

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

(наименование)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Эксплуатация транспортных средств

(направленность (профиль))

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка роботизированного участка сборки левого лонжерона  
легкового автомобиля

Обучающийся

К.В. Ильченко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

канд. техн. наук, доцент, А.В. Бобровский

руководитель

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Содержание

Введение .....	3
1 Исходные данные для проектирования.....	8
1.1 Обзор автодетали.....	8
1.2 Исходные данные для операции заклёпка .....	13
1.3 Описание инструмента для клёпки.....	14
1.4 Исходные данные для нанесения клеевого шва .....	18
2 Транспортировка и центрирование автодетали.....	22
2.1 Станция центрирования .....	22
2.2 Транспортировка автодетали .....	27
2.3 Расчёт усилия прижима пневматических зажимов .....	29
2.4 Датчик позиционирования.....	33
2.5 Подбор подходящего промышленного робота .....	33
2.6 Описание движений промышленного робота.....	35
3 Технологическое оборудование процесса сборки.....	37
3.1 Вспомогательная ось расширения для промышленного робота.....	37
3.2 Станция клёпки автодетали .....	40
3.3 Определение типа клёпочного пистолета .....	43
3.4 Клёпка в станции .....	45
3.5 Нанесение клеевого шва .....	52
4 Калибровка рабочего инструмента .....	56
5 Рабочая зона промышленного робота производственного участка .....	60
6 Настройка и программирование робота.....	67
6.1 Настройка оборудования робота .....	67
6.2 Программирование робота.....	69
Заключение .....	72
Список используемых источников.....	74

## Введение

Применение роботов в промышленности началось, по историческим меркам, не так давно — чуть больше, чем «полвека назад, но сейчас уже мало какое производство можно представить себе без автоматических линий, без стальных манипуляторов и зорких стеклянных зрачков роботов — эти железные ребята прочно вошли в большинство производственных процессов и уходить не собираются» [22, 35].

Промышленная робототехника является одним из «новых направлений автоматизации производственных процессов, начало развития, которого в нашей стране относится к последнему десятилетию. Комплексный подход к решению технико-экономических и социальных задач, связанных с внедрением их промышленных роботов (ПР), позволил высвободить около 2000 рабочих. В процессе создания, производства и внедрения ПР приходилось сталкиваться с решением ряда сложных научно-технических проблем. Получен большой, опыт по разработке робототехнических комплексов (РТК) и организации автоматизированного производства на базе ПР. Все эти вопросы, получившие отражение в предлагаемой работе, представляют, по нашему мнению, значительный интерес как для широкого круга специалистов, конструкторов и производителей различных отраслей, которые заняты в настоящее время работой по увеличению производства и широкому применению ПР» [5, 19, 20, 22] во всех отраслях народного хозяйства, так и для всех специалистов, работающих в области автоматизации производственных процессов.

Современный этап научно-технической революции характеризуется комплексной автоматизацией производства на базе систем машин--автоматов. До недавних пор в основном применяли специализированные автоматы и автоматические линии, незаменимые в массовом производстве, но нерентабельные в условиях серийного и мелкосерийного производства из-за высокой стоимости, а также длительности разработки, внедрения и

переналадки их на новую продукцию» [21, 22]. Традиционное управляемое вручную оборудование обеспечивает достаточную гибкость производства, но требует применения квалифицированного труда рабочих и имеет низкую производительность.

За последние десятилетия автоматизация основных технологических операций «(формообразование и изменение физических свойств деталей) достигла такого уровня, что вспомогательные операции, связанные с транспортировкой и складированием деталей, разгрузкой и загрузкой технологического оборудования, выполняемых вручную либо с помощью существующих средств механизации и автоматизации, являются тормозом как в повышении производительности труда, так и в дальнейшем совершенствовании технологии. Обычными методами с помощью существующих технических средств невозможно автоматизировать сборочные, сварочные, окрасочные и многие другие операции. Все это привело к острым противоречиям между совершенством промышленной техники и характером труда при ее использовании, потребностью в трудовых ресурсах и их фактическим наличием, требованиями интенсификации производственных процессов и ограниченными психофизиологическими возможностями человека. Эти причины социального, экономического и технического характера, ставшие основными сдерживающими факторами в развитии производства и дальнейшем повышении производительности труда, а также современные достижения в создании орудий производства, вычислительной техники и электроники привели к бурному развитию робототехники - отрасли, создавшей и производящей новую разновидность автоматических машин - промышленные роботы» [1, 20, 22]. По замыслу разработчиков эти машины предназначены для замены человека на опасных для здоровья, физически тяжелых и утомительно однообразных ручных работах. Свое название они получили благодаря реализованной в них идеи моделирования двигательных, управляющих и, в некоторой степени, приспособительных функций рабочих, занятых на повторяющихся трудовых

операциях по разгрузке-загрузке технологического оборудования, управлению работой этого оборудования, межоперационному перемещению и складированию деталей, а также на различных сборочных, сварочных, окрасочных и других операциях, выполняемых с применением переносных орудий труда.

Промышленные роботы (ПР) оказались тем недостающим звеном, появление которого позволило решать задачи комплексной автоматизации на более высоком уровне, объединяя средства производства предприятия в единый автоматизированный комплекс. [22]

Цель работы является повышение качества сборочного участка посредством роботизации технологических операций, таких как транспортировка автодетали, нанесение клеевого шва, клёпка. Объектом является кузовной элемент автомобиля, представляющий собой усиленную литую деталь. На рассматриваемом участке сборки предусмотрены следующие технологические операции: транспортировка с последующим нанесением клеевого шва, нанесение заклёпок, затем нанесение дополнительного клеевого шва» [22] с последующей передачей на следующий этап сборки.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Анализ задания на проектирование сборочного участка
2. Формирование спецификации оборудования для технологического процесса;
3. Разработка основного оборудования для центрирования, позиционирования и фиксации детали;
4. Анализ динамических и статических нагрузок на оси промышленного робота с последующим определением допустимой грузоподъёмности промышленных роботов;
5. Получение координат местоположения основного технологического оборудования относительно цехового нуля координат;

6. Конфигурирование и программирование управляющего контроллера промышленных роботов;
7. Программирование рабочих и переключаемых зон промышленных роботов.

Предметом исследования является симуляция роботизированного участка сборки левого лонжерона легкового автомобиля.

Применяемый метод исследования – программное моделирование в современных САПР.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Двухстороннее транспортирующее устройство для перемещения детали и нанесения клеевого шва выделенные области;
- Разработанная станция для позиционного центрирования лонжерона посредством пневматических упоров;
- Пространственное положение оборудования для организации циклической работы сборочного участка;
- Сформированные рабочие зоны промышленного робота, ограничивающие свободное перемещение робота в пространстве;
- Конфигурация и управляющие программы промышленных роботов.

Научной новизной работы являются разработанные и спроектированные для проведения технологических операций в рамках лонжерона устройства, их взаимодействие, расположение и безаварийное использование в ходе выполнения технологических операций.

Практическая значимость проекта заключается в возможности применения полученных цифровых данных в виде компьютерной модели сборочного участка цеха для создания сборочного участка на производстве. Использование координат расположения оборудования относительно цехового начала координат позволит расположить оборудование в пределах досягаемости промышленных роботов и сформировать непрерывную линию сборки кузовной части автомобиля; изготовление оборудования по

спроектированным компьютерным моделям гарантирует безаварийную совместимость взаимодействующего оборудования и повреждений кузовной детали или подвижных частей оборудования; применяемое программное обеспечение позволяет симулировать движения промышленного робота и подготовить программные данные для реализации движения промышленного робота, это позволяет исключить программирование движений промышленных роботов «на месте» в цеху, что значительно снижает экономические затраты на реализацию проекта; разработка системы безопасности позволяет исключить несчастные случаи на производстве, что также снижает экономическую нагрузку.

## **1 Исходные данные для проектирования**

Исходное задание для проектирования технологического процесса включает в себя: общее описание технологического процесса соединения деталей, основные требования и условия к проекту, регламентирующие взаимодействие окружающего оборудования с человеком и другим оборудованием.

### **1.1 Обзор автодетали**

Автодеталь представляет собой нижний боковой элемент кузова, выполненный с рёбрами жёсткости для повышения прочности. На рисунке 1 жёлтым цветом выделена автодеталь, сборка которой начинается на проектируемом участке. На рисунке 2 представлена автодеталь отдельно от сборки, масса автодетали 11,635кг. Материал изготовления автодетали не позволяет использовать точечную контактную сварку для соединения автодеталей, поэтому основной способ соединения автодеталей является заклёпка с применением клёпочного пистолета. Для транспортировки автодетали необходимо определить места фиксации и позиционирования в захватном устройстве, фиксация должна быть осуществлена таким образом, чтобы лишить автодеталь всех степеней свободы.

Фиксация автодетали выполнена посредством пневматических поворотных зажимов, для определения типа пневматического зажима было проведён расчёт прижимного усилия, представленного в разделе 2. Позиционирование автодетали в захватном устройстве осуществлялось с применением статичных позиционирующих цилиндров, выполненных в виде конусообразных выдвигных цилиндров. Для ограничения степеней свободы автодетали минимальное количество позиционирующих цилиндров 2 шт. [1, 10]. Отслеживание наличия автодетали в захватном устройстве



осуществлялось посредством установленных датчиков присутствия, срабатывающих на малом расстоянии 3-5мм.

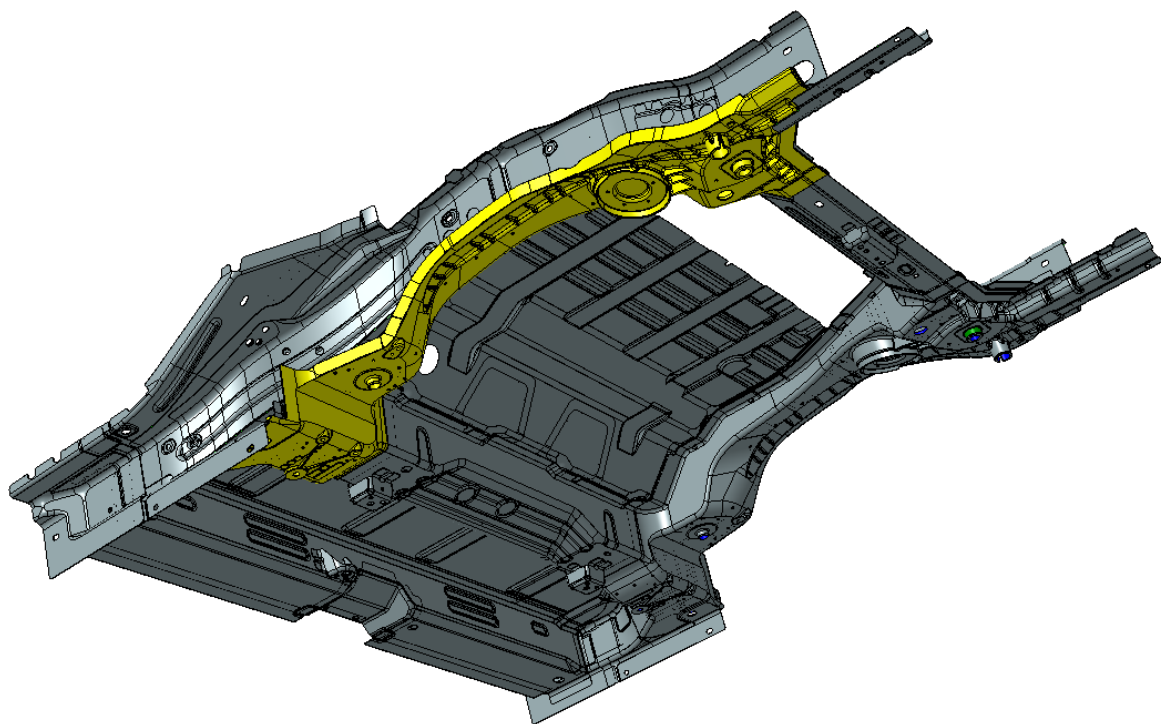


Рисунок 1 – Внешний вид автодетали в сборке

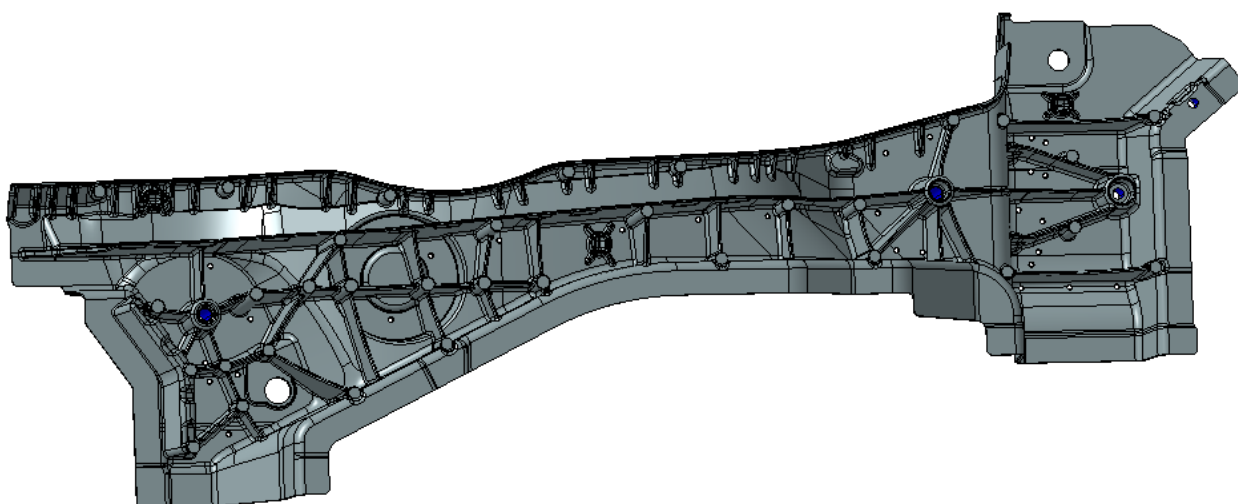


Рисунок 2 – Сборочная автодеталь

Определение точек прижима было проведено на основании технологического процесса и занимаемой этим процессом области автодетали [16, 20].

На рисунке 3 представлены места прижима и отверстия для позиционирования автодетали в процессе транспортировки.

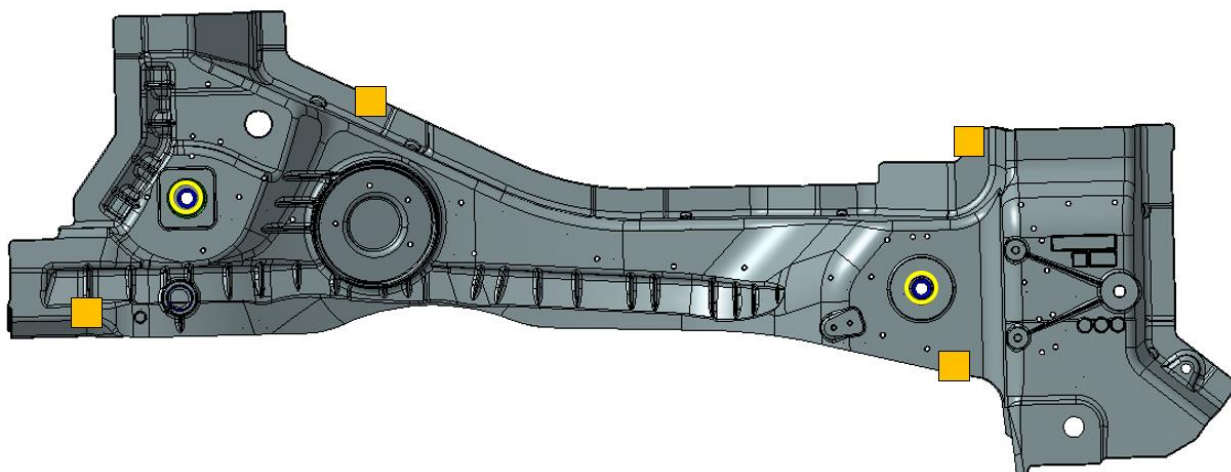


Рисунок 3 – Места фиксации и позиционирования автодетали

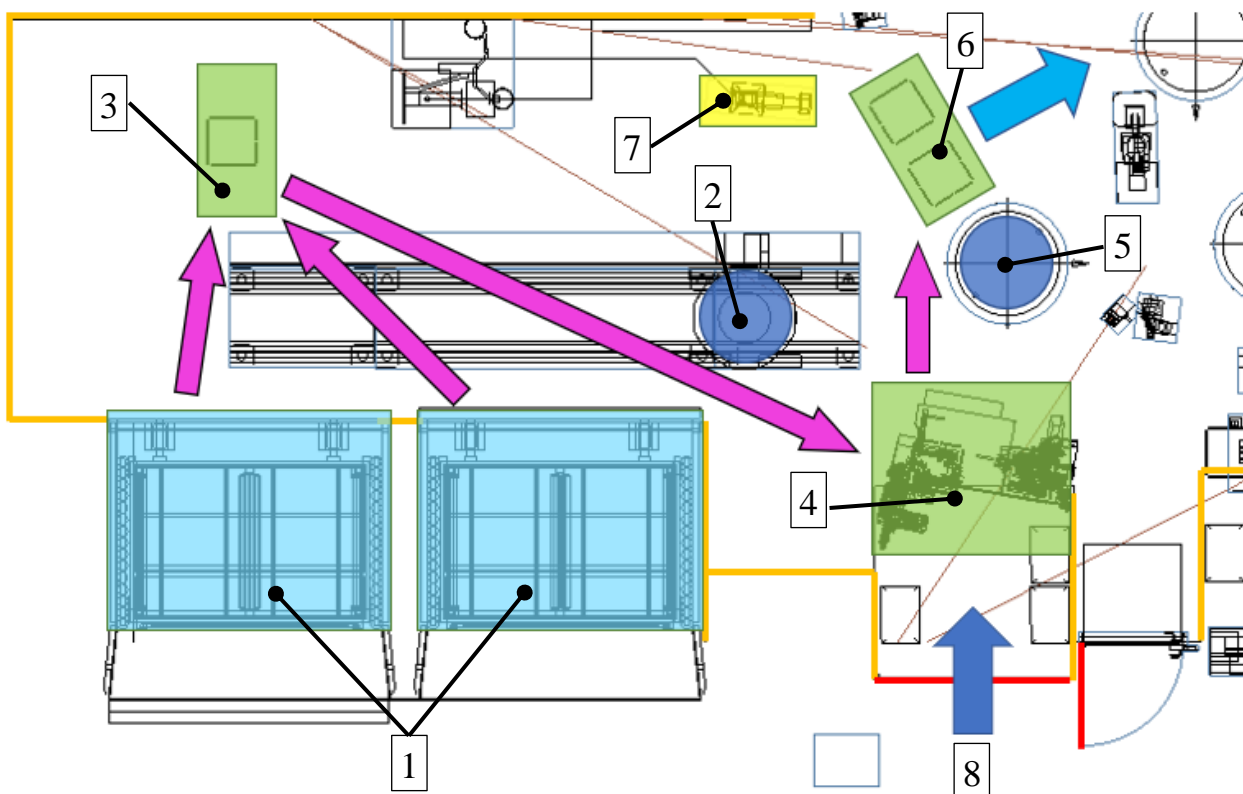
Рассмотрим последовательность выполнения технологических операций для рассматриваемого участка сборки:

- оригинальная деталь поступает на участок сборки в контейнере;
- робот забирает деталь и наносит клеевой шов;
- после нанесения клеевого шва робот закладывает деталь в станцию обработки для соединения дополнительных деталей посредством заклёпок;
- после соединения деталей заклёпками, наносится клеевой шов;
- затем деталь в сборке закладывается для соединения с другой деталью посредством заклёпок;
- в завершении собранная деталь передаётся на следующий участок сборки.

Поскольку процесс полностью роботизирован, то количество стартовых контейнеров должно предусматривать взаимозаменяемость, то есть если в одном контейнере заканчиваются детали, то робот использует контейнер 2, в это время происходит замена пустого контейнера. Таким образом условиям

технологического процесса необходимо предусмотреть наличие двух контейнеров.

На рисунке 4 представлена схема технологического процесса сборки:

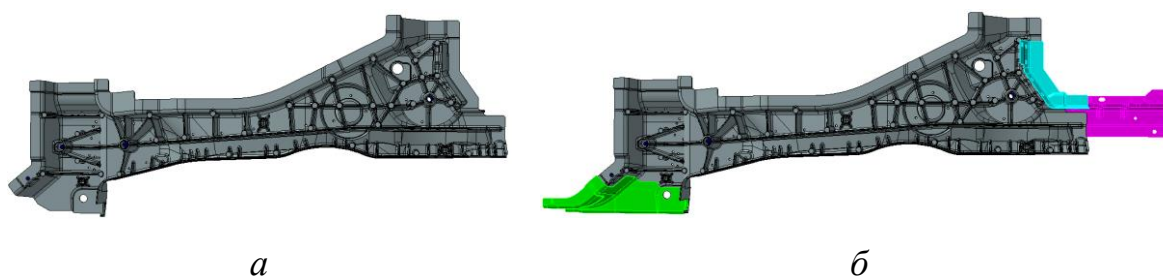


1 – контейнер основной и запасной с деталями; 2 – робот с дополнительной расширенной линейной осью; 3 – станция центрирования детали; 4 – станция для клёпки; 5 – робот с клёпочным пистолетом; 6 – станция для передачи автодетали на следующий этап сборки; 7 – магазин загрузки клёпок в клёпочный пистолет; 8 – проход для обслуживающего персонала

Рисунок 4 – Схема технологического процесса сборки:

Робот 2 (рисунок) берёт деталь из контейнера 1 и отправляется на станцию центрирования, для того, чтобы повысить точность позиционирования детали в захватном устройстве. В контейнере детали располагаются с погрешностью  $\pm 10\text{мм}$ , такое значение погрешности не позволяет точно спозиционировать деталь в захватном устройстве, это значит, что позиционирующие цилиндры не попадут в технологические отверстия детали. Чтобы устранить такую высокую погрешность была разработана

станция центрирования. Принцип работы станции заключается в том, что она имеет наклон по 2-м осям и направляющие, что позволяет детали под действием гравитации скатиться в нижний угол. Данное положение однозначно интерпретирует положение детали в пространстве и робот может безошибочно определить положение технологических отверстий. После завершения центрирования робот относит спозиционированную деталь для нанесения клеевого шва возле стойки 4. Затем, деталь поступает на станцию заклёпки 5, где робот 6 с клёпочным пистолетом производит соединение деталей по схеме, представленной на рисунке 5.



