

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 Увеличение производительности линии кузовной сборки путём
роботизации участка цеха

Обучающийся

Е.А. Перфильев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

канд. техн. наук, доцент О.И. Драчев

руководитель

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

Тольятти 2022

Содержание

1	Исходные данные.....	7
1.1	Описание автодетали	7
1.2	Исходные данные для процесса сварки и нанесения клея	14
1.3	Описание промышленного робота	15
2	Транспортировка автодетали	18
2.1	Зажимное устройство для промышленного робота.....	18
2.2	Выбор типа робота	25
2.3	Типы движения робота	28
2.4	Конвейер.....	30
3.	Стационарная сварка.....	35
3.1	Стандартное оборудование	35
3.2	Подбор местоположения сварочного оборудования.....	37
3.3	Заточка колпачков сварочного пистолета	41
4.	Организация процесса нанесения клеевого шва.....	44
5.	Станция передачи автодетали.....	51
6.	Калибровка рабочего инструмента	55
7.	Организация безопасности	61
8.	Настройка и программирование робота	70
8.1	Настройка оборудования робота	70
8.2	Программирование робота	75
	Заключение	80
	Список используемых источников.....	81

Введение

Мир становится все более цифровым и прогрессивным. Об этом можно судить, например, по тому факту, что количество роботов, установленных в промышленности по всему миру, за последние десять лет увеличилось более чем втрое.

Робототехника является новым средством комплексной механизации и автоматизации производства, техникой последних поколений, дающей наивысшую эффективность.

Робототехника - это новое комплексное научно-техническое направление, включающее разработку, создание и использование манипуляторов, роботов и роботизированных технологических комплексов, а также связанные с этим организационные, социально-экономические и психологические аспекты, требующие нового научного подхода. Успешно работая в разных сферах, она постепенно доказывает свои преимущества [2, 6].

Автоматизация с помощью роботов обеспечивает производительность, гибкость и безопасность.

Идея замены человеческого труда машиной известна с древних времен. Промышленный робот стал еще одним шагом в развитии гибкой автоматизации для оптимизации производства с возможностью не только постоянно повторять одни и те же операции с гарантированной точностью, но и с возможностью простого перепрограммирования в случае изменения производственной программы пользователя.

Концепция начинается с простых рабочих мест, где робот оснащен позиционером для размещения приспособлений и позиционирования деталей на двух или более станциях, для всей роботизированной производственной линии, где функция приспособлений, включая загрузку и разгрузку деталей, решается роботами [8, 9].

Важными помощниками в мире современной автоматизации в настоящее время являются широко используемые вспомогательные системы, такие как системы визуализации или камеры, которые позволяют роботам удалять и манипулировать крупными деталями.

Однако надежность роботов, их программного обеспечения, высокая производительность и простота эксплуатации являются необходимыми предпосылками для правильного функционирования этих устройств и систем.

Уровень и способы автоматизации производства существенно зависят от его вида и масштабов, и если в массовом и крупносерийном производстве наиболее оправданным является использование автоматических линий, то в среднесерийном и мелкосерийном и единичном производстве комплексная автоматизация стала возможной с появлением ЭВМ, станков с ЧПУ и промышленных роботов.

На базе технологического оборудования с числовым программным управлением и промышленных роботов komponуются многономенклатурные линии, участки, цеха, получившие название гибкого автоматизированного производства.

Основным принципом построения таких гибких производств является модульность. Автоматизация гибкого производства развивается от простого к сложному - первоначально создаются и внедряются гибкие производственные модули (ГПМ), на их основе строятся гибкие производственные комплексы (ГПК) и, наконец, гибкие автоматизированные производства (ГАП).

Дальнейшим их развитием является создание практически безлюдного автоматического производства, где гибкие автоматизированные производства дополняется системами автоматизированного проектирования выпускаемых изделий (САПР) и технологической подготовки их производства, планирования и диспетчерского управления (АСУП).

Цель работы является проектирование роботизированного участка для обеспечения циклической сборки части кузова автомобиля. Объектом работы является кузовной элемент сборки автомобиля. Согласно требованиям

технологического процесса, необходимо проектирование процесса сборки элементов кузова автомобиля, включающего точечную контактную сварку, нанесение клеевого шва и транспортировку промышленным роботом.

На основании цели работы можно сформулировать следующие задачи:

1. Анализ исходных данных для проектирования
2. Построение технологической схемы процесса
3. Формирование макета необходимого оборудования для построения технологического процесса (основного, вспомогательного, транспортирующего).
4. Проектирование основного и вспомогательного оборудования для осуществления процесса кузовной сборки
5. Анализ спроектированного оборудования. Расчёт нагрузочных характеристик на промышленный робот.
6. Расстановка оборудования и построение трехмерной модели сборочного участка цеха.
7. Написание программ движения для промышленного робота.
8. Обеспечение безопасности в производственном участке цеха путём программного ограничения рабочей области промышленного робота.

Объектом исследования является кузовная сборка автомобиля. Предметом исследования является программная реализация технологической сборки кузовной части автомобиля.

