**Основные результаты проекта, полученные на 2 этапе**

В результате выполнения Этапа 2 ПНИЭР получены следующие значимые результаты:

а) *кинематическая схема дельта-робота*, обеспечивающая 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)

б) *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 трем осям 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.

в) в ходе разработки алгоритма планирования заданий предпочтение отдаётся алгоритму FIFO (первый вошёл – 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.

г) *имитационная модель 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.

д) *проведено моделирование совместной работы* алгоритмов управления дельта-роботом, распознавания типов материалов и объектов, планирования заданий при выполнении сортировки нескольких предметов при помощи имитационной модели роботизированного сортировочного узла. 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.