а – исходная деталь из контейнера  
б – деталь после заклёпки на станции 5 (рисунок 4)

Рисунок 5 – Схема соединения деталей

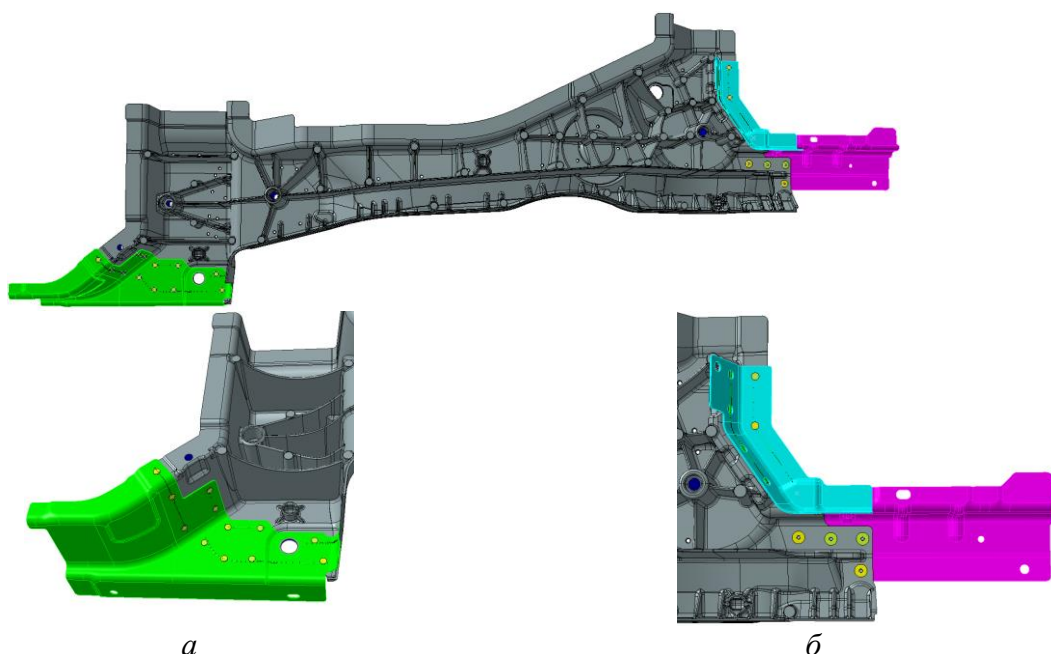
После клёпки, робот 2 перекладывает сборную деталь рисунок 5б из станции 4 на станцию 6, где деталь забирает промышленный робот на следующий участок сборки. Поскольку автодетали поступают на станцию 4 в незакреплённом виде, путём укладывания основной детали промышленным роботом, с дальнейшим доукладыванием трёх деталей обслуживающим персоналом. После установки всех деталей станция 4 зажимает пневматическими зажимами сборочную автодеталь, после чего происходит соединение автодеталей посредством клёпок. Клёпки наносятся промышленным роботом специальным клёпочным пистолетом. Основная задача клёпочной станции 4 это надёжная фиксация и высокоточное позиционирование деталей, по причине этого приоритета станция изобилует

количеством прижимных механизмов, в связи с этим особое внимание было уделено траектории движения клёпочного инструмента в процессе клепания. Станция 6 лишена необходимости высокоточного позиционирования и фиксации деталей, поскольку детали уже скреплены минимальным количеством точек и не могут быть смещены друг относительно друга. На основании этого в станции 7 присутствуют только минимально необходимые прижимные механизмы, что позволяет в значительной степени уменьшить оснащение, размеры и увеличить пространственную свободу внутри станции.

По завершении дозаклёпочной операции 6-м роботом, соседний робот забирает деталь из станции и отправляет на следующий этап сборки.

## 1.2 Исходные данные для операции заклёпка

На рисунке 6 показано расположение точек для соединения деталей основной и дополнительных.



*a* – соединение передней детали;  
*б* – соединение двух задних деталей

Рисунок 6 – Положение точек соединения деталей:

Как видно из рисунка ба первая деталь соединяется с основной деталью посредством 12 заклёпок, вторая деталь рисунка бб, окрашенная бирюзовым цветом соединяется с основной деталью посредством двух заклёпок и третья деталь, окрашенная фиолетовым цветом имеет 4-е точки соединения. Вес автодетали до сборки составляет 11,635кг, вес итоговой сборки составляет 13,606кг.

### **1.3 Описание инструмента для клёпки**

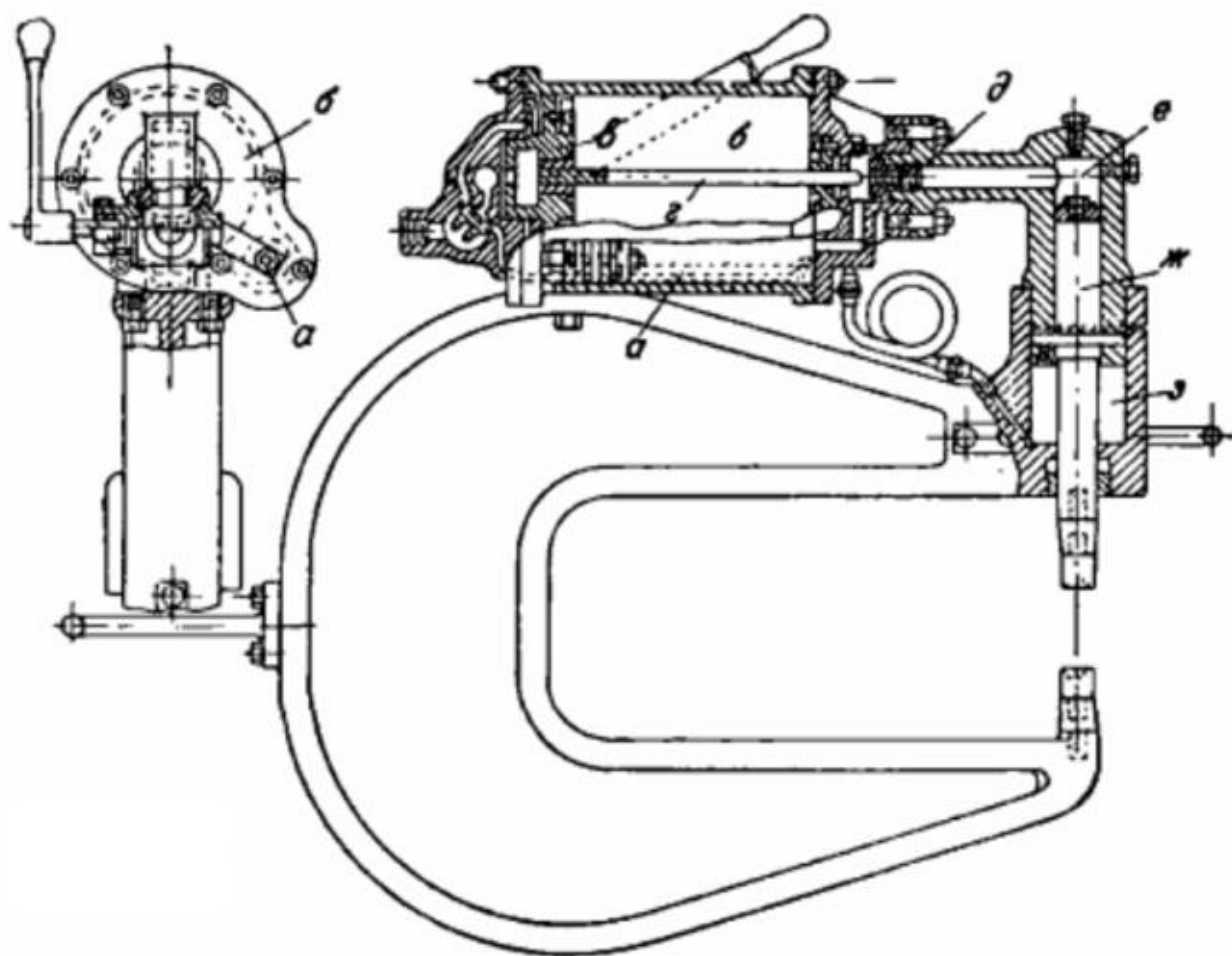
Необходимость применения клёпочной технологии соединения автодеталей основано на том, что основная автодеталь – левый лонжерон выполнен из особого сплава алюминия, не позволяющего применять точечную контактную сварку. Для обеспечения надёжности соединения в будущем учтена возможность модернизации технологического процесса и включения операции нанесения клеевого шва в область расположения точек клёпки.

«Машинная клепка производится на гидравлических, пневматических, паровых, электрических и трансмиссионных клепальных машинах. Наибольшее распространение получили два первых вида. Клепальные машины делятся на стационарные и переносные. Первые состоят из станины с длинным зевом, на верху которой укреплены рабочие органы машины» [34].

Гидравлическая клёпка, при правильном выборе рабочих давлений и продолжительности клёпки, является одной из самых надёжных, особенно для клёпки крупных диаметров, при которых она превосходит ударную. Однако, неправильности в отношении выбора значений этих двух факторов могут совершенно уничтожить ее преимущества, поэтому над ними необходим самый тщательный контроль. Обычно он осуществляется при помощи самопишущих манометров, регистрирующих как высоту применявшегося давления, так и продолжительность клёпки. На крупных западно-европейских заводах весь контроль клепального процесса бывает централизован в помещении цехового инженера, а рабочий, ведущий клёпку, сообразуется при

выборе давления и времени зажатия с особыми таблицами; перед его глазами помещены манометр и электрические секундные часы, стрелка которых пускается в ход автоматически, по достижении давлением в цилиндрах прессы предельной, назначаемой в зависимости от диаметра [34] клёпки, величины.

Пневматическая клепальная машина с гидравлической передачей изображена на рисунке 7; передача совершается посредством масла, заполняющего без остатка пространство под поршнем цилиндра *a*, равно как и полость *e*.



*a, б* – цилиндры; *в* – поршень; *г* – плунжер; *д* – лабиринтовый сальник;  
*е* – полость; *ж* – прессовый поршень; *з* – кольцевое пространство

Рисунок 7 – Пневматическая клепальная машина с гидравлической передачей

«Для экономии сжатого воздуха здесь применены два отдельных цилиндра *a* и *б*, из которых меньший служит для опускания обжимки, а поршень *в* большего приводит в движение плунжер *г*; последний входит через лабиринтовый сальник *д* в полость *е* над прессовым поршнем *ж*, причем эта полость разобщается, таким образом, от цилиндра *а*. Дальнейшее продвижение плунжера вызывает движение обжимки при увеличенном, в прямом отношении площадей поршня и плунжера, давлении. Для подъема обжимки служит кольцевое пространство *з*» [34].

Штамповка и соединение за один шаг: заклепка пробивает все слои листа. Слой на стороне штампа сформирован таким образом, что материал поступает в кольцевую канавку заклепки и образует подрез. Это заклепочное соединение может быть сформировано заподлицо с обеих сторон и идеально подходит для соединения высокопрочных материалов.

Для промышленного применения возможны несколько вариантов исполнения клёпочного инструмента: первое это установка клёпочного инструмента на консоли и клёпка детали навесу в захватном устройстве робота. В данном случае все прижимные механизмы для фиксации и позиционирования деталей крепятся на захватном устройстве, делая его чрезмерно тяжёлым. Второе это установка клёпочного пистолета на фланце робота. Данное исполнение уменьшает нагрузку на робота, поскольку прижимные механизмы будут размещаться на станции, однако возникает необходимость подачи заклёпок в инструмент. Первое решение это подача заклёпок через питающий шланг, рисунок 8а. Второе решение это установка специального питающей станции, к которой робот будет подносить инструмент и загружать заклёпки, рисунок 8б.



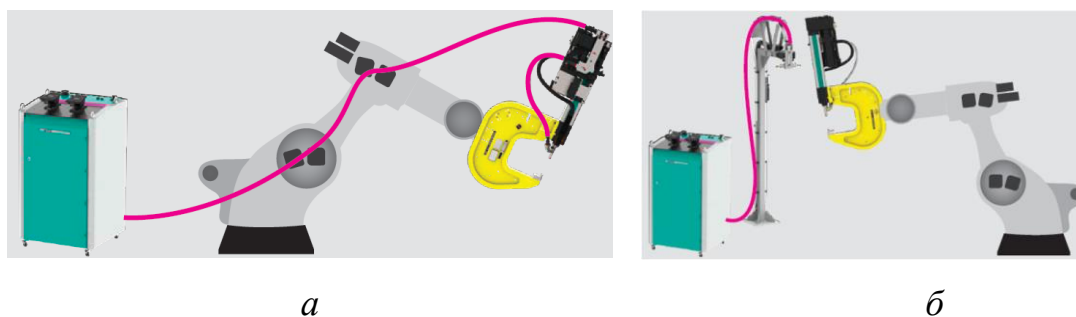


Рисунок 8 – Способы монтажа клёпочного пистолета

Для рассматриваемого технологического процесса клёпки применена технология соединения сплошными пробойными заклёпками. Пуансон проталкивает заклепку через слои листового металла до тех пор, пока заклепка не окажется на одном уровне с поверхностью детали со стороны пуансона. Во время последующих перепечаток пуансон и стриппер прижимают материалы к кольцу штампа для тиснения. Материал со стороны штампа затекает в кольцевую канавку заклепки, и создается соединение с геометрическим замком и принудительной посадкой. На рисунке 9 представлена последовательность соединения сплошными пробойными клёпками, цифрами указаны этапы клёпки.

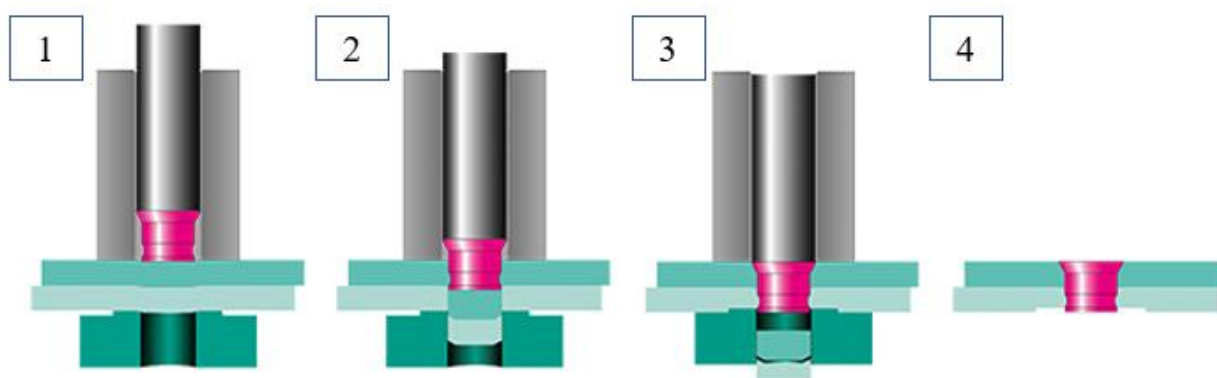
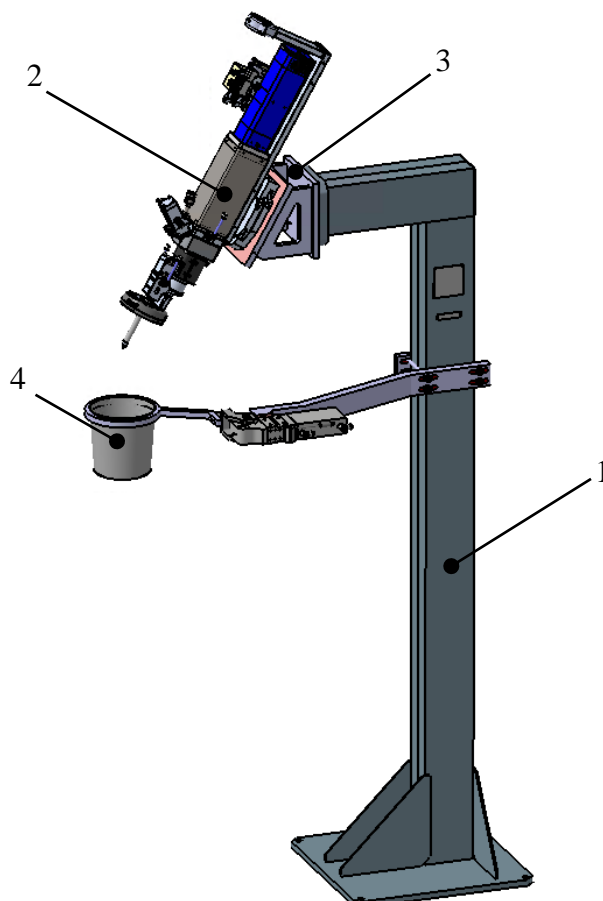


Рисунок 9 – Последовательность соединения сплошными пробойными клёпками

#### 1.4 Исходные данные для нанесения клеевого шва

Для нанесения клеевого шва было применено стандартное оборудование, представленное на рисунке 10: клеевая стойка 1, клеевой пистолет 2, адаптер наклона клеевого пистолета под угол 45градусов 3, откидная ёмкость для сбора излишков клеевой массы 4.



1 – клеевая стойка; 2 – клеевой пистолет; 3 – адаптер наклона пистолета; 4 – откидная ёмкость для сбора излишков клеевой массы

Рисунок 10 – Стандартный набор оборудования для нанесения клеевого шва

Клеевые швы располагаются на поверхности основной детали в местах соединения. На рисунке 11 представлены позиции 1-7 для нанесения клеевых швов. Швы располагаются таким образом, чтобы склеить детали,

устанавливаемые на станции клёпки. Сочетание клея и клёпки позволит сделать соединение очень прочным и надёжным во всех направлениях.

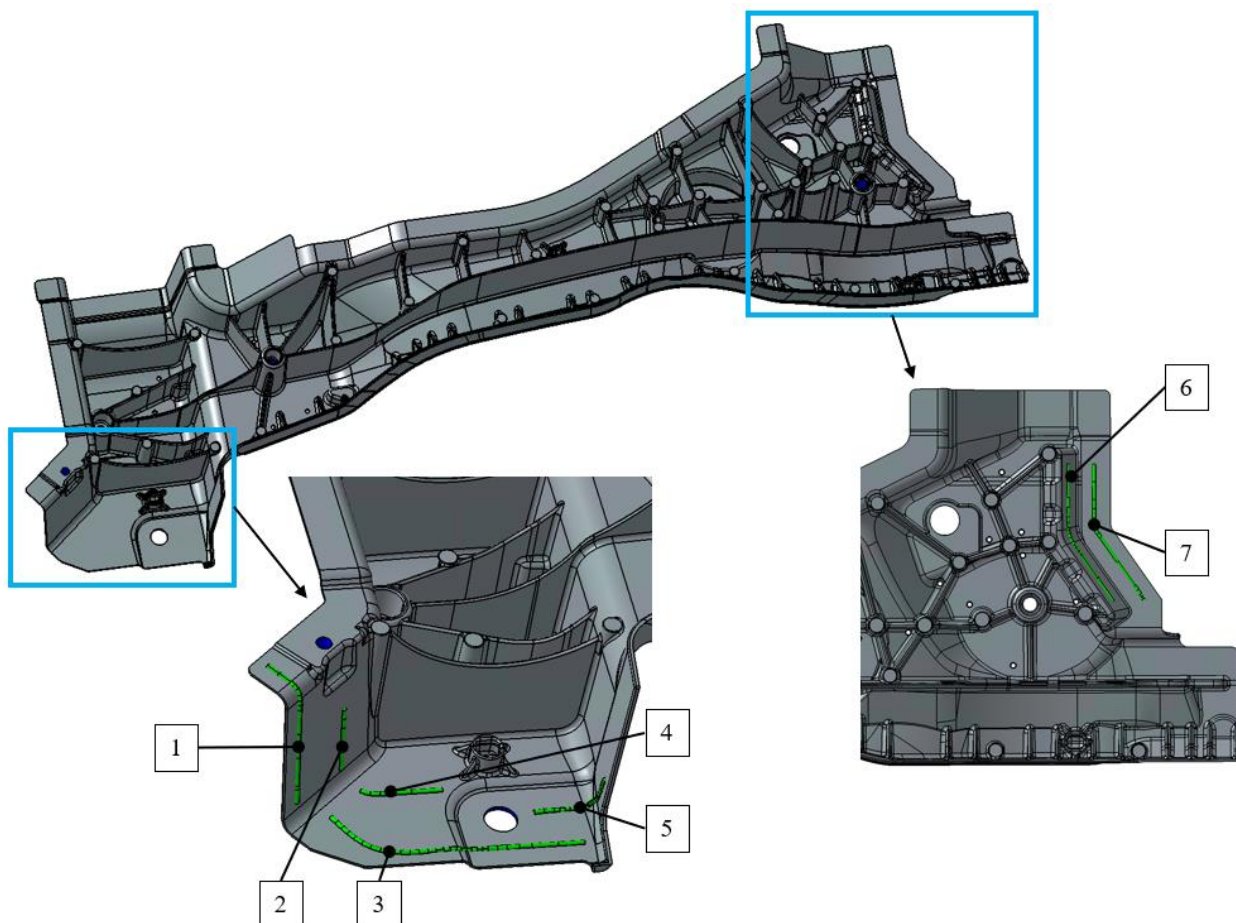


Рисунок 11 – Позиции нанесения клеевых швов

Для контроля клеевых швов предусмотрена высокоточная камера слежения, установленная на сопле клеевого пистолета. Она позволяет отслеживать ширину и протяжённость клеевого шва. На основании этих данных контроллер делает вывод о переизбытке или недостатке клеевой массы в процессе нанесения и принимает решение увеличить или уменьшить скорость подачи клея.

Для подачи клея предусмотрены ёмкости хранения клеевой массы. На рисунке 12 представлен насос с двумя бочками, для параллельной работы емкостей.

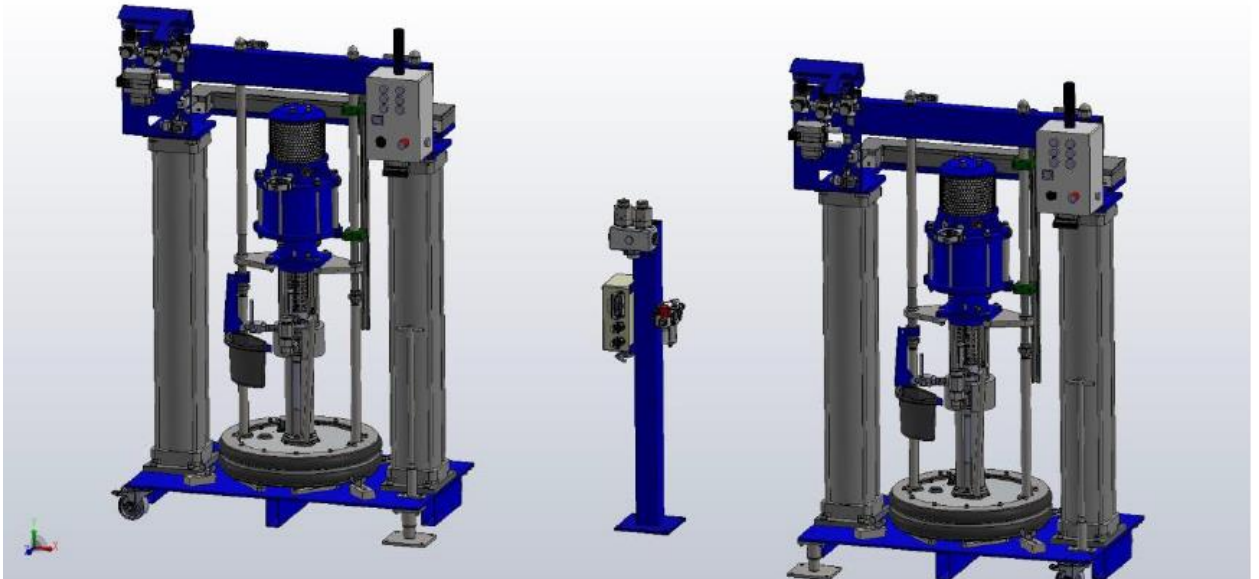


Рисунок 12 – Насос с двумя параллельными емкостями с клеем

Насос состоит из трех частей: два бочковых насоса и отдельная центральная стойка, на которой установлен распределитель клеевой массы с обратными клапанами, распределитель тепла с 10 отопительными контурами и блок обслуживания пневмосистемы. Бочковые насосы установлены на опорных плитах высотой 100 мм, что обеспечивает доступ к ним обслуживающего персонала. Плиты оснащены 1 регулируемой опорой, которая действует как шарнирное соединение и крепится к земле, а также тремя роликами, используемыми для поворота стойки насоса.