Применяемый метод исследования – компьютерное моделирование в системах САПР.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Захватное устройство, спроектированное для транспортировки, стационарной сварки и нанесения клеевого шва на основную сборочную единицу автодетали;
2. Перекладная станция для позиционирования и фиксации захватного устройства с целью передачи автодетали на следующий этап сборки;

3. Компоновка рабочего оборудования и их взаимодействие для обеспечения бесперебойной работы промышленного робота;
4. Концепт безопасности, обеспечивающий защиту обслуживающего персонала в процессе работы сборочного участка;
5. Параметры программирования и траектории движения промышленного робота.

Научной новизной работы являются устройства, спроектированные для кузовной сборки модели автодеталей, а также взаимное расположение оборудования, обеспечивающее циклическую и безаварийную работу участка.

Практическая значимость проекта заключается в возможности использования полученных данных в виде компьютерной модели цеха для реализации 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 позволит гарантировать совместимость взаимодействующего оборудования без коллизий 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

Исходные данные для проектирования включают в себя общее описание процесса сборки, последовательность необходимых манипуляций с графическим представлением основных элементов.

1.1 Описание автодетали

Автодеталь представляет собой переднюю боковую дверь автомобиля с указанием мест прижима для осуществления операции транспортировки детали промышленным роботом. Места прижима определяются из условий надёжности и стабильности крепления с учётом технологического процесса сборки на текущем этапе, а также с учётом веса автодетали. Места прижима автодетали выбираются таким образом, чтобы сначала прижималась несущая часть автодетали с фиксацией по всем степеням свободы. При этом для предотвращения поворота автодетали в плоскости зажима предусмотрен конструктивный элемент в виде позиционирующего цилиндра, вставляемого в технологическое отверстие автодетали. Фиксация автодетали путём добавления одного позиционирующего цилиндра не позволяет зафиксировать автодеталь, поскольку возможен проворот автодетали вокруг оси цилиндра в процессе транспортировки. Поэтому для достижения наибольшей эффективности и жёсткой фиксации автодетали в захвате робота добавляют два позиционирующего цилиндра в два технологических отверстия, находящиеся на расстоянии друг от друга [1, 10]. Соответствующие технологические отверстия подсвечены зелёным кругом на рисунке 1.

