс взаимосвязанных компонентов, которые, будучи использованными вместе реализуют функционал роботизированной сортировки ТБО по типам материалов. Однако, отдельно взятые модули могут быть использованы в качестве самостоятельных продуктов, таких как:

- 1) Программный комплекс управления сортировкой ТБО, в том числе, с использованием манипуляторов сторонних производителей
- 2) Программный комплекс распознавания объектов и классификации по типам материалов - может быть широко использована для решения задач распознавания типов материалов, например, как в составе стационарных комплексов автоматической сортировки твердых бытовых отходов, так для расширения функционала сервисных и персональных роботов.
- 3) Захватно-анализирующая головка с переключением инструмента (вакуумный захват, пальцевый захват, сенсор БИК)

Результаты всего проекта в целом – конструкторские и программно-технические решения в области создания роботизированного сортировочного узла позволят разработать модельный ряд роботизированных сортировочных узлов с различными характеристиками, согласно требованиям решаемой задачи. Это позволит уменьшить трудозатраты, связанные с использованием человеческого труда в данных сферах, приведет к экономии средств на выполнение подобных работ. Данная мера обеспечит конкурентоспособность продукции отечественных предприятий на мировом рынке. Результатом будет положительный экономический эффект, начало массового внедрения умной робототехники в сферы жизни человека, снижение рисков для человека при выполнении манипуляций в условиях агрессивной среды.

Исходя из результатов аналитического обзора и результатов патентных исследований можно сделать прогнозное предположение о следующих направлениях развития объекта исследований:

- 1) использование роботов-манипуляторов при выполнении различных манипуляций с объектами в составе конвейера
- 2) развитие систем оптического распознавания типов материалов и снижение их стоимости

3) интеграция систем управления манипуляторами с системами машинного зрения для автоматического выполнения операций в условиях недетерминированного окружения.

Оценка достижения целей, поставленных перед проектом.

В результате выполнения работ проекта были достигнуты все поставленные цели: разработаны новые конструкторские и программно-технические решения в области создания универсального экспериментального образца роботизированного сортировочного узла (ЭО РСУ), с целью формирования научно-технического задела для дальнейшего применения в задачах проведения сортировочных операций с объектами, имеющими несколько (более одной) характеристик (свойств объектов, значимых для их классификации и/или проведения сортировочной операции).

На Этапе 3 в соответствии с принятыми на Этапе 1 принципами построения ЭО РСУ была разработана конструкция роботизированного сортировочного узла и оформлена ЭКД.

В качестве кинематической схемы манипулятора, в соответствии с проведённым на Этапе 1 анализе схем промышленных манипуляторов был выбран дельта-робот. Основным преимуществом дельта-робота является его высокая скорость перемещения, что является ключевым параметром для решения задачи сортировки объектов, особенно, при работе в составе движущейся конвейерной ленты.

Манипулятор имеет 4 управляемых степени свободы. Четвёртая степень свободы реализована в виде поворотного устройства, приводимого в движение при помощи карданного вала от основания робота. Применение карданного вала позволило разместить сервопривод поворотного устройства

рядом с основными приводами и облегчить перемещаемое звено манипулятора.

На Этапе 3 в соответствии с разработанной ПМЭИ были проведены экспериментальные исследования ЭО РСУ. В результате экспериментальных исследований было установлено соответствие полученных характеристик ЭО РСУ требованиям ТЗ.

Достигнуты все запланированные требования ТЗ и ПГ Соглашения №14.586.21.0029 от «28» июля 2016г., в том числе подтверждено достижение технических параметров разработанных отдельных модулей ЭО РСУ в соответствии с требованиями ТЗ. Результаты 3 этапа позволяют позиционировать разработку, как решение, обладающее новизной в сравнении с аналогичными применениями с использованием роботов Sawyer (Rehink robotics), UR-5 (Universal Robotics) и ZenRobotics Recycler (ZenRobotics), а также традиционных комплексов автоматической сортировки TITECH finder (TOMRA SORTING), GREEN EYE (GREEN MACHINE) и LDS Plastic Color Sorter (MEYER), с использованием пневматического воздействия на предметы воздухом, по ряду ключевых параметров. Наличие комбинированной захватно-анализирующей головки и системы трехмерного технического зрения позволяет извлекать информацию как о форме, так и о материале объекта. Подобный подход в условиях сортировки ТБО, когда наблюдается сильное взаимное перекрытие множества разнотипных объектов, преимущественно используется спектрометрия в ближней инфракрасной зоне для распознавание материала объекта непосредственно в момент схвата предмета, в то время как при сортировке однотипных или отдельно лежащих объектов для распознавания типов материалов возможно путём обработки данных системы трехмерного технического зрения в видимом диапазоне. При этом, в обоих случаях система трехмерного технического зрения используется для выделения объекта интереса и определения целеуказаний манипулятору для схвата и перемещения.