Необходимо соблюдать зазоры от соседних частей системы, необходимые для обслуживания и замены бочек. Для обеспечения оптимального доступа необходимо соблюдать пространство для обслуживания в 200 мм за насосом. Размещение упора должно быть организовано на полу за бочковыми насосами. Это определяет конечное положение бочкового насоса, чтобы сохранить пространство для обслуживания и избежать превышения занимаемого пространства насоса с заполненной бочкой. Распределение клеевого потока по направлениям осуществляется посредством Y-образного распределителя.

На рисунке 13 представлен чертёж клевого насоса со спаренными клеевыми бочками.

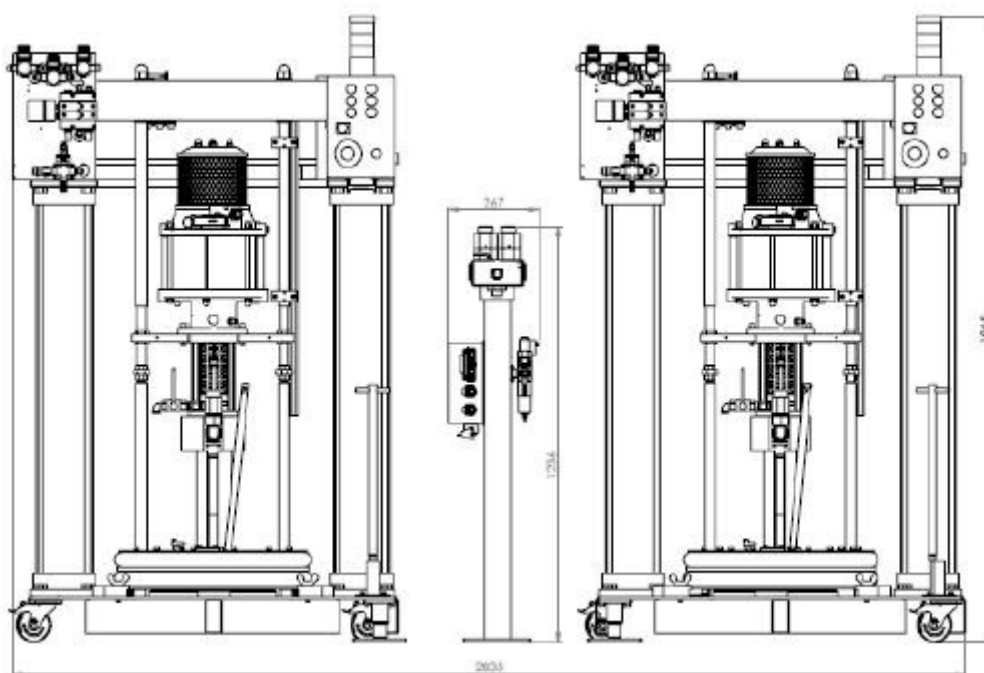


Рисунок 13 – Чертёж клевого насоса со спаренными клеевыми бочками

В результате анализ стартовых данных и изучения технологического процесса было определено основное оборудование, участвующее в процессе работы сборочной линии. Также были рассмотрены технологии нанесения клевого состава и клёпок с применением специализированного инструмента [33, 34]. Обозначено положение клеевых швов, а также точек соединения автодеталей посредством клёпки. Сформирована последовательность действий для каждой технологической операции.

## **2 Транспортировка и центрирование автодетали**

### **2.1 Станция центрирования**

Расположение автодетали в контейнере осуществляется с отклонением +5мм по двум осям. Это значит, что положение автодеталей может отличаться на 10мм по одной оси. Данное значения является неточным и требуется дополнительная операция, которая позволяет произвести более точное расположение автодетали. Для этой цели была разработана станция центрирования. Принцип работы данного устройства основан на законах физики, а именно гравитационном притяжении автодеталей, которая под действием собственного веса «скатывается» в угол, тем самым относительное расположение автодетали становится закономерным. Для того, чтобы автодеталь «скатывалась» предусмотрен наклон станции 45 градусов в продольном направлении по отношению к горизонтальной линии пола, рисунок 14. При таком угле наклона автодеталь упирается в опоры, рисунок 15, после чего осуществляется выравнивание автодетали в поперечном направлении посредством пневматических зажимов, расположение зажимов представлено на рисунке 15. Пневматические зажимы смещают автодеталь до тех пор, пока она не упрётся в статичные опоры. Таким образом автодеталь будет выравнена и не будет иметь грубого отклонения.

Для отслеживания положения автодетали в процессе позиционирования на станции предусмотрены датчики, срабатывающие на расстояние от 8 до 5мм. В случае, если автодеталь стоит не ровно, то датчик «не увидит» автодеталь и не сможет дать разрешающий сигнал на передачу автодетали на следующий этап.

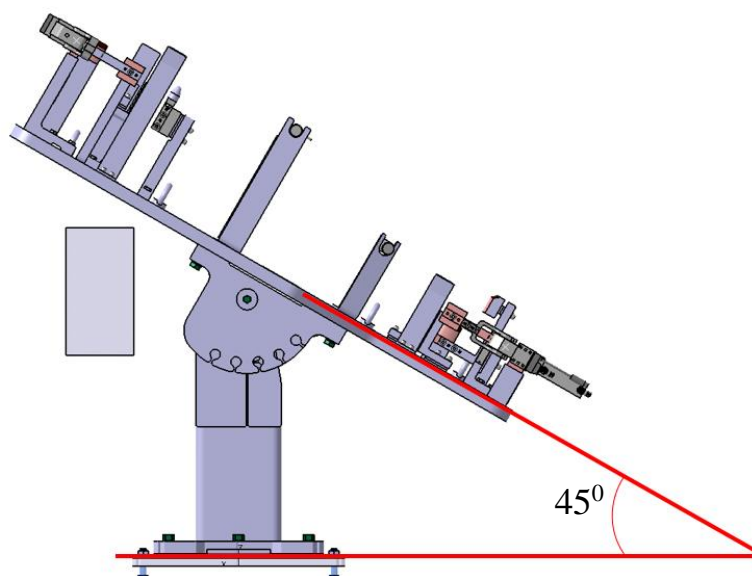
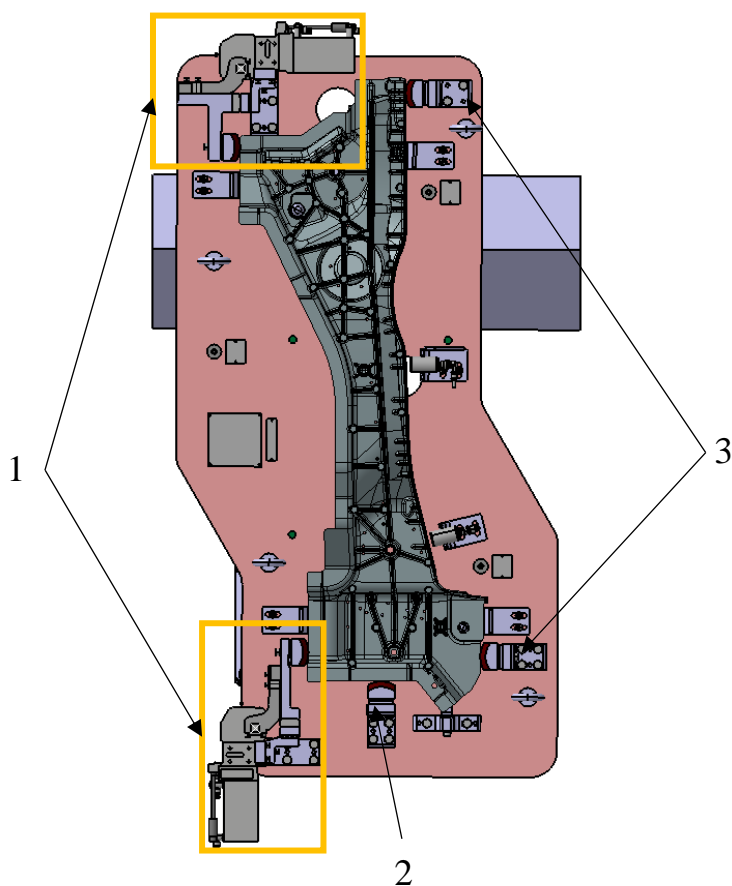


Рисунок 14 – Наклон центрирующей станции в продольном направлении



1 – пневматические зажимы; 2 – опоры продольного выравнивания; 3 – опоры поперечного выравнивания

Рисунок 15 – Расположение пневматических зажимов для выравнивания:

Для управления пневматическими зажимами станция оснащена блоком распределения. Станция имеет два режима работы: 1 – открытое состояние и 2 – закрытое состояние. Функциональная схема работы устройства выглядит следующим образом: в начальный момент времени станция открыта и находится в режиме ожидания, робот получает сигнал от контроллера управления о том, что станция свободна, после чего устанавливает автодеталь на направляющие станции и отпускает; после того как автодеталь была установлена, срабатывают датчики, которые оповещают контроллер управления о том, что станцию можно закрывать; после установки автодетали, робот отходит от детали на небольшое расстояние. В это время станция закрывается и выравнивает автодеталь, после этого робот забирает автодеталь по обновлённым координатам.

Станция оснащена угловым регулятором для выбора угла наклона станции, рисунок 16, фиксирующийся посредством болтового соединения.

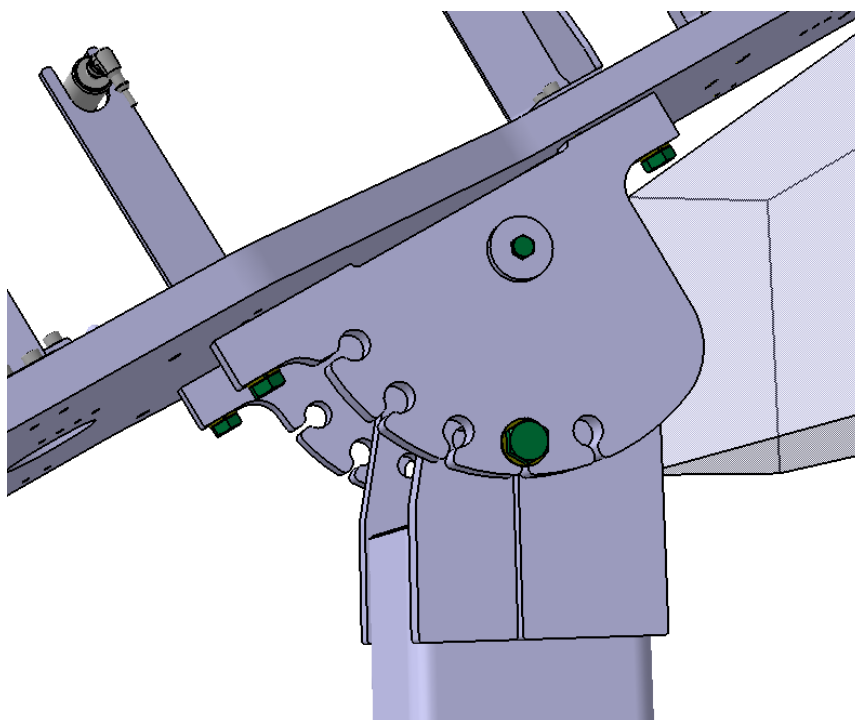


Рисунок 16 – Угловой регулятор станции



Столешница станции выполнена в виде цельного куска материала с рассверленными отверстиями для монтажа оснастки, рисунок 17.

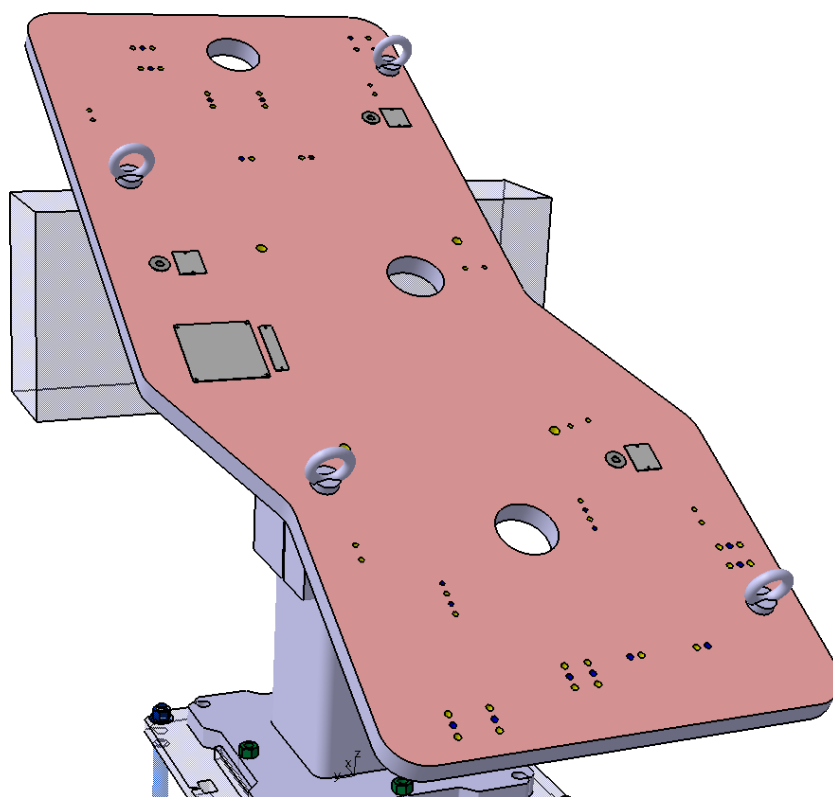
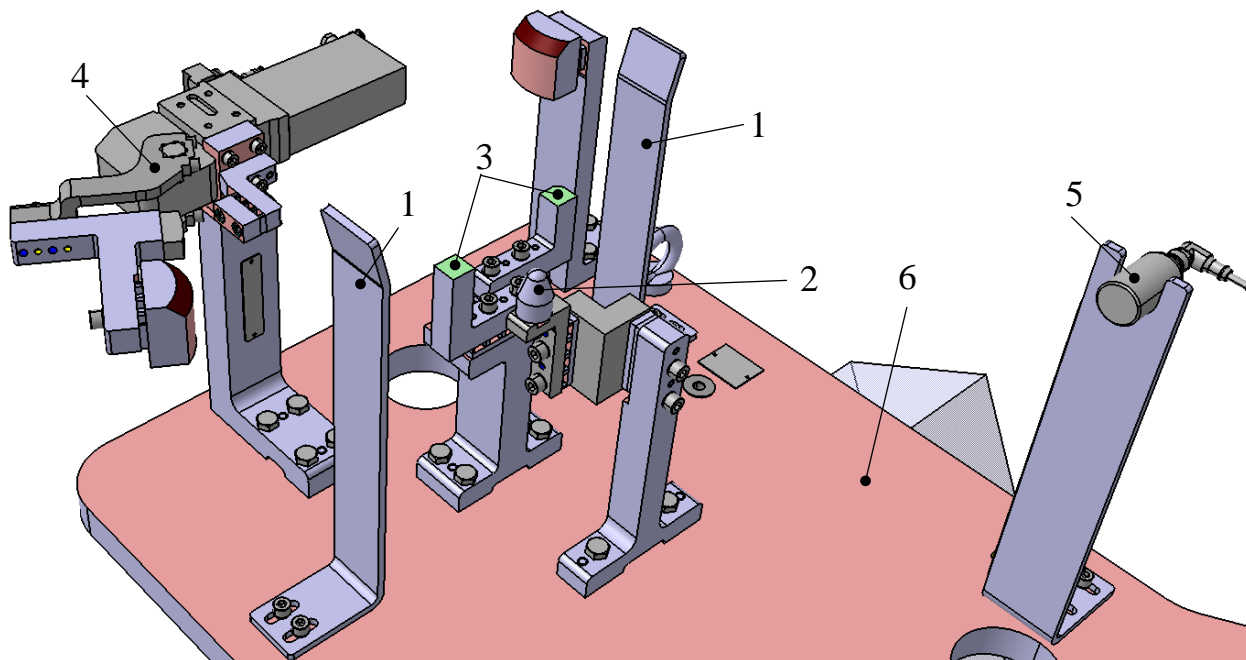


Рисунок 17 – Столешница станции с отверстиями под оснастку

Для транспортировки станции предусмотрены специальные рым-болты, в количестве 4 штук. Вес конструкции без оснастки составляет 81,175кг, после установки оснастки вес всей конструкции будет составлять 86,478кг. Применение EGT системы в процессе проектирования станции позволяет произвести монтаж устройства на производстве с минимальными трудозатратами, также в процессе транспортировки все элементы станции находятся в разобранном состоянии, что гарантирует целостность оснастки. Технологические отверстия в столешнице станции спроектированы с целью подведения кабелей и магистралей сжатого воздуха для пневматических зажимов и датчиков.

Для ограничения осей перемещения автодетали на станции предусмотрены специальные ограничители в виде упоров. На рисунке 18 представлена оснастка станции:



1 – Упоры для ограничения движения автодетали; 2 – Позиционирующий цилиндр для технологического отверстия в автодетали; 3 – Упоры поддержки для удержания автодетали в плоскости столешницы; 4 – Пневматический клапан для выравнивания автодетали (в закрытом положении); 5 – Индуктивный датчик; 6 – столешница для монтажа оснастки

Рисунок 18 – Оснастка станции позиционирования

Автодеталь при поступлении на станцию позиционирования устанавливается на упоры 3, между ограничителями 1. При этом позиционирующий цилиндр 2 совмещается с технологическим отверстием автодетали. После установки автодетали сигнал от индуктивного бесконтактного датчика 5 поступает в контроллер управления, который закрывает пневматические клампы 4 и происходит выравнивание автодетали. Вся представленная оснастка располагается на столешнице 6 по принципу конструктора, путем сборки из набора элементов, представленных в

спецификации изделия. Для вариативности монтажа оснастки упоры и держатель индуктивного датчика выполнены с возможностью смещения в одном направлении.

## 2.2 Транспортировка автодетали

Захватное устройство было разработано с применением технологии EGT. Достоинство данной технологии в модульности и стандартизации основных элементов. Устройство захвата автодетали собирается из набора стандартных элементов по типу конструктора. Согласно технологическому процессу, промышленный робот забирает автодеталь из накопителя, после чего производит центрирование, затем относит на станцию для заклёпки. Перед тем как установить автодеталь на станцию заклёпки необходимо сначала убрать предыдущую автодеталь после проведения операции заклёпки. В связи с этим устройство захвата должно иметь возможность фиксации двух автодеталей одновременно. На рисунке 19 представлена разработанная модель устройства захвата двух автодеталей: серая автодеталь представляет собой цельную деталь, бирюзовая автодеталь представляет собой сборку, схема которой представлена на рисунке 5б.

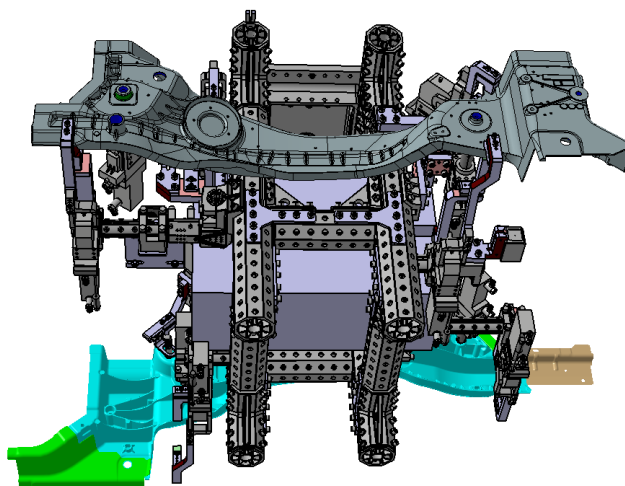
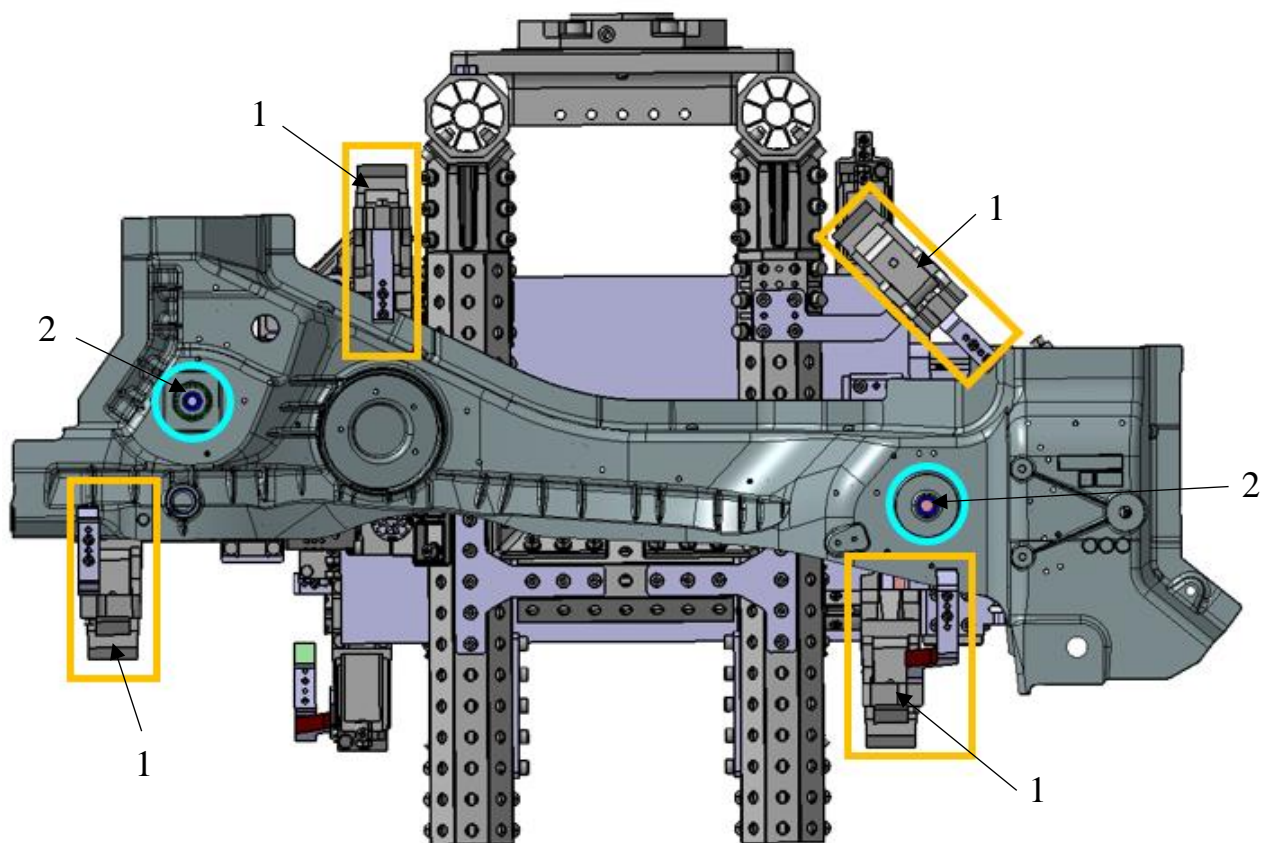


Рисунок 19 – Разработанная модель устройства захвата

Для фиксации автодетали предусмотрены 4-е пневматических зажима и два позиционирующих цилиндра, способствующие центрированию и фиксации автодетали по 5-и степеням свободы, рисунок 20.