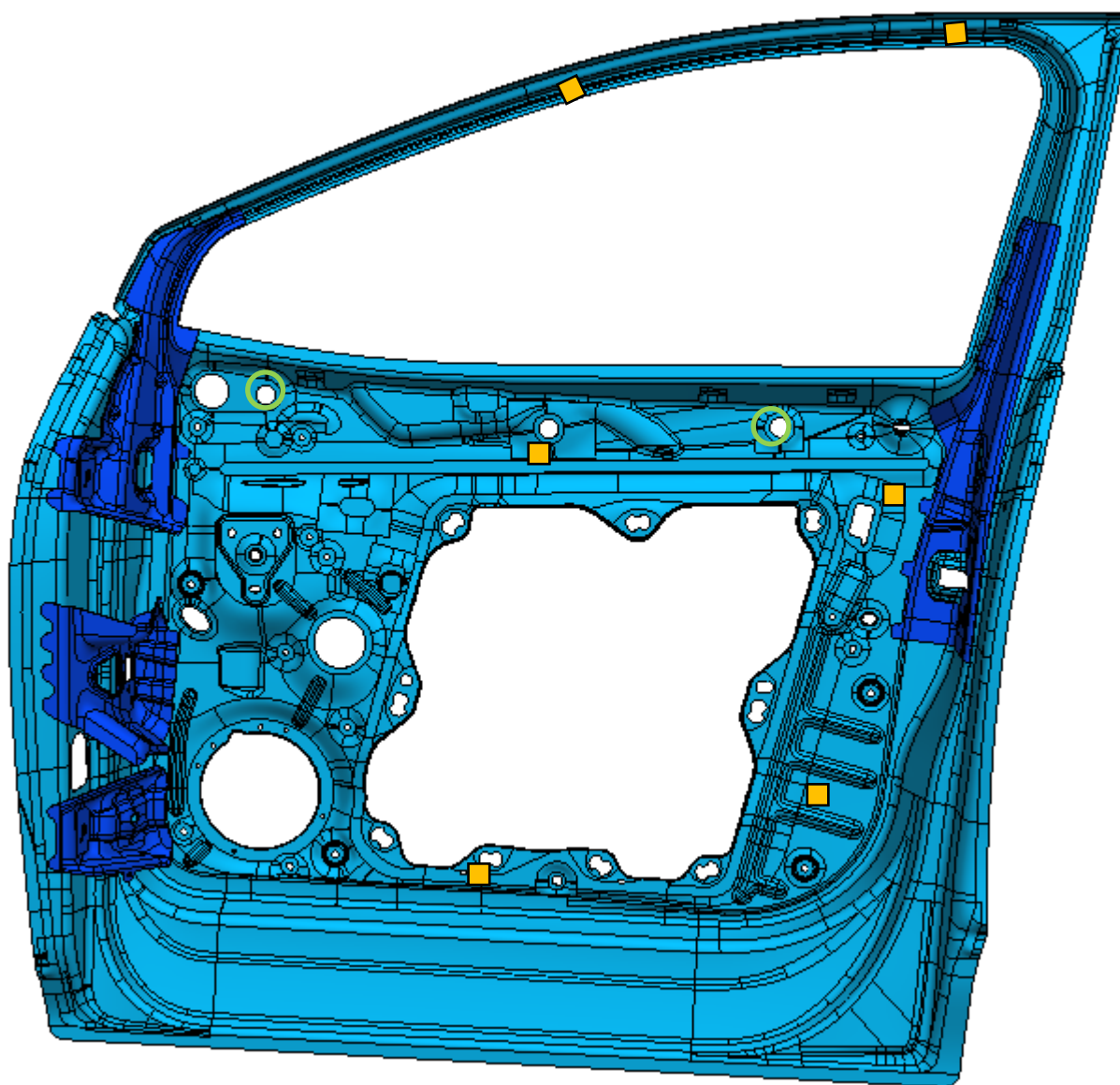


Рисунок 1 – Описание автодетали

Таким образом, фиксация автодетали зажимными механизмами в 6-и точках прижима позволяет зафиксировать деталь по 5-и координатам, а по 6-й координате фиксация производится двумя позиционирующими цилиндрами, расположенными в технологических отверстиях.

В зависимости от технологического процесса сборки и смежного оборудования допускается смещение точек прижима если они не мешают технологическому процессу [16, 20].

Рассмотрим последовательность работы участка с учётом того, что время цикла составляет 75сек:

- снятие детали с конвейера;
- сварка в стационарном сварочном пистолете. Усилие сварочного пистолета 4700Н;
- нанесение клеевого шва на автодеталь;
- передача автодетали на следующий этап сборки.

В таблице 1 представлено подробное описание последовательности работы робота и схема расположения оборудования.

На рисунке 2 представлена схема технологического процесса кузовной сборки элемента автомобиля на проектируемом участке:

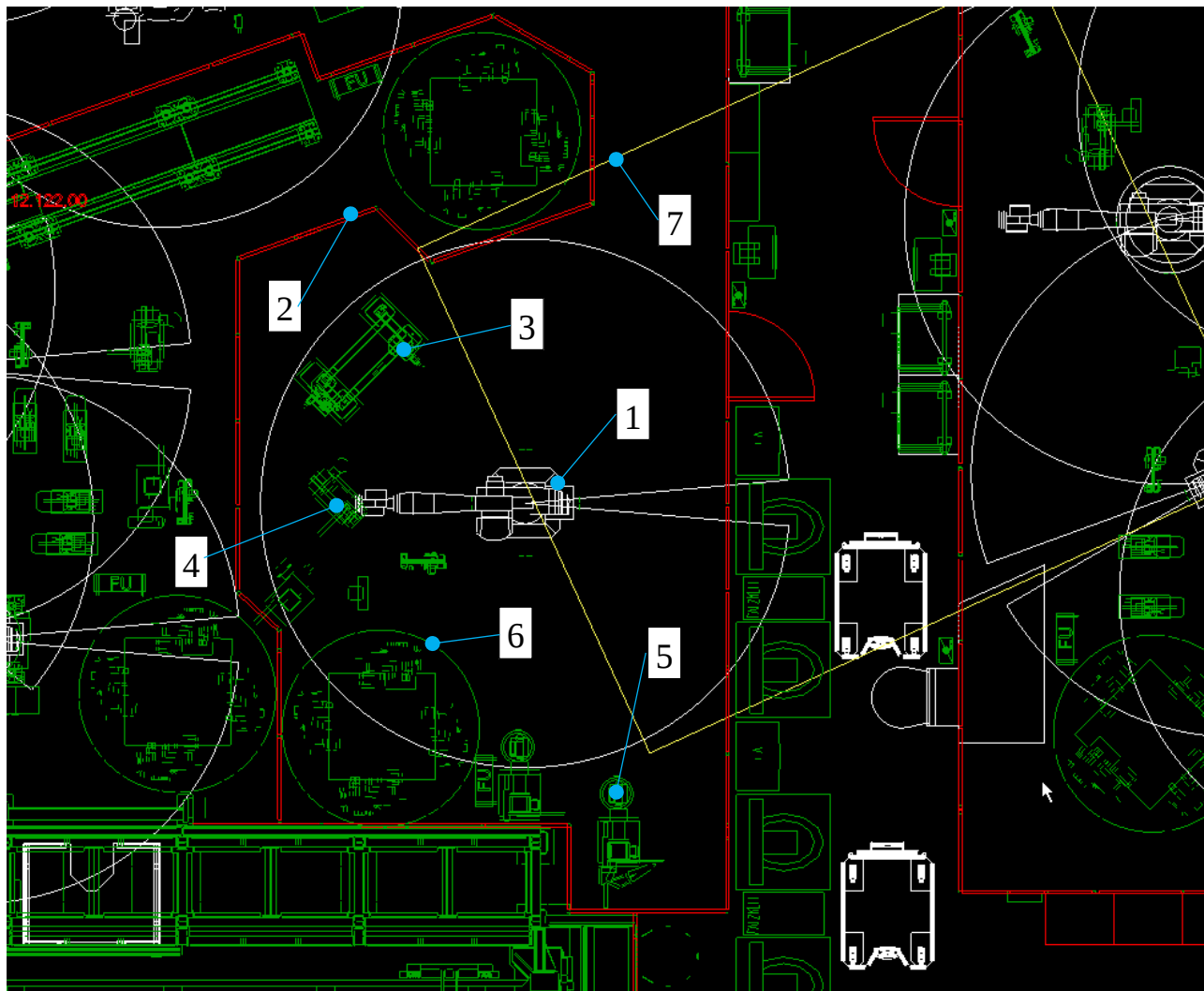


Рисунок 2 – Схема технологического процесса сборки

Технологический процесс рассматриваемого участка представляет собой последовательность выполнения нескольких операций над автодеталью с последующей передачей автодетали на следующий этап сборки. На проектируемом участке необходимо произвести снятие автодетали с конвейера 7, далее произвести точечную сварку в стационарном сварочном пистолете 4 в обозначенных точках кузова; затем необходимо нанести клеевой шов с использованием клеевого пистолета 5; после завершения технологического процесса автодеталь необходимо транспортировать до места передачи на следующий этап сборки посредством проектируемой станции 3; после позиционирования автодетали в указанной станции промышленный робот из соседнего участка цеха заберёт автодеталь и продолжит сборку на следующем участке цеха. В это время проектируемый участок цеха повторит цикл и робот возьмёт очередную деталь. Полный цикл работы участка представлен на рисунке 3

Все описанные операции будут производиться промышленным роботом KUKA – 1, выбор которого будет осуществляться на основании расчётов нагрузки на основные оси робота. Система безопасности выстраивается на основании существующих линии защитных ограждений 2 с учётом возможного присутствия рабочего в непосредственной близости к защитным ограждениям.

Таблица 1 – Последовательность работы робота

Станция	Тип процесса	Описание процесса	Код оборудования (по плану размещения)	Количество процессных точек	Начало процесса	Время выполнения	Окончание процесса
ST5070	транспортировка	транспортировка детали конвейером	5070SB1	—	0	0	0
5075R01	захват	поворот из позиции СТАРТ к конвейеру	—	—	0	4	4
		снятие автодетали с конвейера	5070SB1	—	4	10	14
		поворот от конвейера к стационарному сварочному пистолету	—	—	14	5	19
		процесс сваривания автодетали в стационарном сварочном пистолете	5075R01RZ01	1	19	5	24
		поворот от стационарного сварочного пистолета к клеевой стойке	—	—	24	10	34
		нанесение клеевого шва на автодеталь	5075R01KL01	2	34	20	54
		поворот от клеевой стойки к переключной станции	—	—	54	3	57
		фиксация захвата с автодеталью в переключной станции	ST5075 HandShake	—	57	5	62
		передача автодетали роботу 5110R01	—	—	62	5	67
		высвобождение захвата из переключной станции	ST5075 HandShake	—	67	5	72
		поворот от переключной станции в позицию СТАРТ	—	—	72	2	74

Продолжение таблицы 1

Станция	Тип процесса	Описание процесса	Код оборудования (по плану размещения)	Количество процессных точек	Начало процесса	Время выполнения	Окончание процесса
5110R01	захват	поворот из позиции СТАРТ к переключочной станции	—	—	67	2	69
		снятие автодетали с переключочной станции	ST5075 HandShake	—	69	5	74
		поворот от переключочной станции к сварочному столу	—	—	74	2	1
		закладка автодетали в сварочный стол	ST5105	—	1	10	11