Данные работы выполнены в полном объеме в соответствии с условиями Соглашения о предоставлении субсидии от «28» июля 2016 г. №14.586.21.0029.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.1 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.1-4.13

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«01» октября 2018 г.

- 1. Объект испытания:** Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пунктов № 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 Технического задания
- 3. Дата начала испытания:** 01 октября 2018 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 01 октября 2018 г.
- 5. Место проведения испытания:** НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.
- 6. Средства проведения испытаний**

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
математическая модель должна описывать кинематику манипулятора	4.3.1.а)	4.1	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	
математическая модель должна описывать	4.3.1.б)	4.2	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	

динамику манипулятора					
математическая модель должна обеспечивать расчёт параметров конструкции манипулятора	4.3.1.в)	4.3	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	
математическая модель должна обеспечивать определение требований к приводам исполнительных звеньев	4.3.1.г)	4.4	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	
должен быть проведён анализ объекта моделирования и содержательная постановка задачи;	4.3.2.а)	4.5	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	
должна быть выполнена концептуальная и математическая постановка задачи;	4.3.2.б)	4.6	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	
должен быть проведён качественный анализ и проверка корректности;	4.3.2.в)	4.7	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	
должны быть выбраны и обоснованы методы решения задачи.	4.3.2.г)	4.8	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	
должен быть разработан алгоритм решения и реализован в	4.3.2.д)	4.9	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	

виде программы ЭВМ					
должна быть проведена проверка адекватности;	4.3.2.е)	4.10	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	
должны быть сформулированы предложения по практическому использованию построенной математической модели	4.3.2.ж)	4.11	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	
модель привода;	4.3.3 а)	4.12	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	
модель суставов и соединительных элементов;	4.3.3 б)	4.13	6.1	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по по пунктам № 4.1-4.13 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пунктов № 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 Технических требований.

Испытание проводили

Старший преподаватель



М.В. Корячко

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.2 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.14-4.16

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«03» октября 2018 г.

- 1. Объект испытания:** Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.4 Технического задания
- 3. Дата начала испытания:** 03 октября 2018 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 03 октября 2018 г.
- 5. Место проведения испытания:** НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.
- 6. Средства проведения испытаний**

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов			Требования к параметру		Измеренное значение		
		Технического задания	Программы исследований	Методик исследований	Номинальное значение	Предельное отклонение	Нормальные условия	Во время воздействия	После воздействия
отклонение размеров манипулятора захвата не более 1 мм;	мм	4.3.4 а)	4.14	6.2	1	-	-	-	-

отклонение массы манипулятора не более 100 гр.;	гр	4.3.4 б)	4.15	6.2	100	-			
точность определения угла поворота приводов не менее 0,1 град;	град	4.3.4 в)	4.16	6.2	0,1	-			

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.14-4.16 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пункта № 4.3.4 Технических требований.

Испытание проводили

Старший преподаватель



М.В. Корячко

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.3 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.17-4.19

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«04» октября 2018 г.

- 1. Объект испытания:** Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.5 Технического задания
- 3. Дата начала испытания:** 04 октября 2018 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 04 октября 2018 г.
- 5. Место проведения испытания:** НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.
- 6. Средства проведения испытаний**

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
должны быть выбраны и обоснованы методы решения задачи.	4.3.5 а)	4.17	6.3	[соответствует требованиям ТЗ]	
среда реализации моделей: MATLAB	4.3.5 б)	4.18	6.3	[соответствует требованиям ТЗ]	

Simulink версии не ниже R2012.					
код программного обеспечения должен быть написан с использованием средств MATLAB.	4.3.5 в)	4.19	6.3	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.17-4.19 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пункта № 4.3.5 Технических требований.

Испытание проводили

Старший преподаватель



М.В. Корячко

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.4 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.20-4.22

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«04» октября 2018 г.

1. Объект испытания: Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пунктов № 4.3.6, 4.3.7 Технического задания

3. Дата начала испытания: 04 октября 2018 г.

4. Дата окончания испытания: 04 октября 2018 г.

5. Место проведения испытания: НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.