1 – пневматические зажимы; 2 – позиционирующие цилиндры;

Рисунок 20 – Места фиксации и центрирования автодетали в устройстве захвата:

Вторая автодеталь, после операции клёпка фиксируется с другой стороны устройства захвата в тех же точках с применением тех же технологических отверстий. Это выполнено с целью унификации устройства и для удобства монтажа на производстве.

Поскольку конструкция устройства получилась весьма массивной для уменьшения веса был применён восьмигранный профиль из особого сплава алюминия. Итоговые данные, полученные в результате компьютерной разработки устройства захвата выглядят следующим образом, рисунок 21.

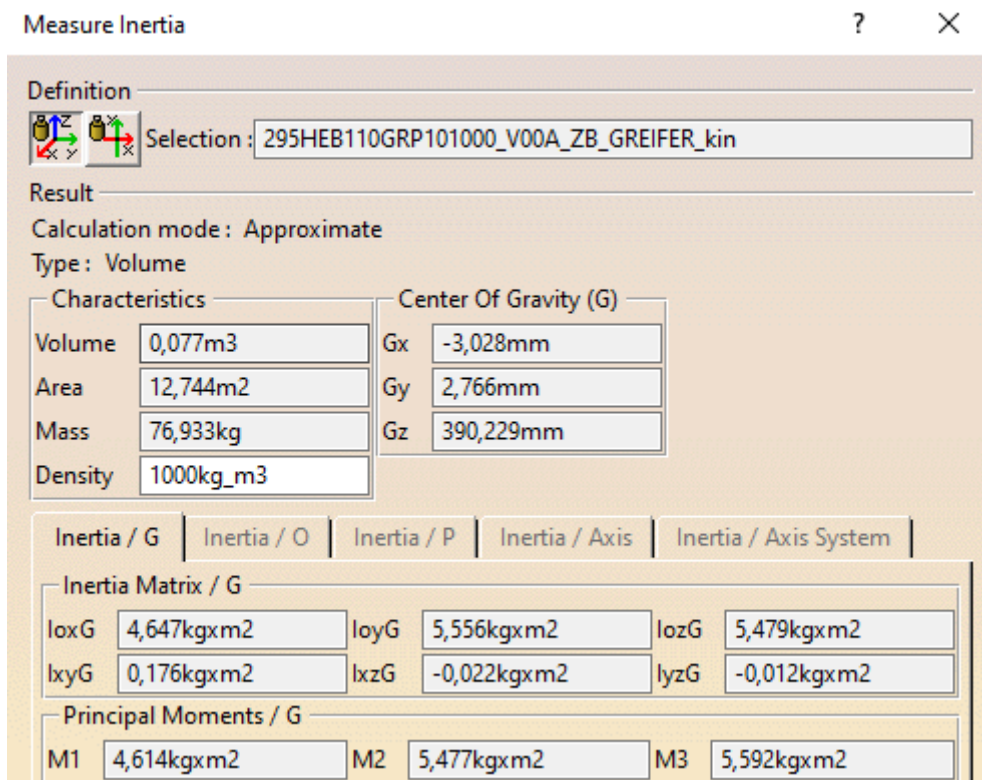


Рисунок 21 – Выходные данные моделирования устройства захвата

Из рисунка видно, что масса устройства без автодеталей составляет 76,9 кг, так же были получены центр масс и момент инерции изделия. Данная информация будет использована в дальнейшем для расчёта нагрузочной характеристики на ось робота.

### 2.3 Расчёт усилия прижима пневматических зажимов

«Для определения конкретного типа зажима необходимо определить требуемую силу зажима (F). Требуемое усилие деформации было установлено

опытным путём и по результатам опыта была выведена упрощённая формула силы зажима» [27, 29]:

$$F = 300 \cdot s^3, \quad (1)$$

где  $s$  – толщина листа в месте прижима.

Все зажимы с поворотным расположением рычага обеспечивают определённый крутящий момент на приводной оси. Формула 2 показывает уменьшение действующей силы зажима в зависимости от длины рычага, рисунок 22:

$$M = F_s \cdot l \rightarrow F_s = \frac{M_{max}}{l}, \quad (2)$$

где  $l$  – длина рычага;

$F_s$  – сила зажима;

$M$  – крутящий момент

После определения необходимой силы зажима в зависимости от положения изготовленной детали, необходимо определить момент зажима:

$$M_s = F_s \cdot l \quad (3)$$

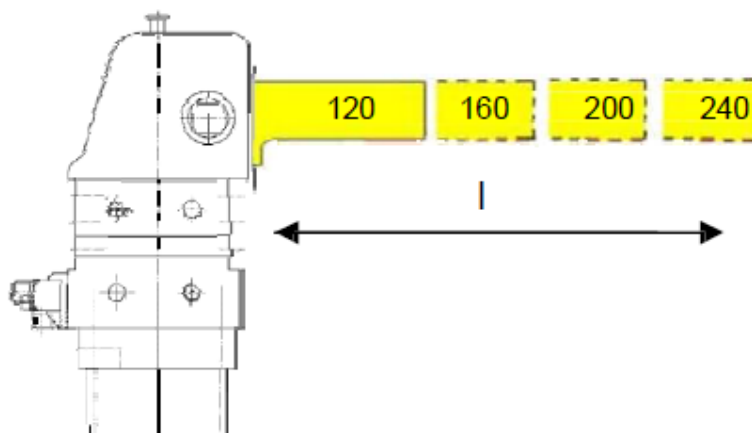


Рисунок 22 – Определение длины зажимного рычага

Для исходной автодетали места зажима имеют толщину металла 3мм.  
По формуле (1) рассчитаем требуемое усилие зажима:

$$F = 300 \cdot (2)^3 = 2400\text{Н}$$

По формуле (3) определим момента зажима:

$$M_s = 2400 \cdot 88 \cdot 10^{-3} = 211,2\text{Нм}$$

По полученному значению определяем из каталога тип применяемого зажима: V63.1 (рисунок 23).

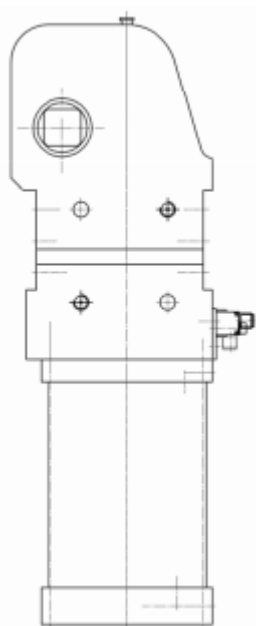


Рисунок 23 – Зажим с рычажным механизмом V63.1

Характеристики выбранного зажимного механизма: диаметр цилиндра 63мм; момент зажима 380Нм; вес 5,7 кг; расход воздуха 500 см<sup>3</sup>.

Для остальных захватов эффективного зажима в 380Нм достаточно для надёжного прижима. Количество применяемых зажимных механизмов равно количеству точек прижима – 4шт.

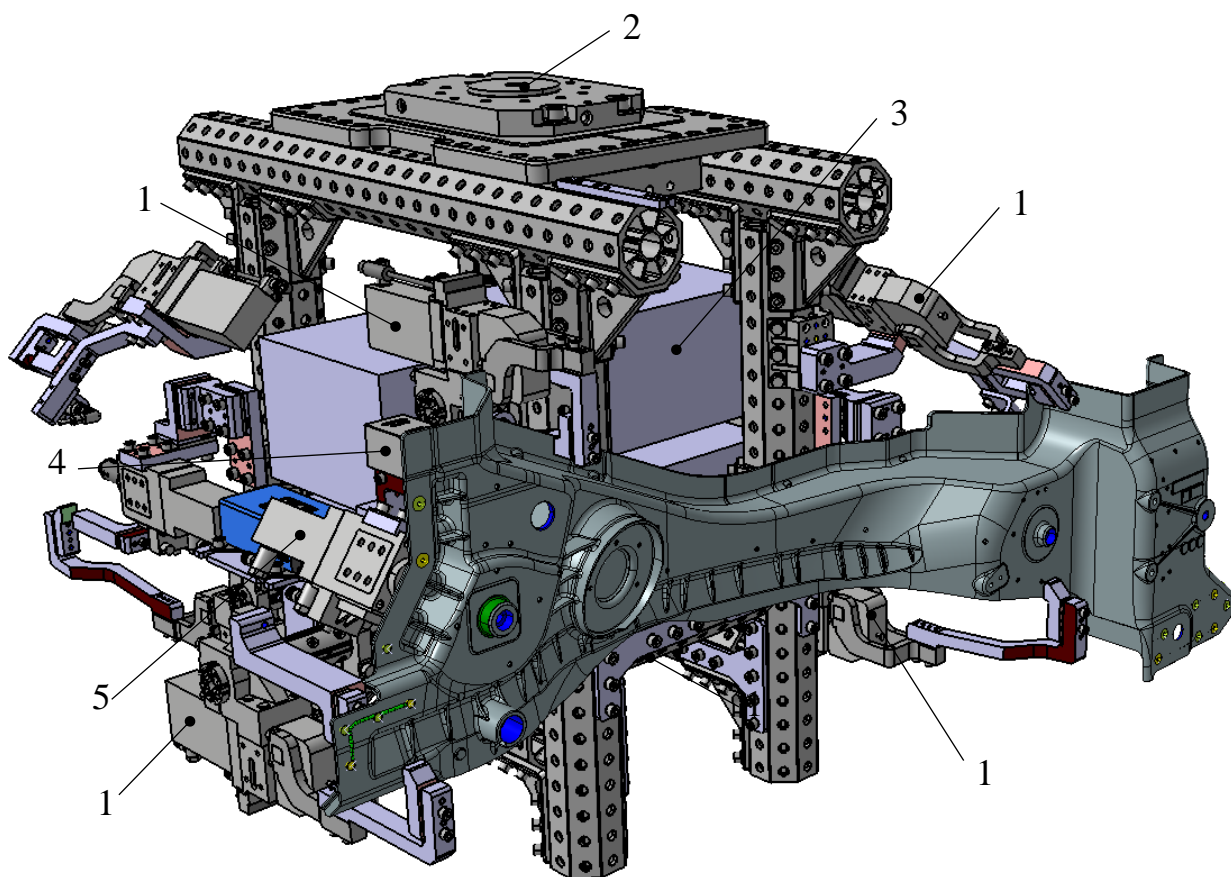
Для фиксирующего элемента типа позиционирующий цилиндр расчёт усилий не требуется, поскольку позиционирующий цилиндр изготавливается по диаметру отверстия и служит для предотвращения поворота детали в плоскости прижима. Количество применяемых при сборке захвата



позиционирующих цилиндров соответствует количеству фиксируемых отверстий – 2шт.

Проектирование захват базируется на Евро-грейферной системе (EURO-Gripper-System (EGT)) [27, 29] и представляет собой сборку захвата из модулей стандартных компонентов.

Внешний вид готового захватного устройства в сборе представлен на рисунке 24:



1 – Пневматические зажимы; 2 – Рама крепления фланца робота; 3 – Пневматический блок управления; 4 – Датчик позиционирования; 5 – Позиционирующий цилиндр;

Рисунок 24 – Захватное устройство промышленного робота:



## 2.4 Датчик позиционирования

Для проверки правильного позиционирования автодетали в устройстве захвата использовался датчик Sensopart VISOR Robotic, представленный на рисунке 25.



Рисунок 25 – Датчик присутствия Sensopart VISOR Robotic

Технические характеристики датчика: рабочее напряжение 18-30В DC; сила тока <300mA; время задержки 13 с после включения; выходной сигнал 50mA, 100mA (12 пинов); интерфейс связи Ethernet (LAN), Profinet, SensoWeb, габаритные размеры: 71x45x45мм; степень защиты IP67; рабочая температура 0...+50<sup>0</sup>С, температура хранения -20...+60<sup>0</sup>С; вес 200гр.

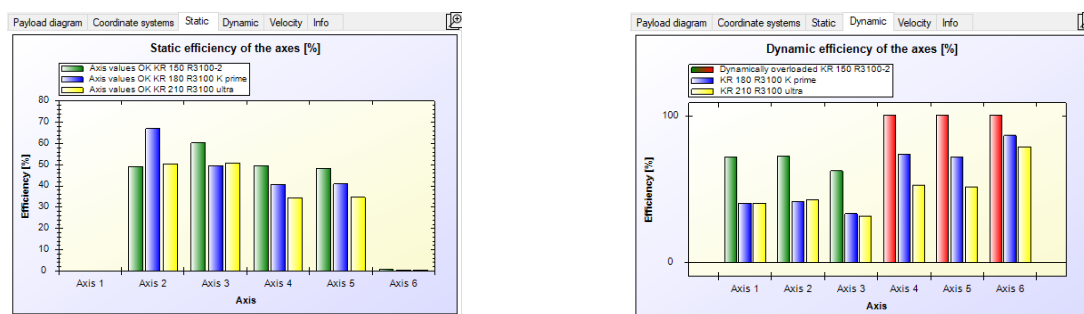
Рабочее расстояние датчика настроено на величину 200мм, считывание происходит по верхней грани автодетали. Позиционирование автодетали определяется по отклонению положения отверстия от заданного значения.

Для калибровки данного устройства на производстве, предусмотрена специальная стойка с калибровочной таблицей. Промышленный робот с периодичностью 1 раз в 24 часа за пределами основного цикла подходит к калибровочной таблице и проверяет датчик на наличие ошибок или смещения.

## 2.5 Подбор подходящего промышленного робота

Грузоподъёмность промышленного робота позволяет оценить какой вес могут выдержать оси робота при динамической и статической нагрузках, увеличение грузоподъёмности влечёт за собой повышение стоимости робота и удорожание проекта в целом, поэтому одна из приоритетных задач, это корректно подбирать тип промышленного робота, способного выполнить все технологические операции с требуемой достижимостью. На рисунке 21 были представлены расчётные данные на основании разработанной 3-х мерной модели захватного устройства, а именно: масса изделия составляет, которая составляет 76,933кг; центр масс, который находится по координатам: X: -3,028мм; Y: 2,766мм; Z: 390,229мм; момент инерции, который составляет I<sub>xy</sub>: 0,176кг·м<sup>2</sup>; I<sub>xz</sub>: -0,022 кг·м<sup>2</sup>; I<sub>yz</sub>: -0,012 кг·м<sup>2</sup>.

«Для расчёта осевой нагрузки на оси промышленного робота была использовано специализированное программное обеспечение Kuka.Load v5.0. Данное программное обеспечение находится в свободном доступе на сайте производителя» [22]. Главным критерием подбора робота является предел осевой нагрузки не более 85%. На рисунке 26 представлен результат сравнения 3-х нагрузочных характеристик промышленных роботов грузоподъёмностью 150кг, 180кг и 210кг:



*a*

*б*

*a* – статическая нагрузка; *б* – динамическая нагрузка

Рисунок 26 – Сравнение нагрузочной характеристики осей промышленного робота:

Из рисунка 26б видно, что робот с грузоподъемностью 150кг (зелёный столбец) не выдерживает динамической нагрузки на оси. Следующий за ним робот 180кг выходит за обозначенные пределы в 85%. Таким образом промышленный робот грузоподъемностью 210кг является минимально допустимым для выполнения требуемых технологических операций. Радиус вылета руки робота составляет 3100мм, для обеспечения достижимости до всего оборудования.

Основные характеристики промышленного робота KUKA KR-210-R3100:

Номинальная полезная нагрузка	210 кг
Максимальный вылет	3100 мм
Количество осей	6
Повторяемость позы (ISO 9283)	$\pm 0,06$ мм
Монтажное положение	пол
Степень защиты (IEC 60529)	IP65
Степень защиты запястья робота (IEC 60529)	IP65
Вес	1412 кг
Система управления	KRC 2

## 2.6 Описание движений промышленного робота

Движения промышленного робота можно разделить на две составляющие [21], отличающиеся точностью и принципом обработки координат точек движения.

Основной тип движения это РТР – Point-to-point и Line. «Первый тип движения воспринимается контроллером как простое перемещение робота из одной точки в другую по оптимальным значениям по осям. То есть контроллер сам просчитывает необходимые обороты приводов для необходимых осей и

их комбинации. При этом основной приоритет движения отдаётся осям робота, в ущерб траектории движения, фактически траектория движения не рассчитывается, поскольку всё управление происходит за счёт изменения углов осей робота. Такой тип движения может выполняться без ограничений и с максимальными скоростями робота, но требует повышенного внимания, поскольку высока вероятность столкновений с близко стоящим оборудованием. При этом в процессе движения контроллер старается минимизировать количество движимых осей.

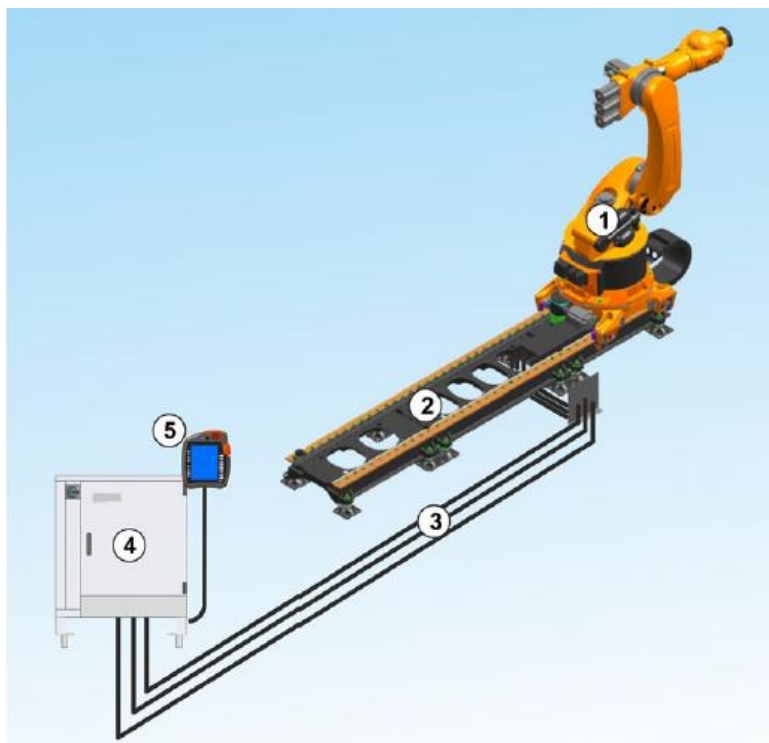
Второй тип движения Line – линейное движение. В данном типе движения приоритет движения отдаётся не осям, а траектории и точности движения по траектории. Здесь не допускается никакое отклонение и контроллер рассчитывает по заданной траектории движения необходимые повороты осей. При этом существует ряд ограничений, накладываемых на линейное движение. В связи с тем, что при данном типе движения основной приоритет у траектории, то контроллеру приходится задействовать все 6 осей для того, чтобы выполнить движение. Это приводит к тому, что скорость движения робота снижается без возможности её увеличить. К тому же контроллер рассчитывает углы поворотов осей исходя из того, где робот должен находиться через 0,5 секунды, то есть расчёт осей производится наперёд с учётом будущего движения. Всё это приводит к повышенной нагрузке на контроллер. Данный тип движения применяется только там, где необходима высокая степень точности операции. Как правило это «нанесения клея, операция загибки, измерительный операции» [14, 19, 25, 31].

В результате расчёта транспортирующего устройства были определены предельные значения прижимного усилия пневматических зажимов, подобрано оборудование для сборки устройства и рассчитана грузоподъёмность промышленного робота.

### 3 Технологическое оборудование процесса сборки

#### 3.1 Вспомогательная ось расширения для промышленного робота

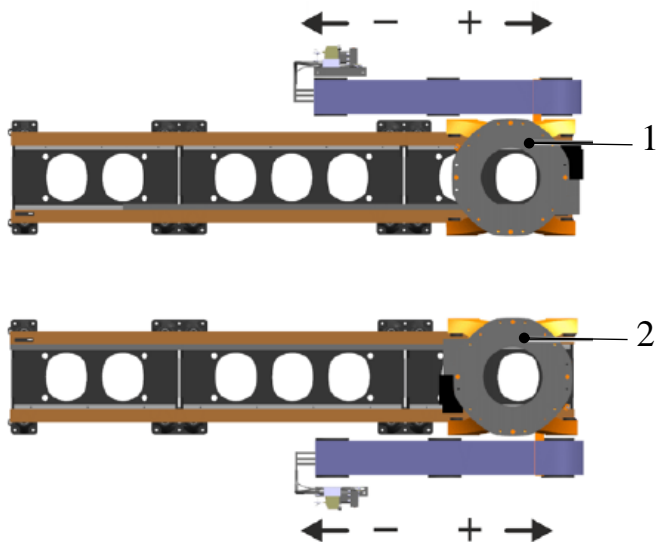
«Для обеспечения достижимости промышленного робота и обеспечении своевременного подхода к требуемому оборудованию, промышленный робот был оснащён расширением в виде дополнительной оси движения. Дополнительная ось представляет собой линейную систему, рисунок 27, включающую рельсу, каретку, на которую монтируется промышленный робот, соединительные кабели, программное обеспечение, блок управления. По сигналу от контроллера, робот перемещается вдоль направляющей рельсы на заданное расстояние.» [22]



1 – Промышленный робот; 2 – Секции линейной оси; 3 – Соединительные кабели;  
4 – Контроллер управления; 5 – Пульт программирования и управления;

Рисунок 27 – Линейная система промышленного робота:

В зависимости от необходимости предусмотрено несколько вариантов расположения кабель-каналов линейной оси: стандартное расположение и зеркальное расположение, рисунок 28.