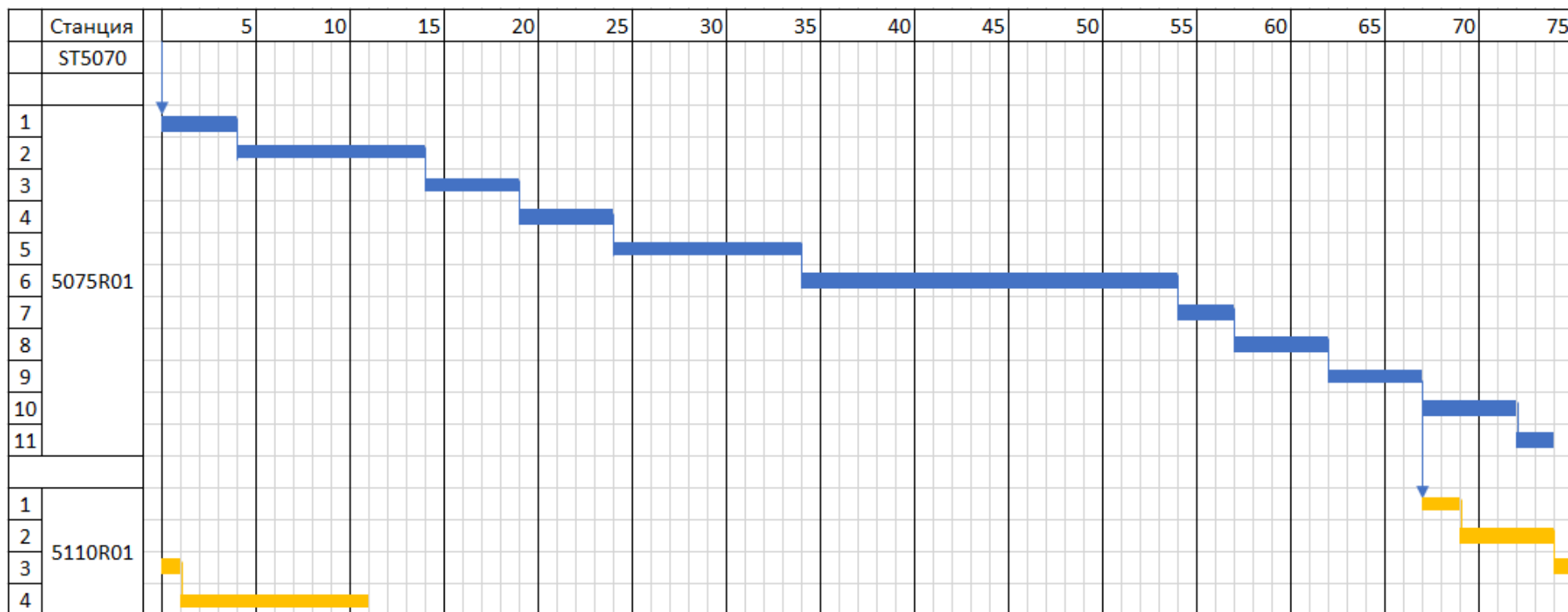
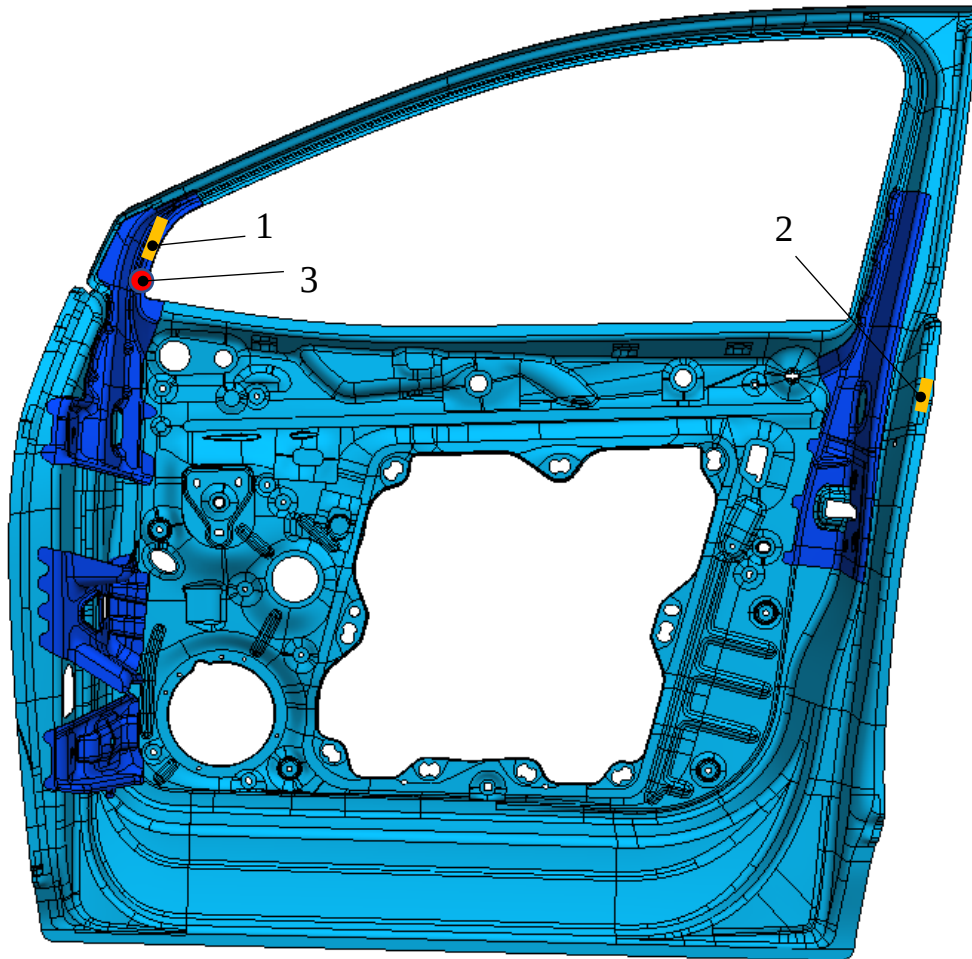