6. Средства проведения испытаний

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов			Требования к параметру		Измеренное значение		
		Технического задания	Программы исследований	Методик исследований	Номинальное значение	Предельное отклонение	Нормальные условия	Во время воздействия	После воздействия
такты частота процессора: не более 4 ГГц;	ГГц	4.3.6 а)	4.20	6.4	4,0	-	2,4	-	-
объем оперативной памяти: не	Гб	4.3.6 б)	4.21	6.4	8	-	8	-	-

более 8 ГБ.									
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
Должна быть проведена проверка адекватности разработанной математической модели.	4.3.7	4.22	6.4	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пункту № 4.20-4.22 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пунктов № 4.3.6, 4.3.7 Технических требований.

Испытание проводили

Старший преподаватель



М.В. Корячко

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.5 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.23-4.24, 4.33-4.38

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«04» октября 2018 г.

1. Объект испытания: Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пунктов № 4.3.8, 4.3.12 Технического задания

3. Дата начала испытания: 05 октября 2018 г.

4. Дата окончания испытания: 05 октября 2018 г.

5. Место проведения испытания: НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.

6. Средства проведения испытаний

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
аппаратный комплекс;	4.3.8 а)	4.23	6.5	[соответствует требованиям ТЗ]	
программный комплекс;	4.3.8 б)	4.24	6.5	[соответствует требованиям ТЗ]	
система машинного трехмерного	4.3.12 а)	4.33	6.5	[соответствует требованиям ТЗ]	

зрения видимого диапазона (СМТЗВД) в количестве не менее 1 шт;					
система спектрометрии в ближнем инфракрасном диапазоне (ССБИД) в количестве не менее 1 шт;	4.3.12 б)	4.34	6.5	[соответствует требованиям ТЗ]	
транспортный ленточный конвейер в количестве не менее 1 шт;	4.3.12 г)	4.35	6.5	[соответствует требованиям ТЗ]	
манипулятор ЭО РСУ в количестве не менее 1 шт;	4.3.12 д)	4.36	6.5	[соответствует требованиям ТЗ]	
захватная головка ЭО РСУ в количестве не менее 1 шт;	4.3.12 е)	4.37	6.5	[соответствует требованиям ТЗ]	
вычислительный модуль ЭО РСУ в количестве не менее 1 шт;	4.3.12 ж)	4.38	6.5	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.23-4.24, 4.33-4.38 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пунктов № 4.3.8, 4.3.12 Технических требований.

Испытание проводили

Старший преподаватель



М.В. Корячко

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.6 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.25,
4.64-4.65, 4.74-4.75, 4.84-4.105

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«10» октября 2018 г.

1. Объект испытания: Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пунктов № 4.3.9, 4.3.19.б, 4.3.19.г, 4.3.21, 4.3.24-4.3.29 Технического задания

3. Дата начала испытания: 08 октября 2018 г

4. Дата окончания испытания: 10 октября 2018 г.

5. Место проведения испытания: НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.

6. Средства проведения испытаний

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Таблица А.6.1

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов			Требования к параметру		Измеренное значение		
		Технического задания	Программы исследований	Методик исследований	Номинальное значение	Предельное отклонение	Нормальные условия	Во время воздействия	После воздействия
ЭО РСУ должен обеспечивать захват и	кг	4.3.9	4.25	6.6	3,0	-	3,17	-	-

удержание объектов массой не более 3 кг									
должна обеспечивать захват объектов массой не более 3 кг;	кг	4.3.19 г)	4.65	6.6	3,0	-	3,17	-	-
точность определения ориентации объекта не хуже 2 градусов;	градус	4.3.29 б)	4.104	6.6	2,0	-	1,5	-	-

Таблица А.6.2

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
должна обеспечивать захват плоских объектов при помощи вакуумного захвата;	4.3.19 б)	4.64	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
должен обеспечивать расчёт траекторий движения для перемещения манипулятора;	4.3.21 а)	4.74	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
должен обеспечивать передачу команд	4.3.21 б)	4.75	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	

управления приводам поворотных узлов манипулятора; в) должен обеспечивать планирование заданий ЭО РСУ;					
модуль обмена данными с контроллерами приводов поворотных звеньев;	4.3.24 а)	4.84	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль решения обратных кинематических и динамических задач для выбранной кинематической схемы манипулятора;	4.3.24 б)	4.85	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль планирования траектории движения исполнительного органа манипулятора;	4.3.24 в)	4.86	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль обмена информацией с ППРО ПЗУРСУ.	4.3.24 г)	4.87	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
приём и обработка координат для позиционирования манипулятора;	4.3.25 а)	4.88	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
расчёт траекторий движения узлов манипулятора;	4.3.25 б)	4.89	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
аппроксимация траекторий движения узлов манипулятора;	4.3.25 в)	4.90	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
контроль	4.3.25	4.91	6.6	[соответствует	