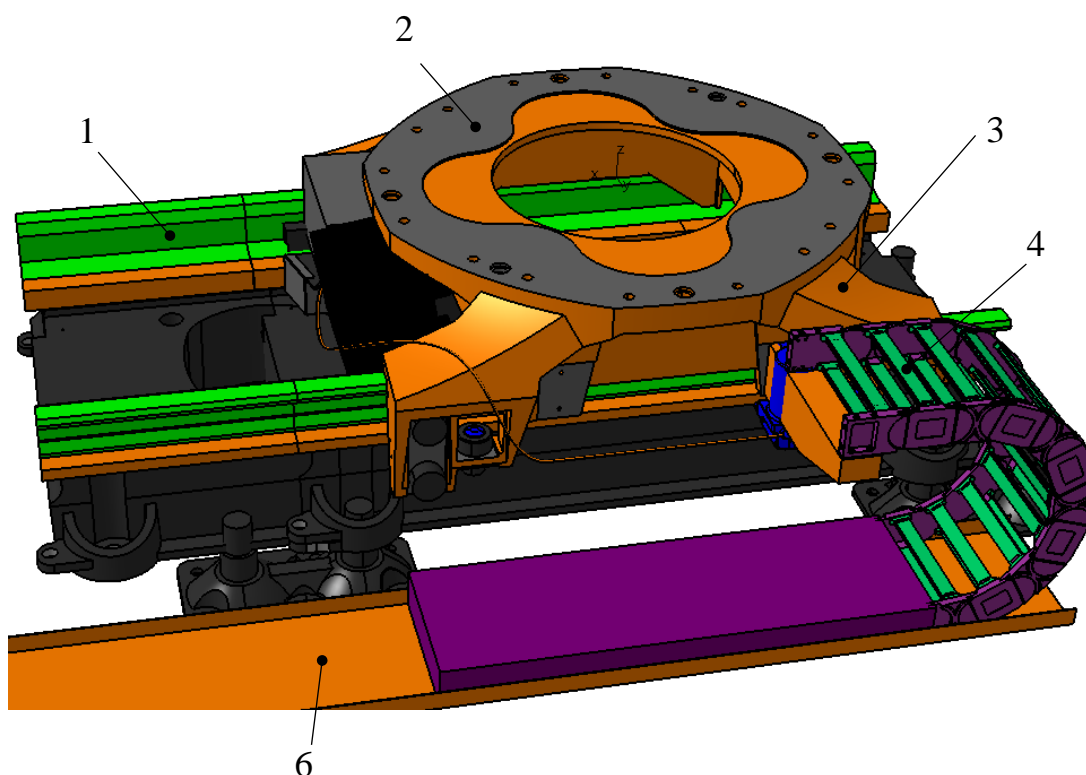
- 1 – Зеркальное расположение кабель-канала
- 2 – Стандартное расположение кабель-канала

Рисунок 28 – Расположение кабель-каналов линейной оси

«Длина линейной оси складывается из сегментов длиной 1,5м и 2м, которые соединяются между собой. Монтаж линейной оси осуществляется на пол, либо на специально подготовленную поверхность. Робот крепится к каретке, для этого предусмотрена специальная монтажная поверхность, рассверленные отверстия позволяют установить как маленькие, так и большие роботы, а также предусмотрен монтаж консоли для увеличения высоты промышленного робота. Для центрирования используются два штифта. Привод расположен сбоку под кареткой. Система энергоснабжения крепится к каретке через привод. Каретка движется по гусеницам на четырех группах роликов. Диапазон движения каретки ограничивается программными концевыми выключателями. Если превышен допустимый ход, упор на конце балки останавливает перемещение каретки.» [22]

Приводной «узел состоит из серводвигателя, редуктора и крепежных элементов. Шестерня на редукторе входит в зацепление со рейкой на балке и перемещает каретку. Рейка и шестерня имеют винтовые зубья. Скорость двигателя снижается редуктором и передается шестерней на рейку. Редуктор смазывается маслом. Кабели двигателя и управления подключаются к серводвигателю с посредством специальных разъёмов.» [22]

Система энергоснабжения необходима для питания и управления линейной осью и роботом. Линии питания для робота и линейной оси и подача энергии и жидкости находится в кабель-канале энергоснабжения. Кабель-канал расположен в боковой системе направляющих и крепится к каретке через привод, таким образом, движется вместе с ней. Другой конец кабель-канала привинчен к модулю фиксированной точки в направляющей системы, рисунок 29.



1 – Секция линейной оси, длина 2 м; 2 – Монтажная поверхность для промышленного робота; 3 – Каретка; 4 – Кабель-канал снабжения линейной оси; 5 – Направляющая кабель-канала

Рисунок 29 – Расположение элементов линейной оси промышленного робота

Далее представлены «технические данные линейной оси KL4000:

- количество осей: 1;
- предел линейного перемещения: 400мм – 30400мм
- градация линейного перемещения: 500мм
- скорость движения каретки: 1,89м/с
- повторяемость:  $\pm 0,02$ мм
- масса каретки в сборке: 516кг
- масса линейного участка: 210кг/м
- максимальная нагрузка на каретку: 4000кг
- уровень защиты: IP65
- уровень шума:  $<75$ dB
- максимально количество кареток на одну линейную ось: 4
- высота консоли, устанавливаемой на каретке: 200мм – 1000мм (шаг 200мм)
- температура эксплуатации:  $+5^{\circ}\text{C} \dots +45^{\circ}\text{C}$ » [22].

### **3.2 Станция клёпки автодетали**

На рисунке 30 представлена разработанная модель станции для клёпки автодеталей. Станция была разработана с применением технологии EGT для удобства сборки, доставки и настройки на производстве. На столешнице станции располагается оснастка, рисунок 31, состоящая из элементов позиционирования 1, (направляющий, позиционирующие цилиндры), поддержания 2 (опоры, на которые устанавливается деталь), фиксации 3 (пневматические и ручные зажимы) и контроля 4 (датчики присутствия). Расчёт прижимного усилия для зажимных механизмов рассчитывался аналогично для устройства захвата автодетали.



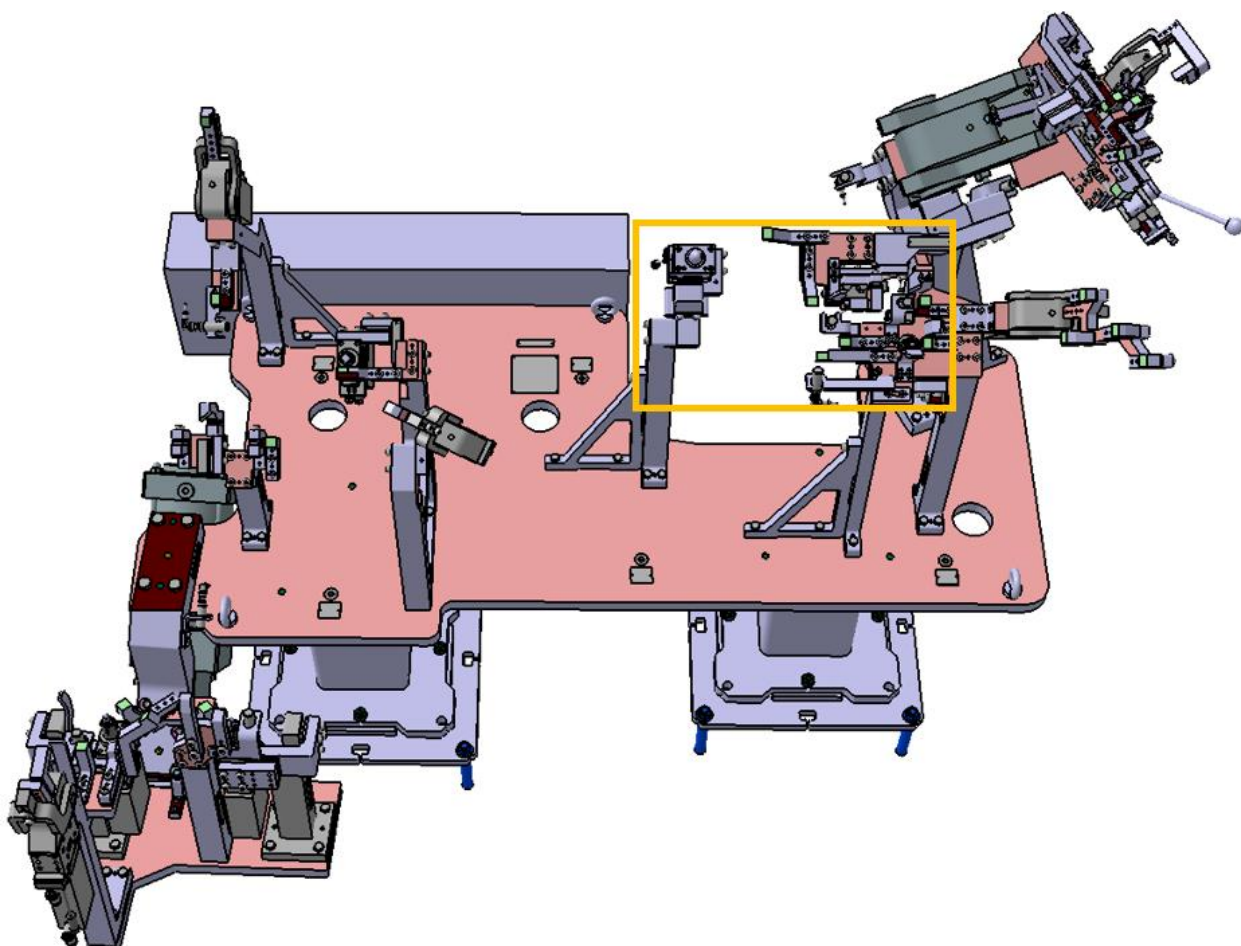


Рисунок 30 – Станция для фиксации и позиционирования левого лонжерона

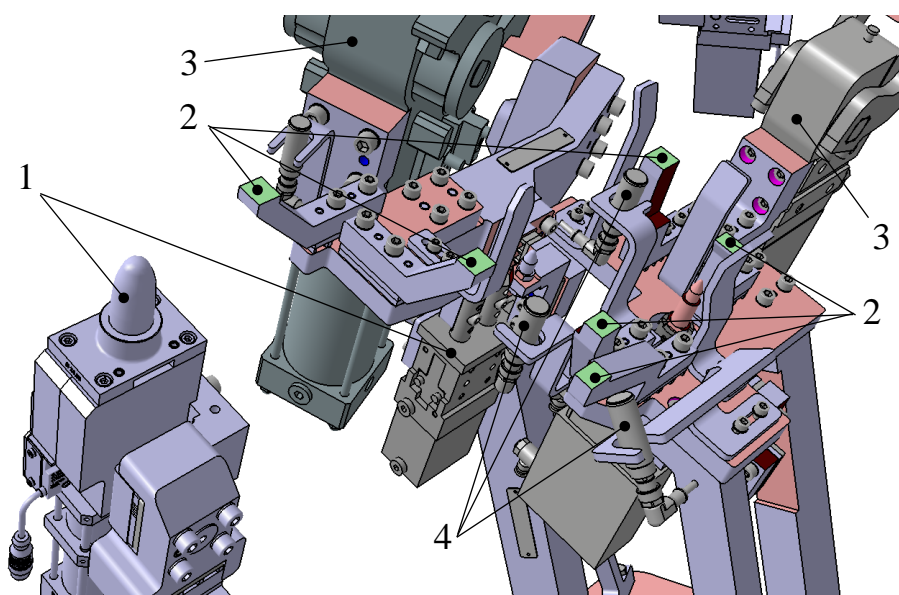


Рисунок 31 – Элементы оснастки столешницы для станции

На рисунке 32 представлена последовательность установки автодеталей в станцию: 1 – обслуживающий персонал устанавливает автодетали в станцию, как показано на рисунке 32 *а*, после чего вручную фиксирует их. Затем выходит из области обработки автодеталей и промышленный робот устанавливает основную автодеталь – левый лонжерон, рисунок 32 *б*. После установки всех деталей, станция фиксирует их посредством пневматических зажимов, рисунок 32 *в*.

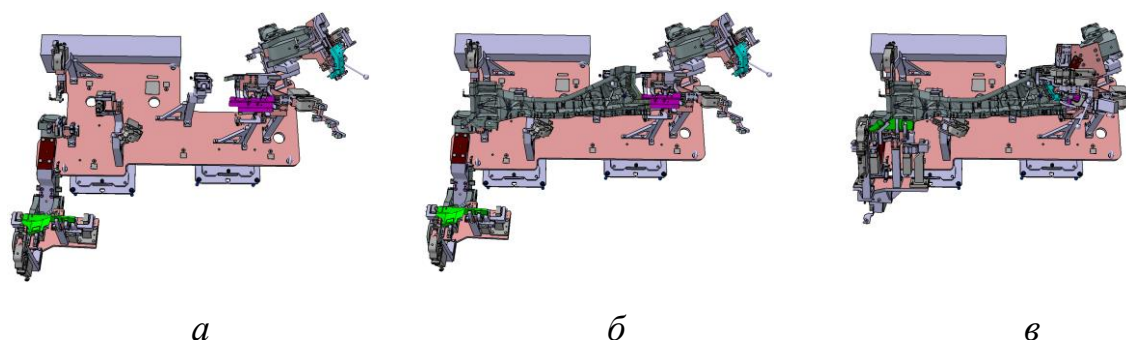


Рисунок 32 – Последовательность установки деталей в станцию

Стоит обратить внимание, что одна деталь из четырёх устанавливается промышленным роботом, остальные три докладываются обслуживающим персоналом вручную. На рисунке 32а показано какие автодетали закладываются человеком. Позиционирование и фиксация автодеталей ручным способом предъявляет повышенные требования к элементам станции, так например, в станция необходимо учитывать, что положение автодеталей должно быть определено однозначно без возможности установки одной автодетали в разные места или в различном положении; также следует учесть необходимость позиционирования без смещения, для этого необходимо жёстко зафиксировать автодетали после ручной установки. Перечисленные моменты приводят к тому, что в процессе проектирования в клёпочной станции добавляются отдельные узлы, отвечающие за точность позиционирования и надёжность фиксации ручной установки деталей. Данные

узлы в значительной степени влияют на габаритные размеры станции, что в дальнейшем усложнит процесс подвода/отвода инструмента в рабочую область для клепания точек на кузове.

После завершения проектирования станции для операции клёпка, были проведены работы по совместной работе устройства захвата и клёпочной станции. Это было сделано для того, чтобы захватное устройство могло свободно устанавливать и снимать автодеталь со станции. Были построены коллизионные пары и сформированы условия недопустимого сближения захватного устройства и станцией для клепания: оба устройства были переработаны, для того, чтобы исключить сближение всех элементов конструкции ближе чем на 10мм.

### **3.3 Определение типа клёпочного пистолета**

По завершению процесса совместимости двух устройств, был определён тип клёпочного пистолета, подходящего для выполнения технологического процесса. В результате был выбран клёпочный пистолет ТЕ-Н 080.350.474.000\_Тур\_А2. Внешний вид пистолета представлен на рисунке 33, рабочий ход цилиндров составляет 151мм, вес устройства 201,6кг с креплением монтажной платы под углом в  $45^{\circ}$ .

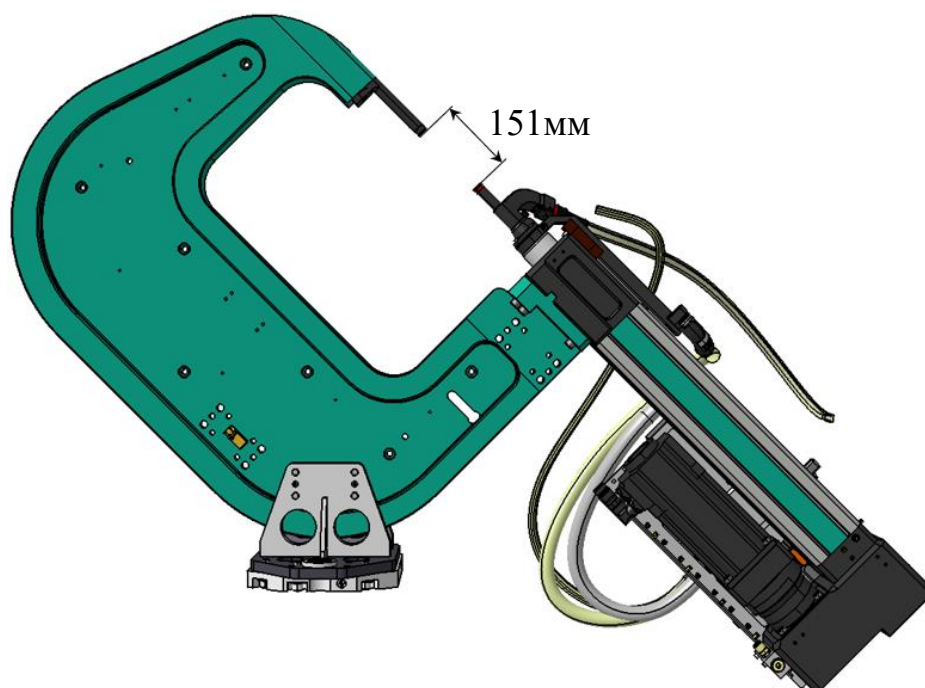
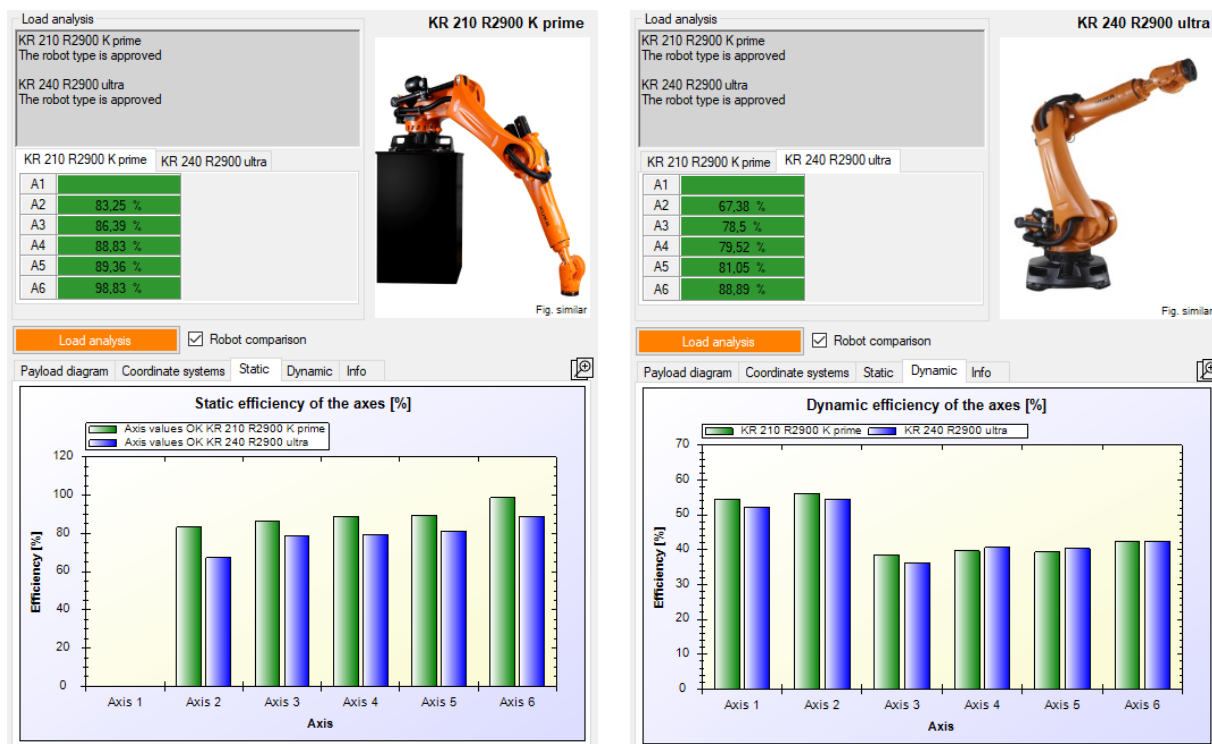


Рисунок 33 – Клéпочный пистолет TE-H 080.350.474.000\_Тур\_А2

Технические данные позволили рассчитать осевую нагрузку на промышленного робота и подобрать модель с необходимой и достаточной грузоподъёмностью, способная выдержать как статические, так и динамические нагрузки. На рисунке 34 представлен сравнительный анализ расчёта статической и динамической нагрузки на оси промышленных роботов с грузоподъёмностью 210кг и 240кг.



*a*

*б*

Рисунок 34 – Расчёт осевой нагрузки промышленных роботов

Из рисунка 34*a* видно, что робот 210-й имеет максимальную нагрузку на 6-ю ось в статическом режиме работы равную 98,8%. В то время как 240-й имеет максимальную нагрузку в динамическом режиме на 6-ю ось равную 88,8%. Таким образом робот KUKA KR240R2900ultra имеет запас грузоподъёмности 11% и способен справиться с операцией клёпки. Радиус вылета руки робота равный 2900мм был выбран исходя из условий достижимости.

### 3.4 Клёпка в станции

После завершения разработки и подбора клёпочного пистолета была сформирована коллизийная модель столкновений инструмента и станции в процессе операции клепания. Основная цель проектирования взаимодействия двух устройств заключается в том, чтобы выявить все возможные проблемы, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации спроектированных

устройств на производстве: узкие места; невозможность подвести инструмент; недопустимо маленькие зазоры в процессе подвода/отвода инструмента из рабочей зоны; столкновения в процессе движения робота и клёпочной станции. Данный этап позволяет ответить на вопрос будут ли проектируемые устройства совместимы на производстве? Для ответа на поставленный вопрос необходимо проверить все точки клёпки с применением выбранного инструмента, для этого была построено облако инструмента, представляющего собой массив инструмента во всех возможных положениях в процессе клепания лонжерона.

На рисунке 35 представлена модель облака инструментов для клёпочной станции.

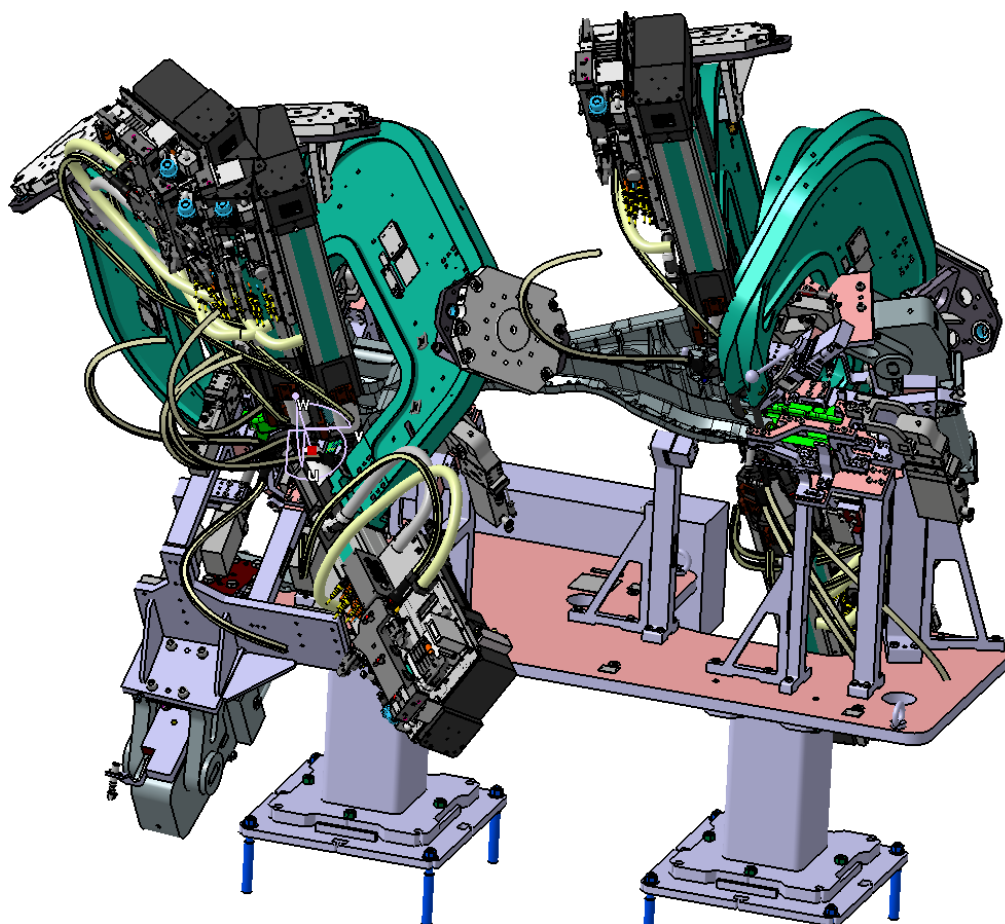


Рисунок 35 – Облако инструмента для клёпочной станции

Формирование облака инструмента позволило выявить проблемное место, связанное с тем, что габаритные размеры инструмента не позволяют произвести клёпку в трёх точках. Для удобства восприятия взаимодействия независимых элементов устройств было применено закрашивание в разные цвета. На рисунке 36 представлено проблемное место, не позволяющее произвести клёпку лонжерона. Подбор другого инструмента невозможен по причине того, что геометрия инструмента спроектирована таким образом, чтобы выдерживать максимальные нагрузки в процессе сжатия клёпок, увеличение выреза внутри инструмента приведёт к тому, что габариты пистолета станут ещё больше, что скажется на массе и сложности в процессе движения. Изменение дизайна станции не дал результатов по причине того, что в клёпочной станции используются только компоненты для минимально необходимой фиксации и позиционирования незакреплённых деталей. Устранение какого-либо компонента приведёт к тому, лонжерон потеряет надёжность фиксации и возможно смещение в процессе клёпки или при установки лонжерона роботом может произойти смещение позиционирования и деталь будет неправильно заложена ещё до начала процесса клепания. Также не стоит забывать, что кроме лонжерона в процессе клепания участвуют ещё три автодетали, которые устанавливаются в станцию клепания обслуживающим персоналом. То есть происходит позиционирование и фиксация автодеталей ручным способом. Это значит, что устройство фиксации и позиционирования должно иметь возможность однозначного положения автодетали в станции, не позволяющее никаким другим образом установить необходимую деталь, при этом станция должна быть спроектирована так, чтобы в независимости от того, как именно обслуживающий персонал установит автодеталь её положение было однозначно интерпретировано без смещений и отклонений.