Рисунок 3 – Графическое представление циклограммы движения робота

1.2 Исходные данные для процесса сварки и нанесения клея

На рисунке 4 показано расположение сварочной точки 3. Усилие прижима указанной точки составляет 4700Н



1, 2 – клеевые швы; 3 – сварочная точка

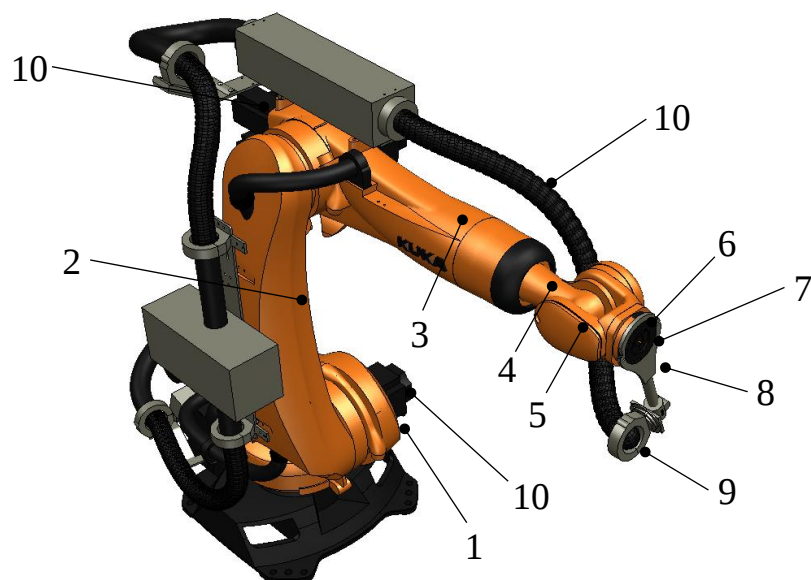
Рисунок 4 – Положение сварочной точки и клеевых швов на автодетали:

Положение, прижимное усилие, размер пятна сварочной точки позволяют определить тип сварочного пистолета и подобрать геометрию подвижного и не подвижного электродов [17]. Подбор и расположение сварочного пистолета приведены в разделе 3.1. Согласно исходным данным клеевой шов будет наноситься на поверхность детали указанную на рисунке 4. Шов номер 1 имеет длину 25мм, шов номер 2 – 10мм.

1.3 Описание промышленного робота

Для организации автоматизированного производства кузовной сборки автомобиля применяются промышленные роботы высокой грузоподъёмностью. Существует большое количество производителей промышленных роботов по всему миру. Основные из производителей это: KUKA Robotics, Fanuc, ABB. Наибольшее распространение в России и Европе получили промышленные роботы немецкого производства KUKA. Высокая точность, удобство программирования, компактность расположения вспомогательного оборудования и широкий выбор моделей делает эти промышленные роботы очень популярными у производителей.

Рассмотрим основные элементы промышленного робота KUKA серии лёгких роботов, называемых KR QUANTEC, полезная нагрузка 120-300кг. На рисунке 5 представлены основные элементы конструкции промышленного робота KUKA [26, 28, 30]. Схема вращения осей робота представлена на рисунке 6. Кабеле проводящий шланг 11 используется для подключения оборудования которое закреплено на фланце робота 7. В случае закрепления сварочного пистолета в кабеле проводящем шланге прокладывают подвод охлаждающей жидкости и питание сварочных клещей. В случае закрепления захватного устройства прокладываются: кабели питания, пневмошланги для управления зажимными механизмами; сигнальные кабели датчиков и прочее.



1 – 6 оси вращения робота; 7 – фланец робота; 8 – «ракетка» робота для крепления кабеле проводящего шланга; 9 – кольцо крепления кабеле проводящего шланга на «ракетке» робота; 10 – приводы осей робота

Рисунок 5 – Основные элементы конструкции промышленного робота KUKA:

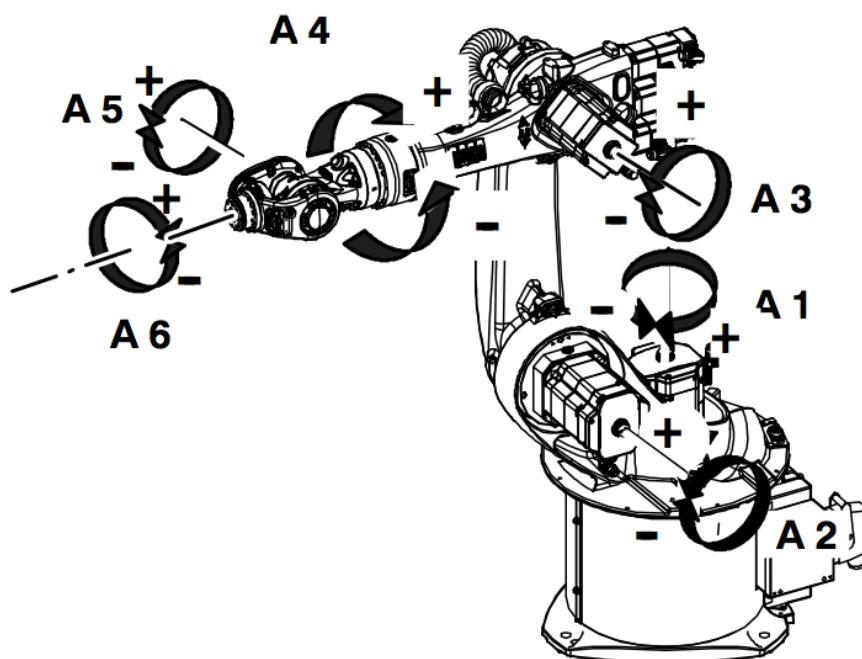


Рисунок 6 – Схема вращения осей промышленного робота фирмы KUKA

Ракетка крепления кабеле проводящего шланга крепится на 6-й оси робота и может быть повёрнута на 360^0 в зависимости от необходимости технологического процесса, также предусмотрены варианты расположение крепления ракетки 6-й оси робота под углом с возможностью варьирования расстояния крепления. Основным критерием определения положения ракетки служит возможность перемещений промышленного робота без столкновений с окружающим оборудованием..

Анализ исходных данных позволил определить основные элементы оборудования, участвующие в процессе настройки сборочной линии. Определены условия для определения сварочного пистолета: усилия прижима, диаметр сварочного колпачка. Рассмотрены и определены промышленные роботы, подходящие для выполнения необходимых технологических операций. Рассмотрена циклограмма работы сборочного участка, определена последовательность выполнения операций с распределением по времени для каждой операции. Обозначены: процессные точки для операции сварки; позиции клеевых швов на автодетали; позиции для передачи автодетали на следующий этап сборки.

2 Транспортировка автодетали

2.1 Зажимное устройство для промышленного робота

Прижим автодетали осуществляется пневматическими клапанами фирмы “Tunkers”. Внешний вид клапана представлен на рисунке 7. Технологические особенности данного устройства позволяют плавно настраивать угол открытия в пределах от 5° до 135° ; обладает противоударным блоком контактов и имеет срок эксплуатации 3 миллиона циклов срабатывания.

Для определения конкретного типа зажима необходимо определить требуемую силу зажима (F) [27, 29]. Требуемое усилие деформации было установлено опытным путём и по результатам опыта была выведена упрощённая формула силы зажима:



Рисунок 7 – Внешний вид пневматического зажима

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

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 8:

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

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:

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

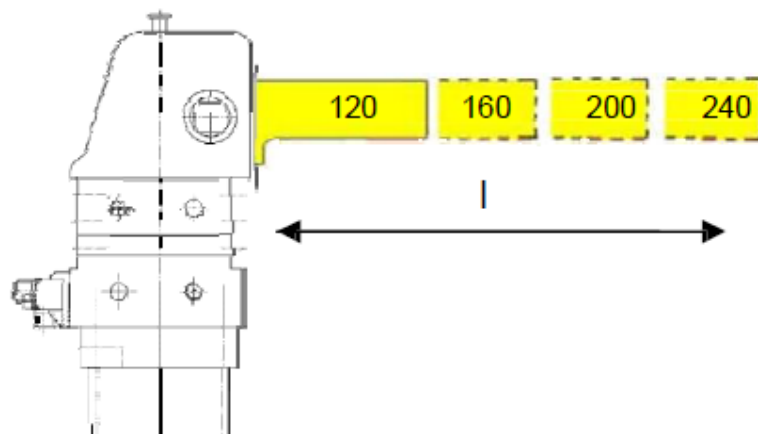


Рисунок 8 – Определение длины зажимного рычага

Для исходной автодетали места зажима имеют толщину стали 0,7мм. По формуле (1) рассчитаем требуемое усилие зажима:

$$F = 300 \cdot (0,7)^3 = 103\text{Н}$$

По формуле (3) определим момента зажима:

$$M_s = 103 \cdot 130 \cdot 10^{-3} = 13,39\text{Нм}$$

По полученному значению определяем из каталога тип применяемого зажима: V50.1 (рисунок 9).

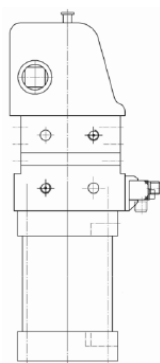


Рисунок 9 – Зажим с рычажным механизмом V50.1

Характеристики выбранного зажимного механизма: диаметр цилиндра 50мм; эффективный момент зажима 80Нм; вес 4,3 кг; расход воздуха 290 см³.