состояния поворотных узлов манипулятора;	г)			требованиям ТЗ]	
передачу команд управления приводами звеньев манипулятора;	4.3.25 д)	4.92	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
обмен данными с ППрО ПЗУРСУ и ППрО УЗГМ.	4.3.25 е)	4.93	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
а) передача информации и управление должны осуществляться через один из возможных интерфейсов: Ethernet, RS-232, Wi-Fi, SPI.	4.3.26 а)	4.94	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль формирования управляющих воздействий исполнительными звеньями захватной головки;	4.3.27 а)	4.95	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль аппроксимации объекта при помощи геометрических примитивов;	4.3.27 б)	4.96	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль определения ориентации объекта относительно захватной головки;	4.3.27 в)	4.97	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль определения рабочих плоскостей на	4.3.27 г)	4.98	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	

поверхности объекта для выполнения контактной операции по захвату и удержанию объекта;					
определение конфигурации захватной головки для обеспечения захвата объекта;	4.3.28 а)	4.99	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
определение контактных поверхностей на объекте для захвата;	4.3.28 б)	4.100	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
управление приводами исполнительных звеньев захватной головки;	4.3.28 в)	4.101	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
обмен данными с ППрО ПЗУРСУ и ППрО УКЗМ.	4.3.28 г)	4.102	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
а) передача информации и управление должны осуществляться через один из возможных интерфейсов: Ethernet, RS-232, Wi-Fi, SPI.	4.3.29 а)	4.103	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	
классы захватываемых объектов согласно п. ТЗ 4.2.7, 4.2.8 и 4.2.9.	4.3.29 в)	4.105	6.6	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.25, 4.64-4.65, 4.74-4.75, 4.84-4.105 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пунктов № 4.3.9, 4.3.19.б, 4.3.19.г, 4.3.21, 4.3.24-4.3.29 Технических требований.

Испытание проводили

Старший преподаватель



М.В. Корячко

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.7 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.26,
4.106-4.118

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«15» октября 2018 г.

- 1. Объект испытания:** Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пунктам № 4.3.10, 4.3.30-4.3.42 Технического задания
- 3. Дата начала испытания:** 10 октября 2018 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 15 октября 2018 г.
- 5. Место проведения испытания:** НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.
- 6. Средства проведения испытаний**

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Таблица А.7.1

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
ЭО РСУ должен обеспечивать выделение объектов и распознавание материала	4.3.10	4.26	6.7	[соответствует требованиям ТЗ]	

объекта;					
модуль захвата данных от системы машинного трехмерного зрения (СМТЗВД);	4.3.30 а)	4.106	6.7	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль захвата данных от спектрометра в ближней инфракрасной зоне (ССБИД);	4.3.30 б)	4.107	6.7	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль слияния данных от СМТЗВД и ССБИД в единое информационное пространство;	4.3.30 в)	4.108	6.7	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль синхронизации данных с учётом скорости движения конвейерной ленты;	4.3.30 г)	4.109	6.7	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль прогнозирования траектории движения объекта на конвейерной ленте.	4.3.30 д)	4.110	6.7	[соответствует требованиям ТЗ]	
построение пространственного изображения, содержащего сведения о материале объекта, интенсивности цвета в точке и дальности до системы технического зрения;	4.3.31 а)	4.111	6.7	[соответствует требованиям ТЗ]	
определение	4.3.31	4.112	6.7	[соответствует	

скорости движения конвейерной ленты на основе визуального анализа оптического потока;	б)				требованиям ТЗ]	
автоматическая синхронизация пространственного изображения и положения конвейерной ленты;	4.3.31 в)	4.113	6.7		[соответствует требованиям ТЗ]	
выделение отдельных объектов на конвейерной ленте;	4.3.31 г)	4.114	6.7		[соответствует требованиям ТЗ]	
распознавание класса объекта на основе данных от системы технического зрения;	4.3.31 д)	4.115	6.7		[соответствует требованиям ТЗ]	
прогнозирование траектории движения объекта на конвейерной ленте;	4.3.31 е)	4.116	6.7		[соответствует требованиям ТЗ]	
а) возможные интерфейсы обмена данными: USB, Ethernet;	4.3.32 а)	4.117	6.7		[соответствует требованиям ТЗ]	

Таблица А.7.2

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов	Требования к параметру	Измеренное значение
------------------------	----------	----------------	------------------------	---------------------

		Технического задания	Программы исследований	Методик исследований	Номинальное значение	Предельное отклонение	Нормальные условия	Во время воздействия	После воздействия
б) точность определения положения объекта на конвейерной ленте по осям не хуже 10 мм;	мм	4.3.32 б)	4.118	6.7	10,0	-	5,0	-	-

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.26, 4.106-4.118 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пунктов № 4.3.10, 4.3.30-4.3.42 Технических требований.