На стадии проектирования клёпочной станции уже была проведена оптимизация узлов фиксации и позиционирования ручной установки автодеталей, что не позволяет в какой-либо форме менять эти узлы. Для



решения возникшей проблемы было принято решение производить клёпку трёх проблемных точек до того, как закроется пневматический зажим. На рисунке 36 представлено положение и последовательность всех точек клёпки на автодетали.

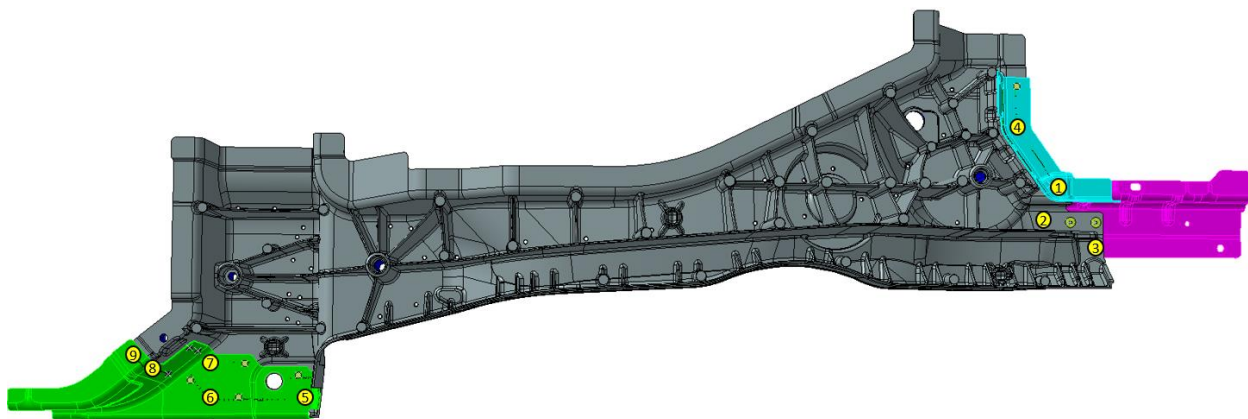
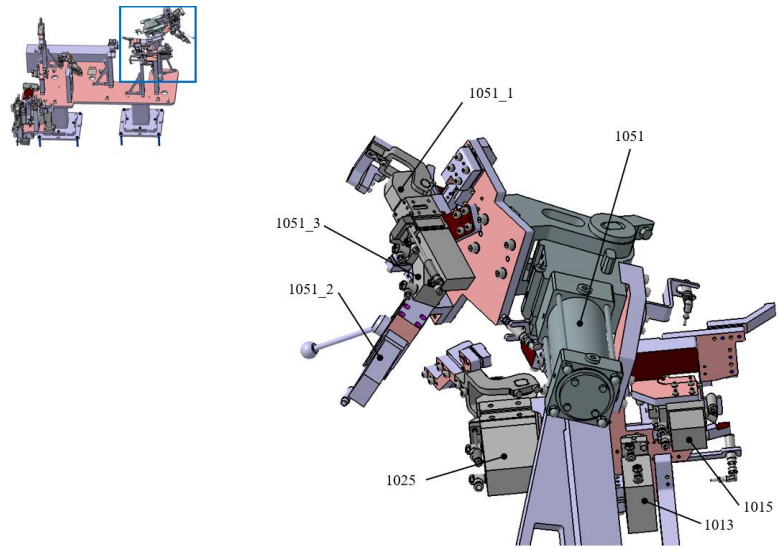


Рисунок 36 – Положение и последовательность клёпки точек на кузове

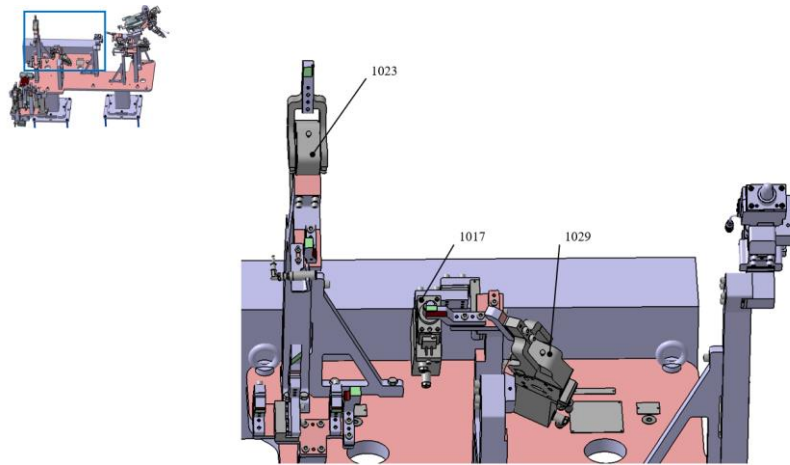
Из рисунка видно, что в начале обрабатываются три проблемные точки, после чего происходит закрытие пневматических зажимов и продолжается клёпка автодеталей в соответствии с разработанной последовательностью. При этом для обеспечения точности позиционирования и надёжности фиксации один пневматический зажим будет закрыт.

Для реализации очередности открытия и закрытия пневматических клампов все пневматические зажимы были разделены на группы с присвоением каждой из них соответствующего номера. На рисунке 37 а, б, в представлена нумерация групп, где каждому пневматическому зажиму или позиционирующему цилиндру, использующему магистраль сжатого воздуха присвоен номер в соответствии с европейским стандартом обозначений. Согласно стандарту, номер состоит из 4-х цифр, первая цифра – номер станции в документации, вторая цифра вспомогательная, третья цифра различает позиционирующие цилиндры, зажимы или иные устройства, четвёртая цифра порядковый номер устройства.

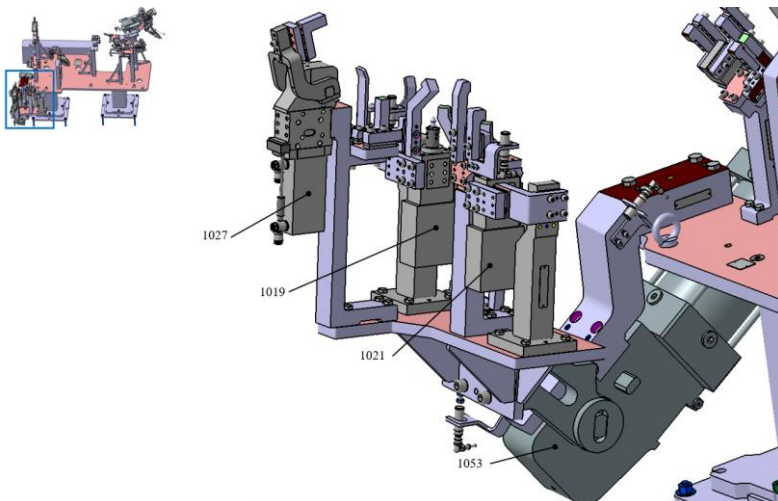




*a*



*б*



*в*

Рисунок 37 – Обозначение групп пневматических зажимов станции клёпки

После присвоения номеров групп пневматическим устройствам, был разработан пневматический план, позволяющий произвести подключение станции к магистрали сжатого воздуха, а также настройку очередности включения/выключения пневматических групп на производстве. Пневматический план представлен в таблице 1, одним цветом выделены позиции групп, срабатывающие синхронно, это значит, что они могут быть объединены общим пневматическим распределителем. Из таблицы видно, что потребуется пять пневматических распределителей для организации всех позиций открытия/закрытия пневматических клампов.

В результате проектирования технологического оборудования была разработана станция для клепки автодеталей, определена последовательность открытия и закрытия пневматических зажимов, составлен пневматический план с обозначением групп пневматических зажимов. Был определён тип клёпочного пистолета и параметры вспомогательной оси расширения. Произведён расчёт грузоподъёмности промышленного робота для монтажа на фланец 6-й оси промышленного робота. На основании проведённого расчёта грузоподъёмности определен тип и модель промышленного робота, подходящего по условиям статической и динамической нагрузок.

Таблица 1 – Пневматический план состояний клёпочной станции

Номер группы	Положение клапана	Открыты все группы	Загрузка рабочим	Загрузка роботом	Клёпка 3 точек	Операция клепания	Позиционирование транспортирующего устройства	Забор автодетали
1013	Закрытое							
	Открытое							
1015	Закрытое							
	Открытое							
1017	Закрытое							
	Открытое							
1019	Закрытое							
	Открытое							
1021	Закрытое							
	Открытое							
1023	Закрытое							
	Открытое							
1025	Закрытое							
	Открытое							
1027	Закрытое							
	Открытое							
1029	Закрытое							
	Открытое							
1051	Закрытое							
	Открытое							
1051_1	Закрытое							
	Открытое							
1051_2	Закрытое							
	Открытое							
1051_3	Закрытое							
	Открытое							
1053	Закрытое							
	Открытое							

### 3.5 Нанесение клеевого шва

На рисунке 11 представлено расположение клеевых швов на автодетали, особенностью нанесения клеевого шва является прямой угол ( $90^{\circ}$ ) между плоскостью нанесения клеевого шва и соплом клеевого пистолета. Допустимые пределы отклонения сопла клеевого пистолета от нормали составляют  $\pm 18^{\circ}$  по одной оси. В случае отклонения по 2-м осям суммарный угол не должен превышать  $18^{\circ}$  [7]. Данное отклонение обеспечивает равномерность и непрерывность нанесения клеевого шва в условиях средней линейной скорости движения робота. В процессе нанесения клеевого шва должны выполняться ряд условий: скорость движения робота не должна превышать 200мм/с; на протяжении всего времени нанесения клея, траектория движения должна быть непрерывна и линейна; угол отклонения клеевого пистолета от нормали должен быть не более  $\pm 18^{\circ}$  по одной оси; в процессе движения пятая ось промышленного робота не должна достигать интервала значений  $-15^{\circ}..+15^{\circ}$ .

Ограничение скорости движения робота связано с технологическим процессом нанесения клея, поскольку шов должен иметь определённую толщину, при том, что клеевой насос работает при определённом давлении, если скорость будет больше, то шов будет тоньше или, в случае если скорость будет меньше, то толщина будет больше, чем необходимо.

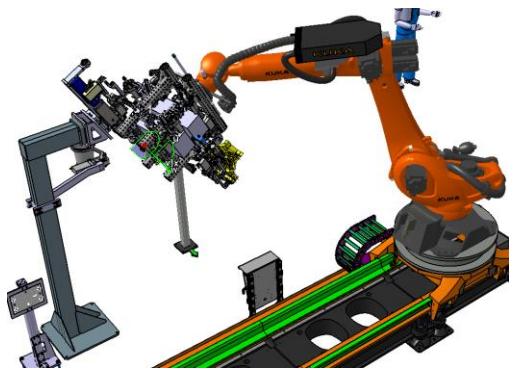
В соответствии с технологическим процессом, для обеспечения качества соединения двух автодеталей клеевой шов не должен содержать пустот, для этого необходимо обеспечить непрерывность клеевого шва в процессе нанесения. Линейное движение робота позволяет исключить аппроксимацию движения и гарантирует перемещение робота с максимальной точностью, при этом движении робота не будет происходить замедление скорости движения робота от точки к точке.

Требование избегать значений 5-й оси робота от  $-15$  до  $+15$  градусов обусловлено программно-вычислительными ограничениями. Промышленный робот фирмы KUKA Robotics обладает 6-ю подвижными осями, из которых 4-я и 6-я оси вращаются в одной плоскости в случае, если значение по 5-й оси равно 0. Данный факт не позволяет контроллеру произвести однозначное вычисление какую ось и на какое значение необходимо повернуть, чтобы достигнуть заданной точки в пространстве, поскольку появляется бесчисленное количество решений. Возникший парадокс приводит к зависанию контроллера, перезапуск которого возможен только посредством перезагрузки.

Рассмотрим взаимодействие транспортирующего устройства промышленного робота с клеевым пистолетом в процессе нанесения клеевого шва. На рисунке 11 показаны области, где необходимо произвести нанесение швов на левый лонжерон, зафиксированный в транспортирующем устройстве.

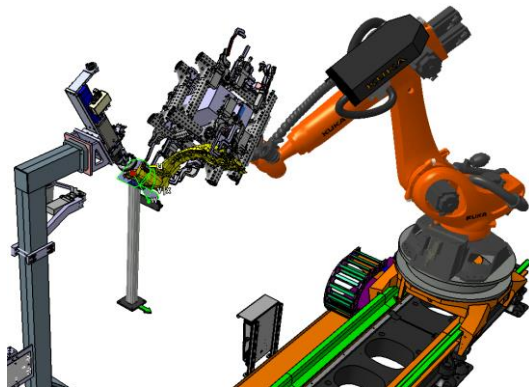
Опытным путём было определено оптимальное положение клеевого пистолета: высота клеевого сопла от уровня пола составляет 1860мм, угол наклона пистолета в вертикальной плоскости составляет 45 градусов. Данные значения введены для удобства и обеспечения достижимости промышленного робота.

В условиях наложенных ограничений на процесс нанесения клеевого шва необходимо обеспечить движение автодетали без столкновений с окружающим оборудованием. Для этого были сформированы коллизионные пары взаимодействующих предметов и на протяжении всего процесса движения робота проводилось отслеживание минимальных зазоров между объектами коллизионных пар. Затем, была определена оптимальная конфигурация осей промышленного робота для всех движений.



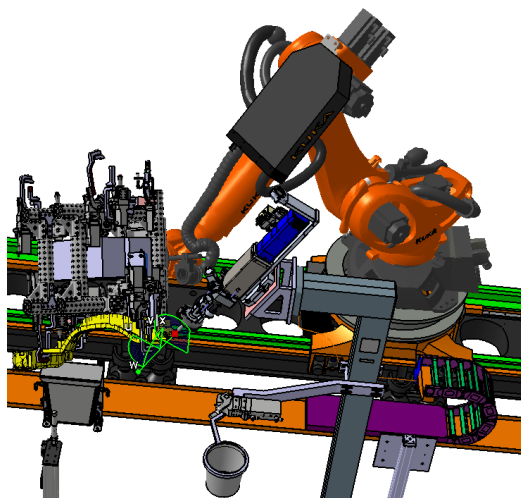
Configurations			Turn Sign	
Index	Name	Status	Joint	Value
1	S0	Out of Limits	Joint 1	-
2	S4	Out of Limits	Joint 4	-
3	S2	Good	Joint 5	+
4	S6	Good	Joint 6	+
5	S3	UnReachable		
6	S7	UnReachable		
7	S1	UnReachable		

*а 1,3,4,5 шов*



Configurations			Turn Sign	
Index	Name	Status	Joint	Value
1	S0	Out of Limits	Joint 1	-
2	S4	Out of Limits	Joint 4	+
3	S2	Good	Joint 5	+
4	S6	Good	Joint 6	-
5	S3	UnReachable		
6	S7	UnReachable		
7	S1	UnReachable		

*б 2,7 шов*



Configurations			Turn Sign	
Index	Name	Status	Joint	Value
1	S0	Out of Limits	Joint 1	-
2	S4	Out of Limits	Joint 4	+
3	S2	Good	Joint 5	+
4	S6	Good	Joint 6	-
5	S3	Out of Limits		
6	S7	Out of Limits		
7	S1	Good		

*в 6 шов*

*а* – для клеевых швов 1,3,4,5; *б* – для клеевых швов 2,7;

*в* – для клеевого шва 6;

Рисунок 38 – Конфигурация промышленного робота в процессе нанесения клеевого шва:

Определение конфигурации позволяет устранить перекручивание осей промышленного робота в процессе движения, поскольку в одну и ту же точку пространства промышленный робот может прийти разными путями, то есть одна точка пространства обладает несколькими конфигурациями робота и если робот в процессе движения будет переходить из одной конфигурации в другую, это значит что одна или несколько осей меняют свою полярность с положительной на отрицательную или обратно. В цеховых условиях это означает что робот начнёт совершать ускоренное и хаотическое вращение осей.

Для удобства программирования и разработки операции нанесения клея каждому клеевому шву был присвоен собственный номер. На рисунке 11 представлено положение клеевых швов и их цифровое обозначение. Для обработки указанных швов были определены оптимальные конфигурации промышленного робота, представленные на рисунке 38.

В результате разработки вспомогательного оборудования была спроектирована станция клёпки автодеталей, сформирована последовательность клёпки в станции, составлен пневматический план работы зажимов станции. Определён тип клёпочного пистолета, соответствующий типу клёпок, обеспечивающий беспрепятственный подвод/отвод инструмента из/в рабочую зону.

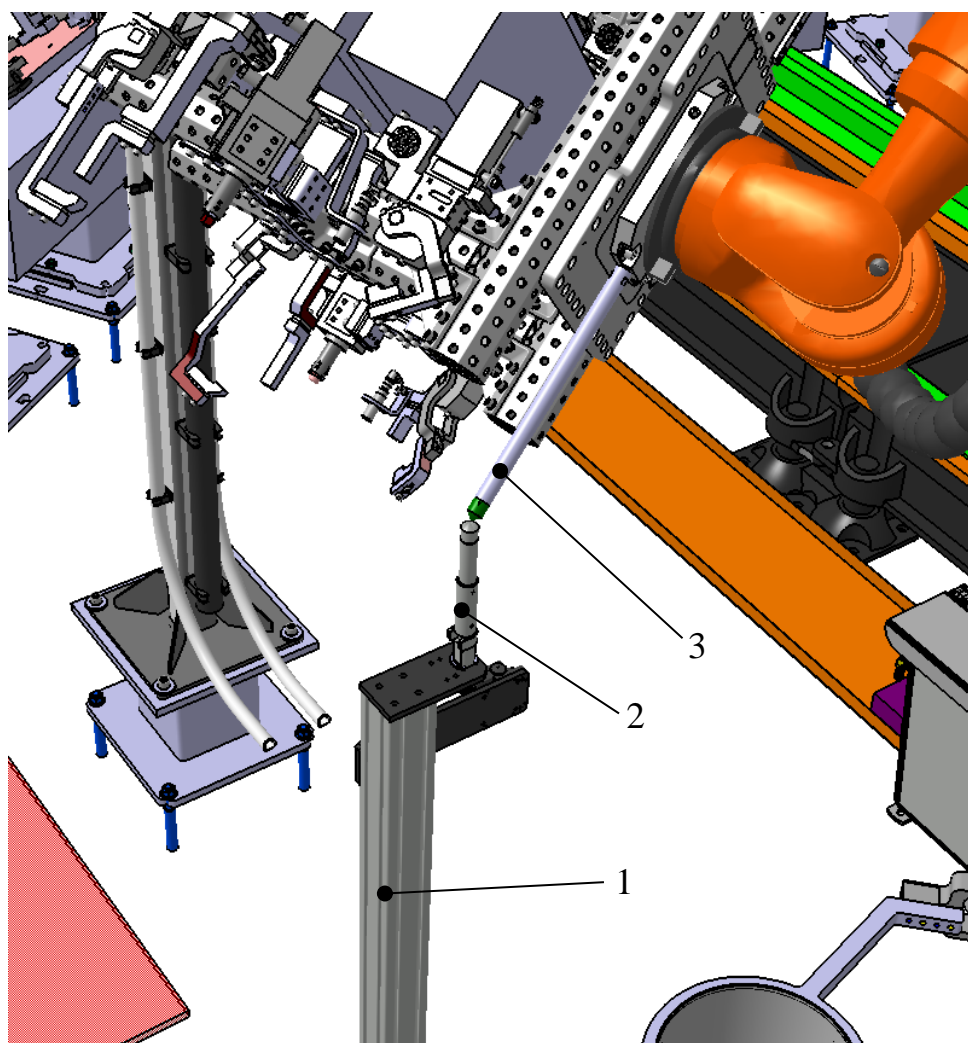
#### **4 Калибровка рабочего инструмента**

Точное «позиционирование инструмента возможно только в случае, если контроллер промышленного робота обладает информацией о том, каковы габаритные размеры инструмента, правильно ли он смонтирован и не имеется ли отклонений в конструкции инструмента в следствии соударений или ненадлежащей эксплуатации» [6, 20, 22]. Описанные «проблемы решает процедура калибрования инструмента, которую необходимо проводить в зависимости от выполняемых технологических операций. При первой установке инструмента калибрование осуществляется одновременно вручную, в дальнейшем эта процедура может быть автоматизирована посредством датчиков слежения и фиксации. Наиболее простой и эффективный способ калибрования инструмента, обладающий высокой степенью гибкости и манёвренности, является способ совмещения» [8, 20, 22, 24]. Данный «способ подразумевает совмещение двух элементов, один из которых обладает базовыми статичными координатами, не меняющиеся с течением времени. В то время как второй элемент должен быть совмещён с первым по заданным координатам для того, чтобы подтвердить правильность установки. В случае если робот приводит второй элемент, и он не стыкуется с первым элементом, то значит, что в координатах инструмента есть ошибка и рассогласование устраняется посредством вычисления разницы между текущей и желаемой координатой инструмента. После этого контроллер робота вычисляет траекторию движения робота с привязкой к системе координат инструмента.» [8, 20, 22, 24, 32]

«Фирмой KUKA Robotics разработаны специальные инструменты, позволяющие произвести калибровку любого инструмента с применением специальных устройств, именуемых спицами» [22]. «Одна спица монтируется на заранее рассверленное отверстие транспортирующего устройства или платы крепления к фланцу робота, а вторая спица устанавливается на стойку, координаты которой устанавливаются заранее. Принцип калибровки



заключается в том, что контроллер обладает информацией о том, где и как установлена стойка со спицей» (заводские установки [22]) и должен заданным инструментом прийти концом второй спицы к концу первой спицы. В случае, если координаты рабочего инструмента заданы правильно, то в цеху робот придёт в правильную точку, рисунок 39.



1 – Стойка калибровочная; 2 – Спица, установленная на калибровочной стойке;  
3 – Спица, установленная на фланце робота;

Рисунок 39 – Позиция калибровки инструмента:

Для удобства калибровки со стороны робота установлена спица длиной 370мм, со стороны стойки спица длиной 189мм. Аналогичный

принцип применяется для калибровки станций или стационарных инструментов, установленных на производстве. Для клеевой стойки калибровка заключается в необходимости совместить спицу робота с кончиком сопла клеевого пистолета, рисунок 40.