Испытание проводили

Старший преподаватель



М.В. Корячко

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.8 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.27-4.30, 4.53-4.62, 4.68

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«18» октября 2018 г.

1. Объект испытания: Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пунктов № 4.3.11, 4.3.17, 4.3.18, 4.3.19.д Технического задания

3. Дата начала испытания: 16 октября 2018 г.

4. Дата окончания испытания: 18 октября 2018 г.

5. Место проведения испытания: НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.

6. Средства проведения испытаний

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Таблица А.8.1

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов			Требования к параметру		Измеренное значение		
		Технического задания	Программы исследований	Методик исследований	Номинальное значение	Предельное отклонение	Нормальные условия	Во время воздействия	После воздействия
рабочая зона манипулятора диаметром не менее 400 мм;	мм	4.3.11 а)	4.27	6.8	400	-	1000	-	-

скорость движения исполнительного органа манипулятора не менее 300 мм/с;	мм/с	4.3.11 б)	4.28	6.8	300	-	600	-	-
скорость движения конвейерной ленты не менее 300 мм/с;	мм/с	4.3.11 в)	4.29	6.8	300	-	500	-	-
масса не более 200 кг (без учета массы транспортного ленточного конвейера);	кг	4.3.11 г)	4.30	6.8	200	-	40	-	-
длина конвейерной ленты не менее 3000 мм;	мм	4.3.17 а)	4.53	6.8	3000	-	3000	-	-
ширина конвейерной ленты не менее 400 мм;	мм	4.3.17 б)	4.54	6.8	400	-	500	-	-
максимальная скорость движения конвейерной ленты не менее 300 мм/с;	мм	4.3.17 в)	4.55	6.8	300	-	500	-	-
точность установки скорости вращения с шагом не менее 100 мм/сек;	мм	4.3.17 г)	4.56	6.8	100	-	50	-	-
масса не должна превышать 50 кг;	кг	4.3.18 а)	4.57	6.8	50	-	32	-	-
рабочая зона манипулятора диаметром не менее 400 мм;	мм	4.3.18 б)	4.58	6.8	400	-	1000	-	-

скорость движения исполнительного органа манипулятора: не менее 300 мм/с;	мм/с	4.3.18 в)	4.59	6.8	300	-	600	-	-
---	------	-----------	------	-----	-----	---	-----	---	---

Таблица А.8.2

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
манипулятор должен включать не менее 3 поворотных элементов;	4.3.18 г)	4.60	6.8	[соответствует требованиям ТЗ]	
не менее одного дополнительного поворотного элемента для вращения исполнительного органа (захватной головки);	4.3.18 д)	4.61	6.8	[соответствует требованиям ТЗ]	
фланец и соединительные элементы для установки захватной головки;	4.3.18 е)	4.62	6.8	[соответствует требованиям ТЗ]	
должна иметь фланец для крепления на исполнительный орган манипулятора ЭО РСУ;	4.3.19 д)	4.66	6.8	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.27-4.30, 4.53-4.62, 4.68 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пунктов № 4.3.11, 4.3.17, 4.3.18, 4.3.19.д Технических требований.

Испытание проводили

Старший преподаватель



М.В. Корячко

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.9 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.31

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«26» октября 2018 г.

- 1. Объект испытания:** Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.11.д Технического задания
- 3. Дата начала испытания:** 22 октября 2018 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 26 октября 2018 г.
- 5. Место проведения испытания:** НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.
- 6. Средства проведения испытаний**

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
должен производить захват и перемещение отдельных объектов;	4.3.11 д)	4.31	6.9	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пункту № 4.31 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пункта № 4.3.11.д Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.10 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.32

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«09» ноября 2018 г.

1. Объект испытания: Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.11 е) Технического задания

3. Дата начала испытания: 29 октября 2018 г..

4. Дата окончания испытания: 09 ноября 2018 г.

5. Место проведения испытания: НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.

6. Средства проведения испытаний

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Таблица А.10.1

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
должен выполнять сортировку в соответствии с классом объекта	4.3.11 е)	4.32	6.10	[соответствует требованиям ТЗ]	См. таблицу А.10.2

Таблица А.10.2

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
макулатура: бумага, картон	4.3.11 е)	4.32	6.10	[соответствует требованиям ТЗ]	
пластики: полимерные плёнки, полиэтиленовые и ПЭТ-бутылки	4.3.11 е)	4.32	6.10	[соответствует требованиям ТЗ]	
дерево	4.3.11 е)	4.32	6.10	[соответствует требованиям ТЗ]	
текстиль	4.3.11 е)	4.32	6.10	[соответствует требованиям ТЗ]	
стекло	4.3.11 е)	4.32	6.10	[соответствует требованиям ТЗ]	
металлы	4.3.11 е)	4.32	6.10	[соответствует требованиям ТЗ]	
прочие полимерные отходы	4.3.11 е)	4.32	6.10	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пункту № 4.32 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пункту № 4.3.11 е) Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.11 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.39-

4.40

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«22» октября 2018 г.

1. Объект испытания: Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.13 Технического задания

3. Дата начала испытания: 22 октября 2018 г.

4. Дата окончания испытания: 22 октября 2018 г..

5. Место проведения испытания: НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.

6. Средства проведения испытаний

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
сенсор глубины на основе стереоскопического эффекта, либо активного сканирующего	4.3.13 а)	4.39	6.11	[соответствует требованиям ТЗ]	

устройства;					
возможные интерфейсы обмена данными: USB, Ethernet;	4.3.13 б)	4.40	6.11	[USB интерфейс, соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.39-4.40 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пункта № 4.3.13 Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.12 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.41-4.44

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«12» ноября 2018 г.

1. Объект испытания: Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.14 Технического задания

3. Дата начала испытания: 12 ноября 2018 г.

4. Дата окончания испытания: 12 ноября 2018 г.

5. Место проведения испытания: НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.

6. Средства проведения испытаний

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов			Требования к параметру		Измеренное значение		
		Технического задания	Программы исследований	Методик исследований	Номинальное значение	Предельное отклонение	Нормальные условия	Во время воздействия	После воздействия
разрешение изображения: не менее 640x480	пиксель	4.3.14 а)	4.41	6.12	640x480	-		-	-

пикселей;									
минимальная дальность обнаружения: не более 300 мм;	мм	4.3.14 б)	4.42	6.12	300	-	200	-	-
максимальная дальность обнаружения: не менее 1500 мм;	мм	4.3.14 в)	4.43	6.12	1500	-	3000	-	-
точность измерения расстояния: от 5мм@300м до 15мм@1500 мм.	мм	4.3.14 г)	4.44	6.12	5мм@300м м 15мм@1500 мм.	-	1мм@300 мм 8мм@1500 мм	-	-

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.41-4.44 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пункта № 4.3.14 Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.13 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.45-4.46

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«13» ноября 2018 г.

- 1. Объект испытания:** Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.15 Технического задания
- 3. Дата начала испытания:** 13 ноября 2018 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 13 ноября 2018 г..
- 5. Место проведения испытания:** НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.
- 6. Средства проведения испытаний**

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
излучатель ИК-диапазона;	4.3.15 а)	4.45	6.12	Излучатель и приемник встроены в корпус устройства [соответствует требованиям ТЗ]	
приёмное устройство	4.3.15 б)	4.46	6.12	Излучатель и приемник встроены в корпус устройства [соответствует	

				требованиям ТЗ]	
--	--	--	--	-----------------	--

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.45-4.46 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пункта № 4.3.15 Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.14 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.47-4.52

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«20» ноября 2018 г.

- 1. Объект испытания:** Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.16 Технического задания
- 3. Дата начала испытания:** 14 ноября 2018 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 20 ноября 2018 г.
- 5. Место проведения испытания:** НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.
- 6. Средства проведения испытаний**

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
детектирование пластмасс: полимерные материалы, полиэтиленовые и ПЭТ-бутылки;	4.3.16 а)	4.47	6.14	[соответствует требованиям ТЗ]	

детектирование макулатуры: бумага, картон;	4.3.16 б)	4.48	6.14	[соответствует требованиям ТЗ]	
детектирование деревянных объектов;	4.3.16 в)	4.49	6.14	[соответствует требованиям ТЗ]	
детектирование текстильных объектов;	4.3.16 г)	4.50	6.14	[соответствует требованиям ТЗ]	
детектирование металлических объектов;	4.3.16 д)	4.51	6.14	[соответствует требованиям ТЗ]	
детектирование стеклянных объектов;	4.3.16 е)	4.52	6.14	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.47-4.52 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пунктов № 4.3.16 Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.15 ПРОТОКОЛ испытания по пункту № 4.63

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«21» ноября 2018 г.