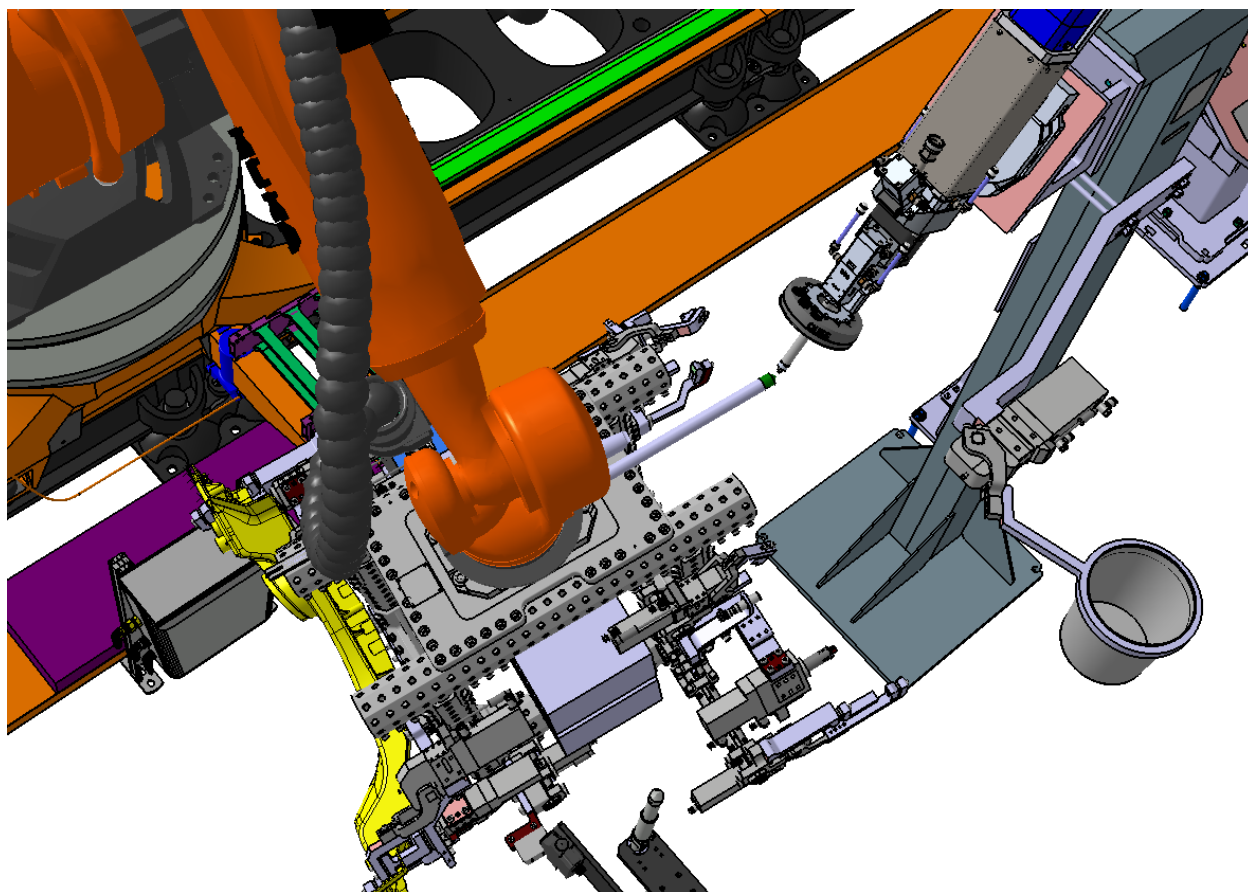


Рисунок 40 – Калибровка клеевого пистолета спицей робота

Инструмент или станция считаются откалиброванными в том случае, если запрограммированная координата совмещения двух точек совпадает с реально воспроизводимой координатой в цеху. Для калибровки станции можно использовать любой элемент конструкции, с заранее оговорёнными координатами. Для удобства отслеживания на стадии проектирования закладывается особый элемент конструкции, обладающий «ровными» координатами для удобства воспроизведения. Также в качестве элемента калибровки может использоваться угол станции, фиксирующий блок,

монтажное отверстие или неподвижный позиционирующий цилиндр. При этом координаты выбранного элемента должны быть отображены в специальной таблице нестираемыми чернилами. Для точного позиционирования станции в пространстве одной точки калибровки не достаточно, поскольку одна точка фиксирует положение по 3-м координатам X,Y,Z, но не устраняет осевого поворота вокруг точки, минимально необходимое количество точек калибровки 3, чтобы устранить все поворотные оси. На рисунке 41 представлено положение трёх точек для калибрования, представляющих собой отверстия с описанными координатами в табличках.

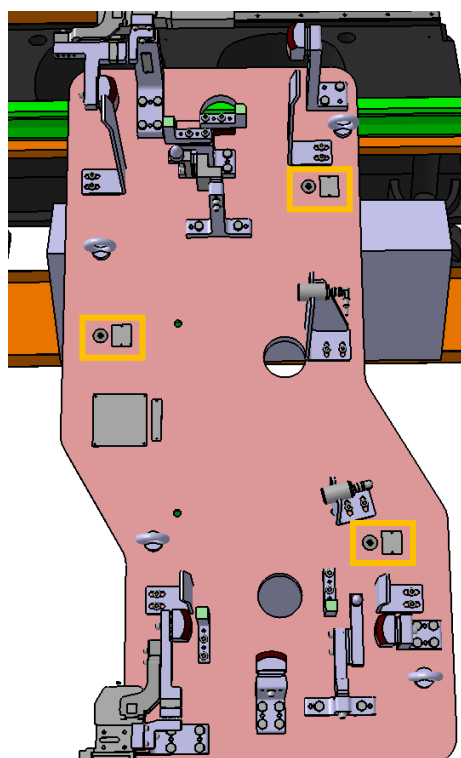


Рисунок 41 – Калибровочные отверстия центрирующей станции

В результате калибрования рабочего инструмента и стационарного оборудования была разработана методика проведения калибрования с применением калибровочных спиц, а также разработаны управляющие программы для калибрования оборудования промышленного робота.

## **5 Рабочая зона промышленного робота производственного участка**

Формирование рабочей зоны промышленного робота позволяет ограничить физическое перемещение робота заданным пространством. За пределом указанной области робот посредством управляющего контроллера отключается от источника питания. Помимо формирования рабочих зон роботов для ограничения доступа обслуживающего персонала по периметру рабочей зоны предусмотрен монтаж ограждения в виде забора высотой 2300мм из макролона. На рисунке 42 представлена схема организации рабочих зон с учётом технологического процесса. Зелёная область ограничивает рабочую зону промышленного робота, область в пределах которой робот может свободно перемещаться без ограничений. Жёлтым цветом обозначена переключаемая область, она может быть доступна или не доступна для робота в зависимости от управляющего сигнала. Применительно к существующему технологическому процессу обслуживающий персонал имеет свободный доступ к станции клепания, для установки автодеталей. Это значит, что в течение времени, пока обслуживающий персонал находится в пределах станции, переключаемая зона не доступна для робота и робот не может туда зайти. Как только человек покидает область станции клепания, управляющий контроллер открывает доступ промышленного робота к станции для загрузки/разгрузки автодеталей. Контроль того, что обслуживающий персонал вступил в переключаемую зону осуществляется посредством световой завесы высотой 2189мм, установленного на консоль высотой 620мм, производство фирмы SICK, модель MLG-2. В тоже время, с целью обеспечения безопасности и препятствия возможности проникновения человека в рабочую зону промышленного робота станция клепания была огорожена физическим забором, рисунок 43.

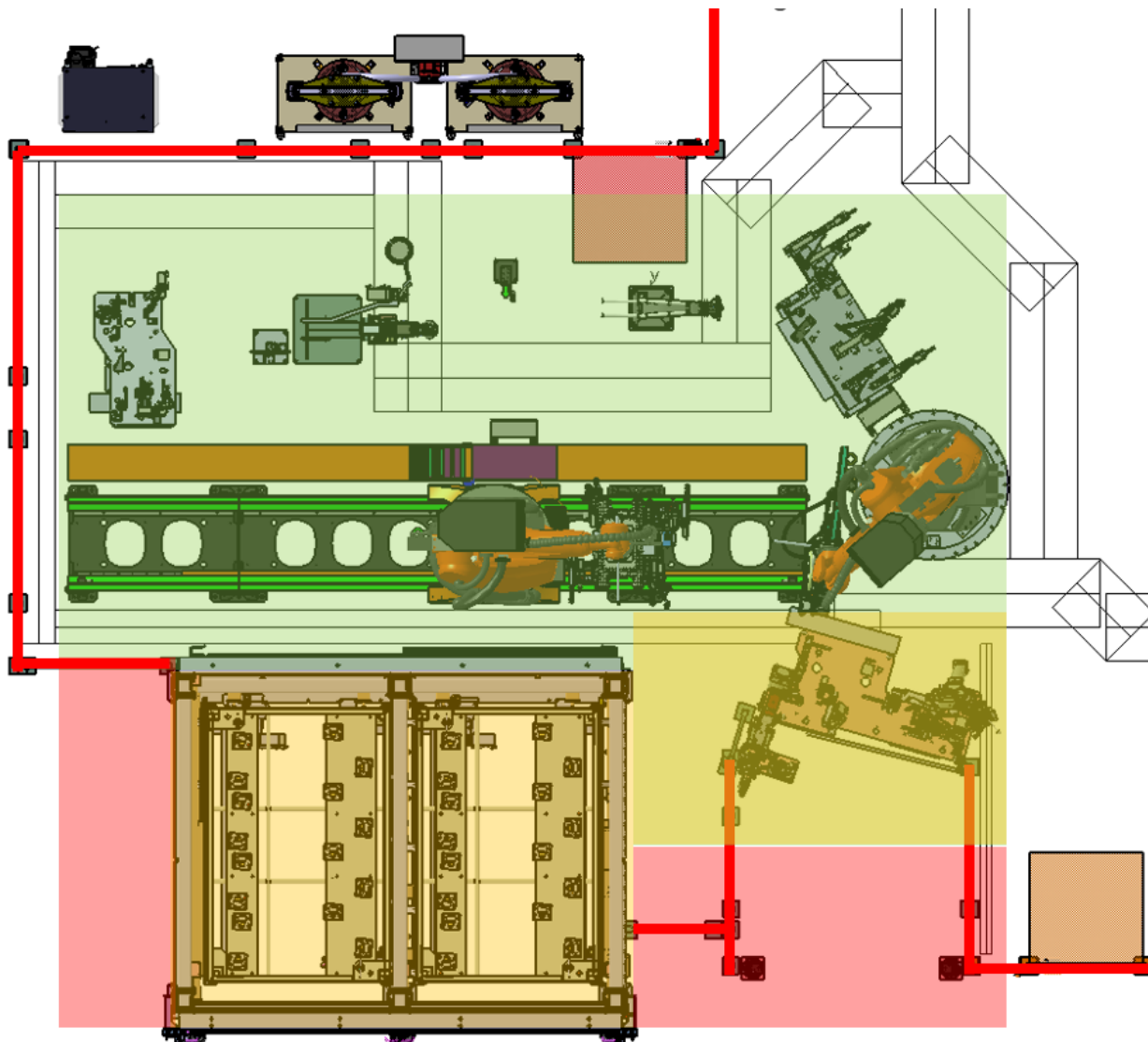


Рисунок 42 – Схема организации зон безопасности промышленных роботов

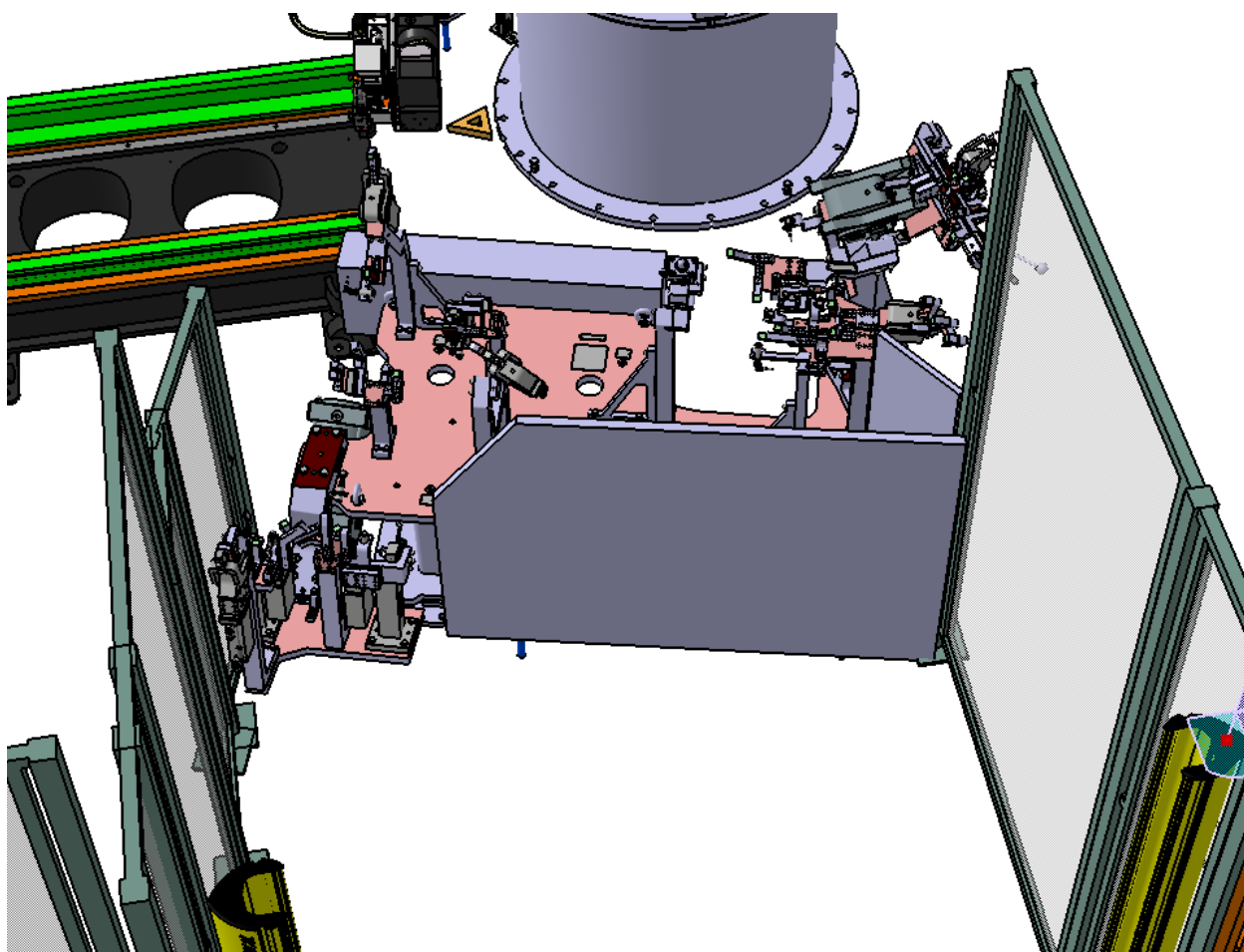


Рисунок 43 – Ограждение станции клепания

Также данное ограждение защищает обслуживающий персонал от несанкционированного доступа к движущимся частям станции клепания.

На рисунке 42, зоны обозначенные красным цветом являются запретными для движения робота. В случае если робот зайдёт в запретную зону, контроллер безопасности отключит его от источника питания. Восстановление работы в этом случае возможно только после перезапуска рабочей управляющей программы.

Безопасность контейнеров, в которых находятся исходные автодетали обеспечивается за счёт дублирования функции отгрузки. На рисунке 42, видно, что контейнеры выделены жёлтой переключаемой зоной, это значит, что в случае, если обслуживающий персонал по каким-либо причинам находится внутри контейнеров для отгрузки автодетали, например, в процессе



установки нового контейнера, робот не имеет возможности зайти в эту зону. Однако, для того чтобы не прерывать рабочий процесс сборки и не нарушать цикл целого участка сборки, контейнер загрузки имеет дублёр. На рисунке 44 представлен контейнер загрузки автодетали.

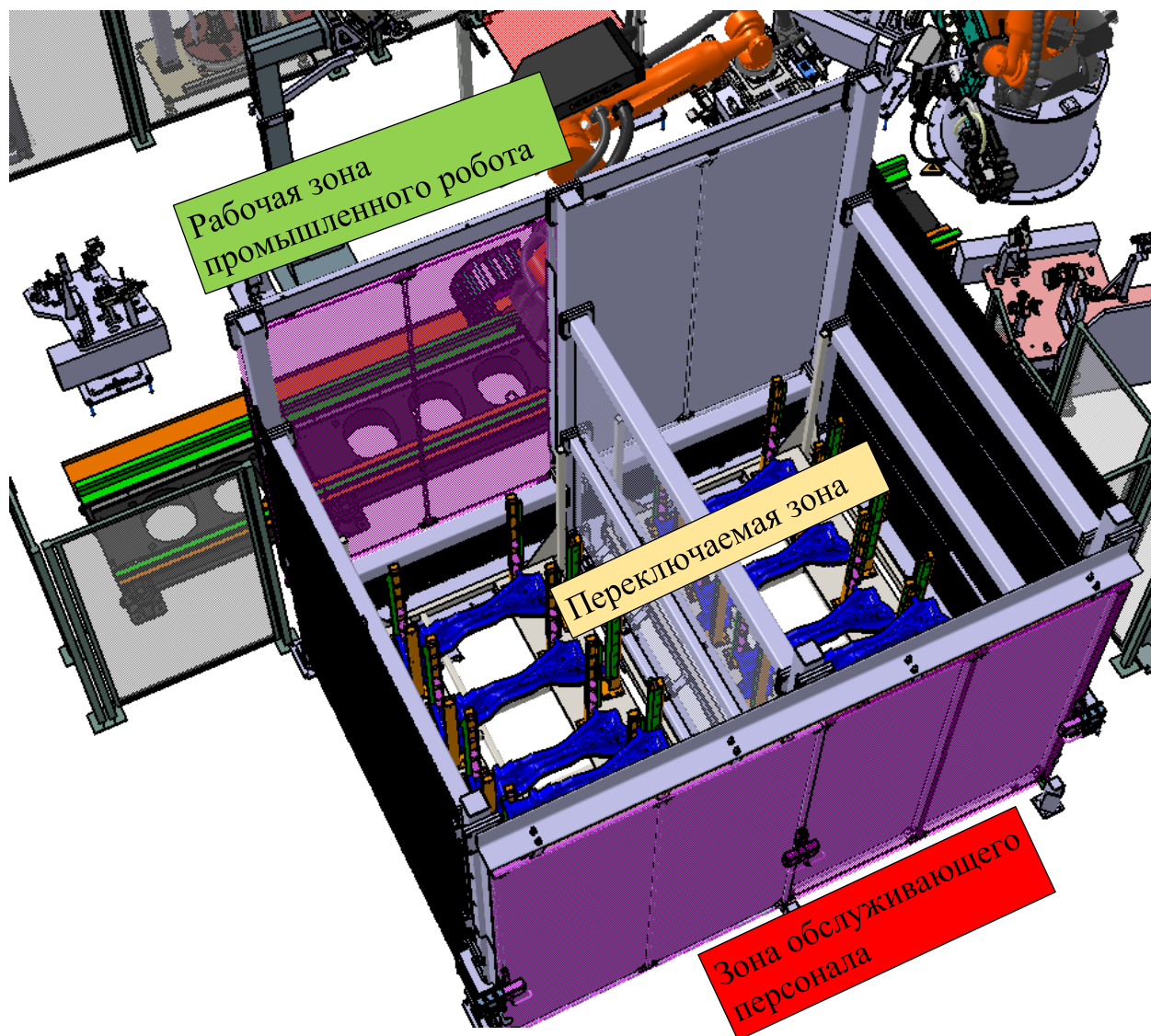


Рисунок 44 – Контейнер отгрузки автодеталей

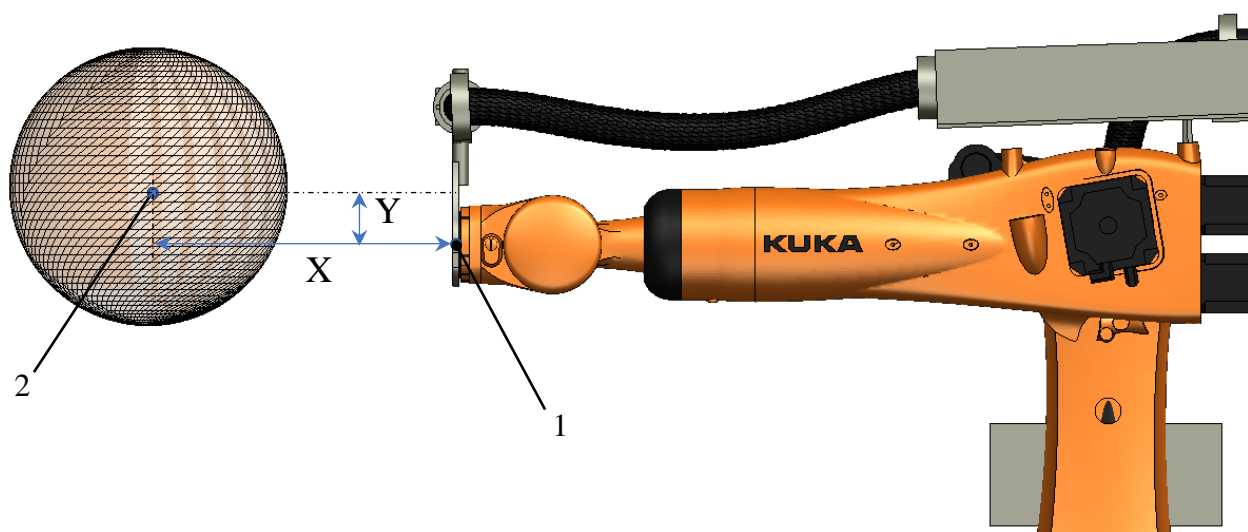
Из рисунка видно, что контейнер отгрузки разделена на две части, в каждой из которых находится паллета с автодетальями. Каждая паллета вмещает 24 автодетали. Со стороны робота имеется подвижная секция заграждения рассчитанная на одну паллету, со стороны обслуживающего

персонала имеется подвижная секция ограждения, рассчитанная на две паллеты. Сделано это для того, чтобы обслуживающий персонал не имел свободного доступа к контейнеру отгрузки автодеталей. В тоже время у робота есть возможность свободного доступа к одной паллете, поскольку вторая будет закрыта подвижным ограждением.

Система формирования рабочей зоны промышленного робота функционирует следующим образом: «в пространстве производится построение геометрических фигур типа прямоугольник и круг. Координаты положения этих фигур заносят в управляющий контроллер. Контроллер вычисляет по координате и размерам фигуры область в пространстве, которую ограничивает обозначенная фигура. Поскольку управляющий контроллер не знает о размерах инструмента, установленного на фланце робота, то возникает необходимость о том, чтобы контроллер смог в любой момент времени произвести вычисление положения инструмента относительно робота. Данная информация поможет отключить робота, в случае если части инструмента выйдут за пределы рабочей зоны робота. Для получения информации о положении инструмента в пространстве управляющий контроллер использует специальные сферы. В качестве базовой фигуры для вычисления положения инструмента была выбрана сфера потому, что область покрытия сферы легко может быть вычислена по двум параметрам: центр координат сферы и радиус сферы. Обладая этими параметрами управляющий контроллер отслеживает траекторию движения сфер безопасности в пространстве и в случае пересечения с границей рабочей зоны управляющий контроллер отключает промышленного робота от источника питания, предполагая, что робот начал бесконтрольно перемещаться и возможно нанесение повреждений обслуживающему персоналу [33]. Для этого управляющему контроллеру необходимо получить информацию о положении и размерах сфер безопасности. Сферы безопасности должны покрывать весь инструмент и автодеталь, тем самым устраняя неучтённые выпирающие части автодетали или инструмента, которые могут нанести вред здоровью человека» [14].