1. Объект испытания: Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.19.а Технического задания

3. Дата начала испытания: 21 ноября 2018 г.

4. Дата окончания испытания: 21 ноября 2018 г.

5. Место проведения испытания: НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.

6. Средства проведения испытаний

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
должна представлять собой механический зажим клещевого типа с не менее чем 2 (двумя) противопоставленным и исполнительными	4.3.19 а)	4.63	6.15	Захватная головка с тремя противопоставленным и исполнительными контактными группами [соответствует требованиям ТЗ]	

контактными группами;					
--------------------------	--	--	--	--	--

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пункту № 4.63 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пункта № 4.3.19.а Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.16 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.67-

4.73

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«22» ноября 2018 г.

1. Объект испытания: Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.20 Технического задания

3. Дата начала испытания: 22 ноября 2018 г.

4. Дата окончания испытания: 22 ноября 2018 г.

5. Место проведения испытания: НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.

6. Средства проведения испытаний

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Таблица А.16.1

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов			Требования к параметру		Измеренное значение		
		Технического задания	Программы исследований	Методик исследований	Номинальное значение	Предельное отклонение	Нормальные условия	Во время воздействия	После воздействия
разрядность процессора: не менее 32 бит	бит	4.3.20 1)	4.67, 4.68	6.16	32	-	64	-	-
тактовая	Гц	4.3.20	4.69	6.16	3,0	-	2,4	-	-

частота: не более 3 ГГц		2)							
количество ядер процессора: не менее 2	шт	4.3.20 3)	4.70	6.16	2	-	4	-	-
оперативная память: не менее 4ГБ	Гб	4.3.20 4)	4.71	6.16	4,0	-	8,0	-	-

Таблица А.16.2

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
интерфейс беспроводной связи Wi-Fi 802.11b/g/n	4.3.20 5)	4.72	6.16	[соответствует требованиям ТЗ]	
Интерфейсы Ethernet, USB, SPI	4.3.20 6)	4.73	6.16	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.67-4.73 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ соответствует (не соответствует)
требованиям пункта № 4.3.20 Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.17 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.76-4.78

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«26» ноября 2018 г.

- 1. Объект испытания:** Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.22 Технического задания
- 3. Дата начала испытания:** 26 ноября 2018 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 26 ноября 2018 г.
- 5. Место проведения испытания:** НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.
- 6. Средства проведения испытаний**

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Таблица А.17.1

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
передача информации и управление должны	4.3.22 а)	4.76	6.17	[соответствует требованиям ТЗ]	

осуществляться через один из возможных интерфейсов: Wi- Fi, RS-232, SPI;						
--	--	--	--	--	--	--

Таблица А.17.2

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов			Требования к параметру		Измеренное значение		
		Технического задания	Программы исследований	Методик исследований	Номинальное значение	Предельное отклонение	Нормальные условия	Во время воздействия	После воздействия
скорость обмена данными с контроллерам и приводов не менее 115200 Кбит/с;	Кбит/с	4.3.2 2 б)	4.77	6.17	11520 0	-	92160 0	-	-
скорость обмена данными посредством беспроводных интерфейсов не менее 54 Мбит/с для Wi-Fi.	Мбит/ с	4.3.2 2 в)	4.78	6.17	54	-	100	-	-

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.76-4.78 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пунктов № 4.3.22 Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.18 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.79-4.83

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«28» ноября 2018 г.

- 1. Объект испытания:** Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.23 Технического задания
- 3. Дата начала испытания:** 28 ноября 2018 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 28 ноября 2018 г.
- 5. Место проведения испытания:** НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.
- 6. Средства проведения испытаний**

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
ППрО УКЗМ	4.3.23 а)	4.79	6.18	[соответствует требованиям ТЗ]	
ППрО УЗГМ	4.3.23 б)	4.80	6.18	[соответствует требованиям ТЗ]	
ППрО КДВИК	4.3.23 в)	4.81	6.18	[соответствует требованиям ТЗ]	

ПМ ВИМ	4.3.23 г)	4.82	6.18	[соответствует требованиям ТЗ]	
ППрО ПЗУРСУ	4.3.23 д)	4.83	6.18	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.79-4.83 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пунктов № 4.3.23 Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.19 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.119-4.127

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«01» декабря 2018 г.