«Точка отсчёта координат сферы безопасности – центр фланца робота» [19, 33]. На рисунке 45 показано отсчёт координат X и Y сферы по отношению к роботу.



1 – центр фланца робота; 2 – центр сферы безопасности

Рисунок 45 – Координаты сферы безопасности по отношению к роботу

Современные «контроллеры безопасности делятся по функционалу и по своим возможностям на разные категории. Наиболее дешёвый и простой вариант, рассматриваемый для проектируемого участка цеха, позволяет создавать до 16 различных зон безопасности и не более 12 сфер безопасности. Для рассматриваемого робота задействованы 4-е зоны безопасности: 1 – рабочая зона робота; 2, 3 – перманентные зоны вдоль заграждения; 4 – переключаемая зона для конвейера. Для формирования сфер безопасности было задействовано максимальное число сфер – 12. На рисунке 46 представлено расположение сфер безопасности для проектируемого робота.» [19, 33]

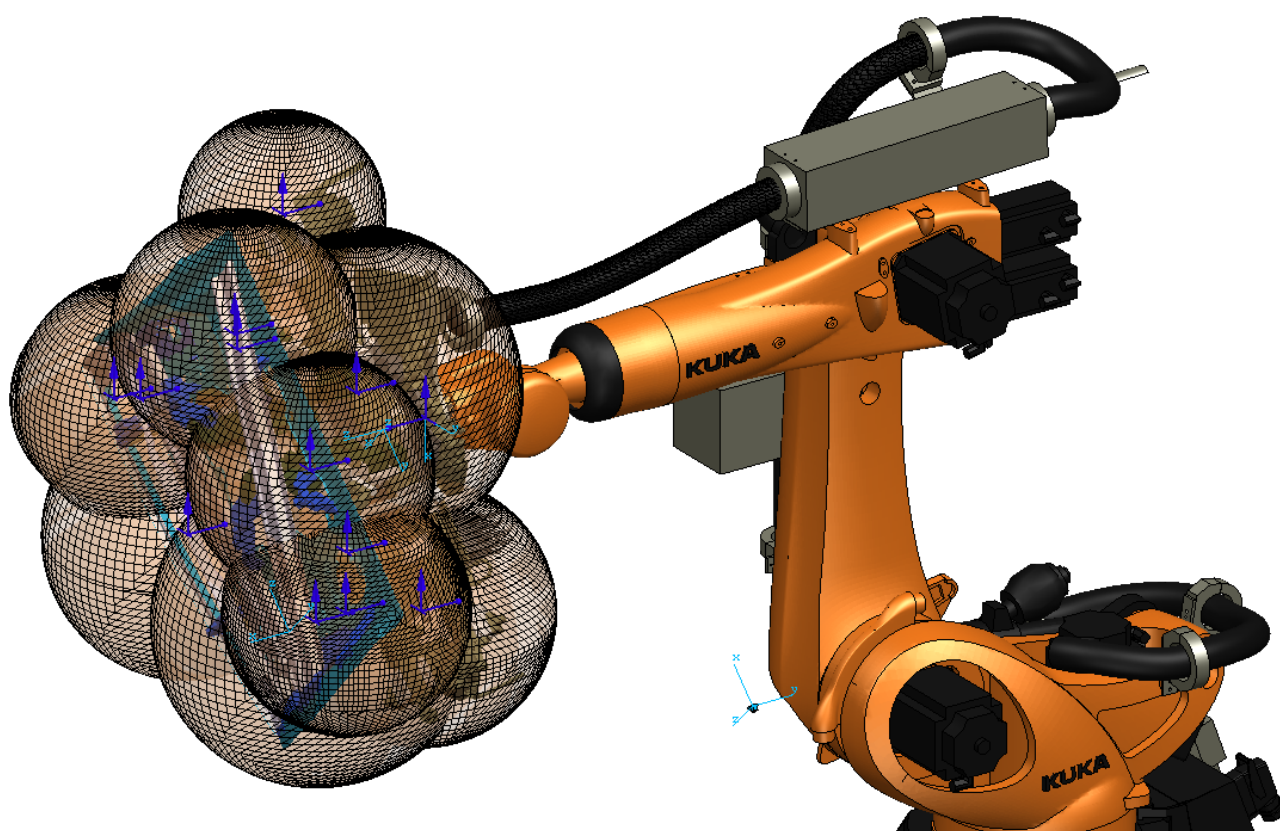


Рисунок 46 – Расположение сфер безопасности

О правильности расположения основного оборудования в цехе можно судить по тому, как выполняется условие пересечения сферами безопасности границ рабочей зоны робота в процессе движения робота. В случае если это условие не выполняется и при повороте сфера выходит за пределы рабочей зоны, тогда необходимо либо переделать рабочую зону, либо изменить размер и положение сфер безопасности, либо сдвинуть оборудование [19].

В результате формирования рабочей зоны определены координаты и границы перманентных, переключаемых и рабочей зон промышленного робота, ограничивающие свободное перемещение робота в указанных пределах безопасность обслуживающего персонала. Получены сферы безопасности для обозначения габаритов инструмента, находящегося на 6-й оси робота.

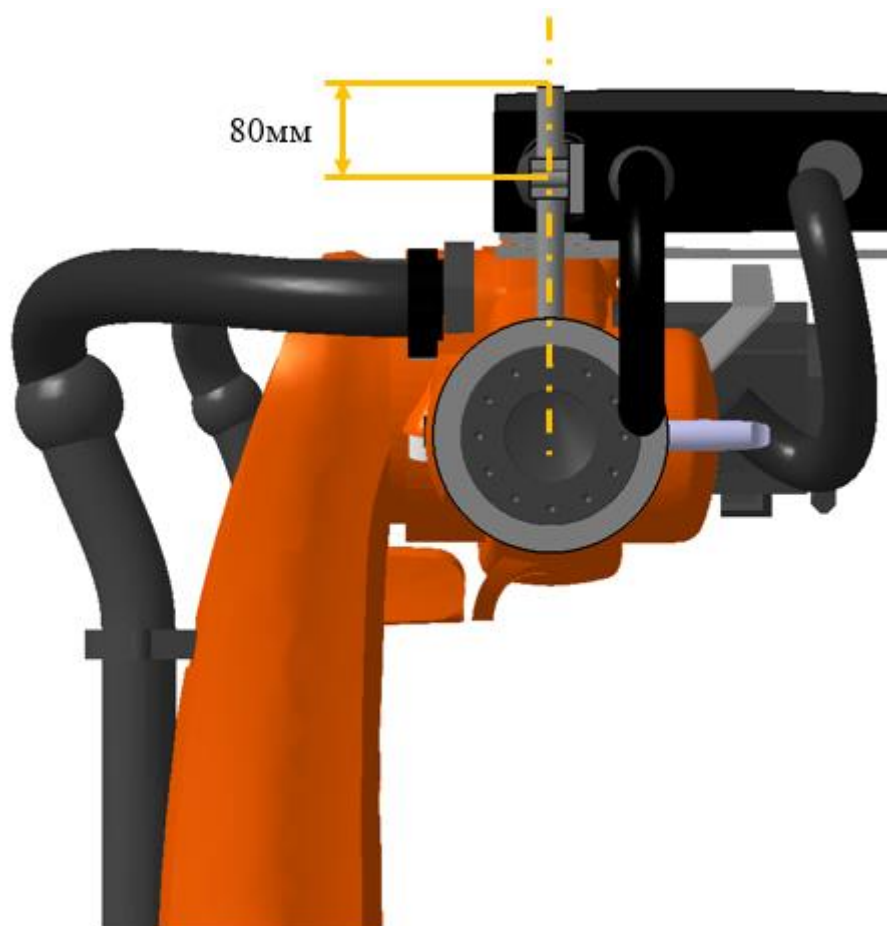
## **6 Настройка и программирование робота**

### **6.1 Настройка оборудования робота**

Для того, чтобы управлять инструментом, закреплённым на фланце робота, необходимо обеспечить подвод сигнальных проводов, и пневмотрубок. В промышленных роботах КУКА «прокладка проводов осуществляется в специальном кабеле проводящем шланге (далее шланг). Проводящий шланг крепится к осям робота. Конец шланга закреплён на «ракетке» фланца робота. Положение «ракетки» робота также требует своей корректировки и необходимо проверять «ракетку» робота на столкновения с окружающим оборудованием.

Основное условие проверки - отсутствие столкновений или малых зазоров (менее 100мм) от кабеле-проводящего шланга до любого оборудования, к которому приближается робот в процессе движения. На рисунке 45 представлено рабочее положение ракетки робота с держателем шланга» [19].

Из рисунка видно, дизайн устройств выполнен таким образом, что можно обойтись без дополнительной настройки кабеле-проводящего шланга с питанием и пневматическими шлангами для управления углом открытия и закрытия устройств, установленных на фланце 6-й оси робота.

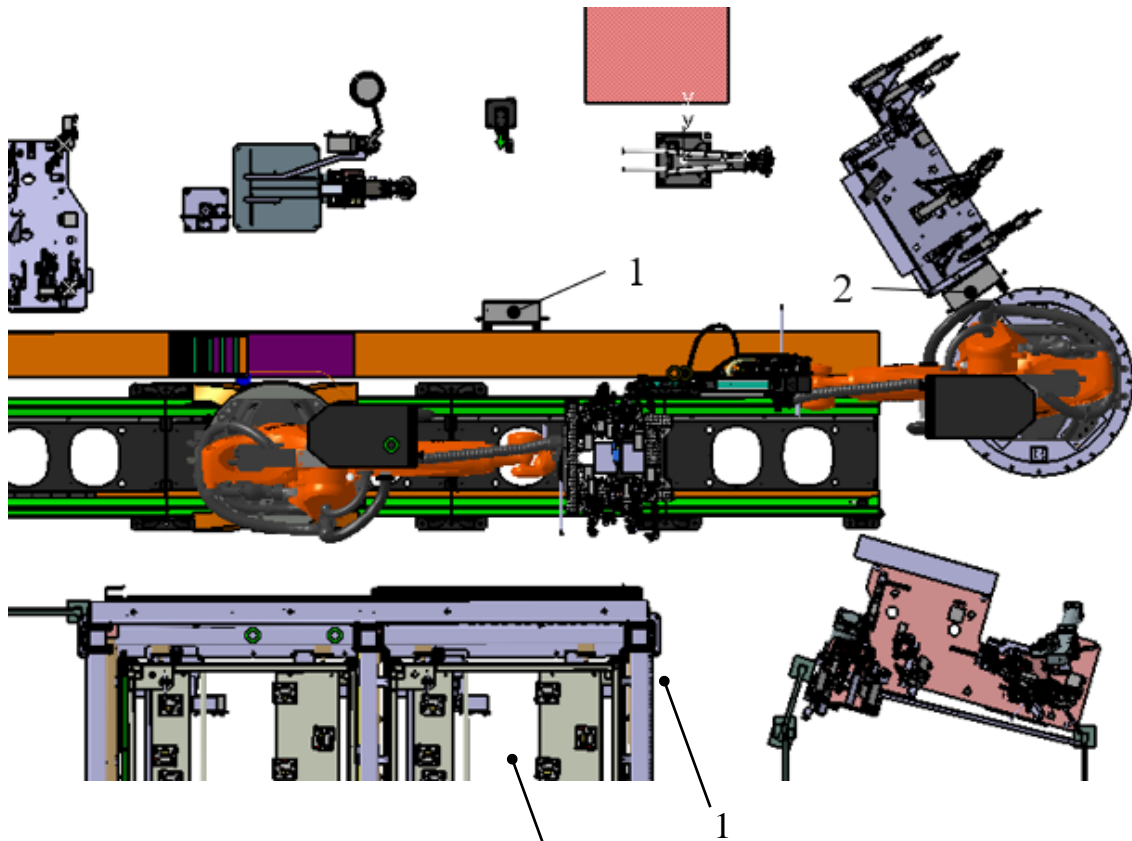


поворот ракетки:  $0^{\circ}$ ; крепление держателя шланга: 80мм; поворот держателя шланга  $0^{\circ}$ ;  
поворот выходного шланга  $0^{\circ}$

Рисунок 47 – Положение ракетки робота:

Подвод силового, сигнального и управляющего проводов, а также труб магистрали высокого давления до рабочего инструмента робота осуществляется по кабель-каналу, расположенному на полу, вплоть до распределительного устройства соответствующего робота. Положение ракетки распределителя показано на рисунке 47.

На рисунке 46 и 48 показано положение распределительных устройств для транспортного и клёпочного роботов. По составу распределительное устройство транспортирующего и клёпочного роботов состоит из набора задвижек и включает в себя пневмоузел, без подвода охлаждающей жидкости, а также расширители для управляющих сигналов от контроллера и от датчиков, установленных на устройстве 6-й оси робота [28].



1 – для транспортирующего робота с осью расширения;  
 2 – для робота с клёпочным пистолетом;

Рисунок 48 – Положение распределителей:

На заключительном этапе проектирования и организации рабочего участка необходимо связать все единицы оборудования кабель-каналом, для удобства перемещения обслуживающего персонала внутри участка. В кабель-канале предусмотрено расположение силовых кабелей питания, сигнальных проводов датчиков контроллера, магистралей сжатого воздуха и подвод системы охлаждения в случае необходимости.

## 6.2 Программирование робота

После того, как «основное оборудование было расставлено и был сформирован концепт безопасности для робота, можно приступать к написанию траектории движения робота и к заданию основных параметров

движения. Разделим всю программный функционал на две части: основная программа, выполняемая за время цикла; сервисные программы, выполняемые за пределами цикла (показ клея, калибровка оборудования и т.д.)» [19].

В соответствии с последовательностью выполнения технологических операций транспортирующий робот выполняет следующие действия по ходу цикла:

- начало цикла: робот находится в позиции «Старт», захват пустой;
- из позиции «Старт» робот подходит к контейнеру с лонжеронами и забирает деталь;
- позиционирование лонжерона в станции для выравнивания положения детали в захватном устройстве;
- нанесение клеевого состава шва у стойки на поверхность детали;
- изъятие детали со станции для клепания, в захвате две детали;
- установка первой детали в станцию для клепания;
- установка второй детали в станция для передачи на следующий этап сборки;
- возвращение робота в позицию «Старт». Конец цикла.

На основании заданного технологического процесса была составлена циклограмма последовательной работы роботов, разработаны управляющие программы, включающие в себя конфигурацию траектории движения, с указанием базовых, вспомогательных и дополнительных точек траектории. Для каждой точки траектории были определены параметры, отвечающие за качество перемещения робота, а именно: скорость вращения каждой оси робота, тип движения между точками траектории (круговая, линейная, точка-в-точку), были детально проработаны моменты начала движения роботов и остановки, поскольку эти движения выполняются с высокой точностью и являются точками с нулевой скоростью; были сформированы и описаны программными средствами системы координат робота и цеха, для корректной передачи траектории движения всех управляющих программ на производство.

В пространстве траектория движения робота представляет собой массив точек. Для того, чтобы передать координаты этих точек в «живого» робота необходимо выбрать систему отсчёта, которой и является ось объекта. В качестве оси объекта используется центр оси монтажного крепления робота, поскольку он статичен и не может быть изменён физически.

В итоге было написано 8 управляющих программ для каждого контроллера промышленных роботов, включающих в себя:

- основной цикл работы участка;
- дополнительные процедуры основного цикла (нанесение клеевого состава, проверка клеевого шва, заполнение магазина клёпок для пистолета);
- основная процедура центрирования лонжерона в станции с пневматическими упорами;
- калибровка осей, датчиков и рабочей зоны промышленного робота и основного оборудования;
- позиция обслуживания устройств, закреплённых на фланце 6-й оси роботов;
- позиция для калибрования клеевой стойки с применением измерительных спиц, на фланце 6-й оси робота;
- позиция калибрования кулачков, датчиков, камертона, кабель-канала и пневматического острова захватного устройства;
- позиция контроля за качеством нанесённого клеевого шва и механического удаления этого шва в случае отклонения от нормы.

В результате конфигурирования промышленного робота, а также программирования траектории его движения был сформирован массив данных, включающего себя шесть координат для каждой точки траектории движения каждой управляющей программы. Полученные координаты точек были преобразованы в относительное расположение по отношению к координате основания промышленного робота.

## Заключение

В результате симуляции компьютерной модели в системе автоматизированного проектирования роботизированного участка цеха сделан следующие выводы:

- выравнивание позиции лонжерона в захватном устройстве может быть осуществлено с применением центрирующей станции. Центрирующая станция осуществляет позиционирование лонжерона за счёт силы притяжения по причине того, что столешница станции наклонена в двух плоскостях;

- расчёт усилия прижима пневматических механизмов для фиксации лонжеронов в транспортирующем устройстве;

- расчётные данные по нагрузке на промышленного робота со стороны захватного устройства, позволили определить тип и модель робота способного выдержать и динамическую и статическую нагрузку в условиях транспортировки двух деталей в одном захватном устройстве;

- проведённый анализ типа и геометрии клёпочного пистолета гарантирует возможность осуществления соединения деталей клёпками в указанных точках без аварий;

- тип и высота консолей транспортирующего и клёпочного роботов, полученные в ходе проектирования, обеспечивают необходимую достижимость промышленного робота, без выхода за допустимые пределы по осям в процессе движения;

- применение метода измерительных спиц для калибровки рабочего инструмента позволяет также провести быструю проверку расположения оборудования, без привлечения специализированного измерительного оборудования;



- сформированное положение рабочей зоны роботов, обеспечивает работу робота в заданных пределах, не позволяя роботу выйти за ограничение;
- разработанные управляющие программы для транспортирующего и клёпочного роботов, позволяют организовать циклическое взаимодействие всех единиц оборудования участвующих в цикле, на производстве;
- произведена настройка и конфигурирование промышленного оборудования для наладки параллельной работы роботов на производственном участке;
- разработанная пневматическая схема работы устройств позволяет уменьшить затраты ресурсов на пуско-наладочные работы на производстве, поскольку описывает последовательность подключения и работы пневматических переключателей как для транспортирующего устройства, так и для станций.

## Список используемых источников

1. Автоматизированный клёпочный инструмент для промышленной робототехники. Фирма TOX® PRESSOTECHNIK.  
<https://ru.tox-pressotechnik.com/products/clinching-tools/toolsets/>
2. Белов М.П. Технические средства автоматизации и управления / М.П. Белов. - С-Пб.: Северо-западный государственный заочный технический университет, 2006. - 184 с.
3. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. - М.: КолоС, 2005. - 344 с.
4. Брюханов В.Н. Автоматизация производства. / В.Н. Брюханов. — М.: Высшая школа, 2016. — 367 с.
5. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. - М.: Горячая линия - Телеком, 2009. - 608 с.
6. ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения». - М.: Стандартинформ, 2009. - 15 с.
7. Евтушенко, С.И. Автоматизация и роботизация строительства: Учебное пособие / С.И. Евтушенко, А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев, Д.Я. Паршин. — М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2017. — 452 с.
8. Зубарев, Ю.М. Автоматизация координатных измерений в машиностроении: Учебное пособие. 2-е изд., пер. и доп. / Ю.М. Зубарев, С.В. Косаревский. — СПб.: Лань, 2016. — 160 с.
9. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. — М.: Форум, 2016. — 224 с.
10. Кангин В.В. Аппаратные и программные средства систем управления. Промышленные сети и контроллеры / В.В. Кангин, В.Н. Козлов. -М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 418 с.

11. Капустин, Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. 2-е изд., стер. / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов. — М.: Высшая школа, 2017. — 415 с.
12. Ключев, А.С. Автоматизация настройки систем управления / А.С. Ключев, В.Я. Ротач, В.Ф. Кузищин. — М.: Альянс, 2015. — 272 с.
13. Кукуй, Д.М. Автоматизация литейного производства / Д.М. Кукуй, В.Ф. Одинокко. — Минск: Новое знание, 2018. — 240 с.
14. Латышенко, К.П. Автоматизация измерений, испытаний и контроля / К.П. Латышенко. — М.: МГУИЭ, 2016. — 312 с.
15. Муллаяров А.А. Повышение эффективности кузовной сборки автомобиля путём автоматизации сборочных операций с применением промышленных роботов / А.А. Муллаяров – ТГУ. Выпускная квалификационная работа. ТГУ. 2022.
16. Мауэргауз, Ю.Е. Автоматизация оперативного планирования в машиностроительном производстве / Ю.Е. Мауэргауз. — М.: Экономика, 2017. — 287 с.
17. Новиков Ю.В. Основы микропроцессорной техники / Ю.В. Новиков, П.К. Скоробогатов. - М.: Интернет-Университет информационных технологий; БИНОМ Лаборатория знаний, 2009. - 357 с.
18. Овчинников, В.В. Оборудование, механизация и автоматизация сварочных процессов: Практикум: Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования / В.В. Овчинников. — М.: ИЦ Академия, 2016. — 128 с.
19. Овчинников В.В. Плакаты: Оборудование, механизация и автоматизация сварочных процессов / В.В. Овчинников. - М.: Academia, 2017. - 256 с.
20. Перфильев Е.А. Увеличение производительности линии кузовной сборки путём роботизации участка цеха / Е.А. Перфильев // Выпускная квалификационная работа. ТГУ. 2022.

21. Пиляев, С.Н. Основы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами / С.Н. Пиляев, П.О. Гуков, Д.Н. Афоничев, Р.М. Панов. - Воронеж: Воронежский ГАУ, 2013. - 187 с.

22. Пиляев, С.Н. Применение программируемых логических контроллеров для автоматизации технологических процессов / С.Н. Пиляев, П.О. Гуков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2008. - № 10.-С. 34-35.

23. Потапов А.А. Разработка роботизированного участка складского помещения станции технического обслуживания для хранения ячеек тяговых батарей электромобилей различной ёмкости / А.А. Потапов // Выпускная квалификационная работа. ТГУ. 2022.

24. Селевцов, Л.И. Автоматизация технологических процессов. Издание 3-е / Л.И. Селевцов, А.Л. Селевцов. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. — 352 с.

25. Скворцов, А.В. Автоматизация управления жизненным циклом продукции: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / А.В. Скворцов, А.Г. Схиртладзе, Д.А. Чмырь.— М.: ИЦ Академия, 2016. — 320 с.

26. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / А.Г. Схиртладзе, С.В. Бочкарев, А.Н. Лыков. — Ст. Оскол: ТНТ, 2016. — 524 с.

27. Фельдштейн, Е.Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. — М.: НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2016. — 264 с.40. Фельдштейн, Е.Э.

28. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов / В.Ю. Шишмарев. - М.: ИЦ «Академия», 2005. - 352 с.

29. Шишмарев В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник / В.Ю. Шишмарев. - Рн/Д: Феникс, 2018. - 64 с.

30. Энциклопедия заклепки. Процесс, оборудование и технология.  
<https://azbukametalla.ru/entsiklopediya/z/zaklepki.html>

31. Jazar R.N. Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control // Springer, 2007.693 pp.
32. Lewis F. Robot Manipulator Control Theory and Practice / F. Lewis, D.M.Dawson, C.T.Abdallah. // New York, Marcel Dekker, 2004 , 614 pp. ISBN 0-8247-4072-6.
33. Low K.H.(ed.) Industrial Robotics. Programming, Simulation and Applications // First published February 2007. Printed in Croatia 700 pp. ISBN 3-86611-286-6.
34. Murray R.M. A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation / Murray R.M., Li Z., Sastry S. // CRC Press, 1st edition, 1994, 480 pp.
35. Siciliano B. Robotics: Modelling, Planning and Control / Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G. // Springer, 2009, 644 pp. ISBN 978-1-84628-641-4