- 1. Объект испытания:** Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.33-4.3.35 Технического задания
- 3. Дата начала испытания:** 01 декабря 2018 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 01 декабря 2018 г.
- 5. Место проведения испытания:** НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.
- 6. Средства проведения испытаний**

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
модуль графической визуализации виртуальных моделей из состава ЭО РСУ	4.3.33 а)	4.119	6.19	[соответствует требованиям ТЗ]	

модуль расчёта физических взаимодействий объектов	4.3.33 б)	4.120	6.19	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль набора виртуальных моделей из состава ЭО РСУ	4.3.33 в)	4.121	6.19	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль обмена данными с внешними устройствами	4.3.33 г)	4.122	6.19	[соответствует требованиям ТЗ]	
виртуальное моделирование программно-аппаратного комплекса ЭО РСУ	4.3.34 а)	4.123	6.19	[соответствует требованиям ТЗ]	
программная реализация системы управления манипулятором ЭО РСУ	4.3.34 б)	4.124	6.19	[соответствует требованиям ТЗ]	
интеграция с ЭО РСУ	4.3.34 в)	4.125	6.19	[соответствует требованиям ТЗ]	
реализация с использованием пакета ROS (операционная система роботов) версии не ниже	4.3.35 а)	4.126	6.19	[соответствует требованиям ТЗ]	

Jade Turtle					
ВОЗМОЖНЫЕ интерфейсы обмена данными: USB, Ethernet	4.3.35 б)	4.127	6.19	[соответствует требованиям ТЗ]	

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.119-4.127 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ **соответствует** (не соответствует) требованиям пунктов № 4.3.33-4.3.35 Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников

ПРИЛОЖЕНИЕ А.20 ПРОТОКОЛ испытания по пунктам № 4.128-4.141

Программы и методики экспериментальных испытаний

Э1.01.01.00 ПМ

№ 1

«03» декабря 2018 г.

- 1. Объект испытания:** Экспериментальный образец роботизированного сортировочного узла, 1 шт
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4.3.36-4.3.38 Технического задания
- 3. Дата начала испытания:** 03 декабря 2018 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 03 декабря 2018 г.
- 5. Место проведения испытания:** НТЦ «Автоматизированные технические системы», г. Москва, ул. Автозаводская 16, аудитория 32-11.
- 6. Средства проведения испытаний**

Визуальный контроль.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Номера пунктов			Результат	Примечание
	Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний		
модуль обмена данными с ППрО УКЗМ	4.3.36 а)	4.128	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль обмена данными с ППрО	4.3.36 б)	4.129	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	

УЗГМ					
модуль обмена данными с ППрО КДВИК	4.3.36 в)	4.130	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль обмена данными с ПМ ВИМ	4.3.36 г)	4.131	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль планирования траектории движения исполнительного органа манипулятора	4.3.36 д)	4.132	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	
модуль синхронизации движения исполнительных звеньев манипулятора и захватной головки	4.3.36 е)	4.133	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	
планирование траектории движения исполнительного органа манипулятора для последовательного выполнения манипуляций над объектами, находящимися на	4.3.37 а)	4.134	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	

конвейерной ленте					
оптимизация траектории с учётом ограничений на рабочую зону манипулятора и скорости движения конвейерной ленты	4.3.37 б)	4.135	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	
визуальный контроль рабочей зоны манипулятора	4.3.37 в)	4.136	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	
взаимодействие с модулем управления кинематическими звеньями манипулятора	4.3.37 г)	4.137	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	
взаимодействие с модулем комплексирования данных	4.3.37 д)	4.138	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	
взаимодействие с модулем управления захватной головкой манипулятора	4.3.37 е)	4.139	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	
передача	4.3.38 а)	4.140	6.20	[соответствует требованиям ТЗ]	

информации и управление должны осуществляться через один из возможных интерфейсов: Ethernet, RS-232, Wi-Fi, SPI						
---	--	--	--	--	--	--

Таблица А.20.2

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов			Требования к параметру		Измеренное значение		
		Технического задания	Программы исследований	Методик исследований	Номинальное значение	Предельное отклонение	Нормальные условия	Во время воздействия	После воздействия
скорость обмена данными с контроллерами и приводов не менее 115200 Кбит/с	Кбит/с	4.3.38. б	4.141	6.20	115200	-	921600	-	-

8. Замечания и рекомендации

Замечаний нет.

9. Выводы

9.1 Объект испытания ЭО РСУ **выдержал** (не выдержал) испытание по пунктам № 4.14-4.16 Программы и методики Э1.01.01.00 ПМ.

9.2 Объект испытания ЭО РСУ соответствует (не соответствует)
требованиям пунктов № 4.3.36-4.3.38 Технических требований.

Испытание проводили

Нормоконтролер



Д.А. Боронников