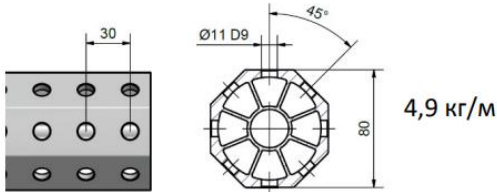
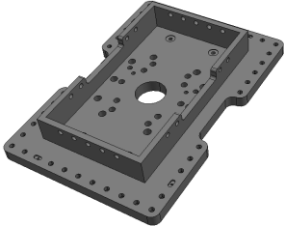
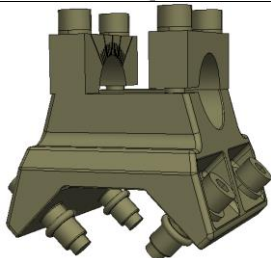
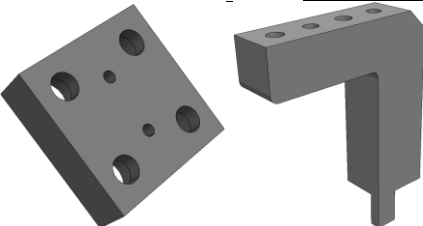
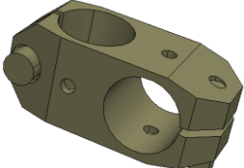
Для остальных захватов эффективного зажима в 80Нм достаточно для надёжного прижима. Количество применяемых зажимных механизмов равно количеству точек прижима – 6шт.

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.

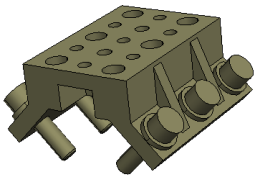
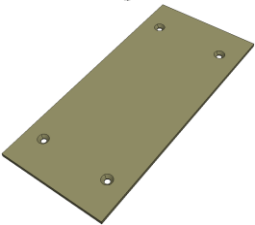
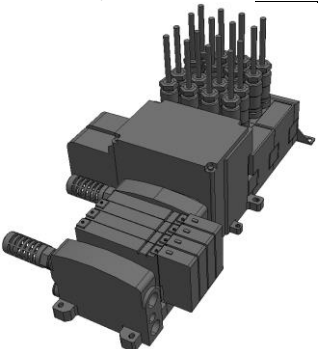
Проектирование захват базируется на Евро-грейферной системе (EURO-Gripper-System (EGT)) [27, 29] и представляет собой сборку захвата из модулей стандартных компонентов.

В таблице 2 представлен набор стандартных EGT компонентов для сборки захвата:

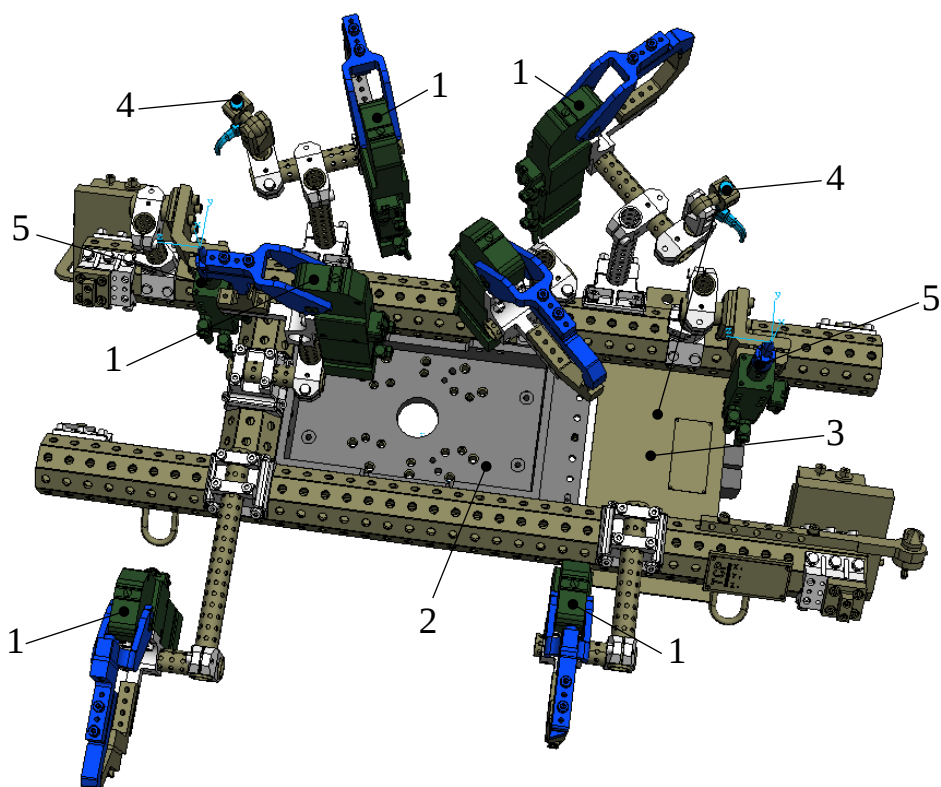
Таблица 2 – Набор стандартных компонентов EGT

Название компонента	Внешний вид компонента	Количество компонентов в сборке
восьмигранный профиль		2,488м
базовая рама для выходного фланца робота		1шт
переходники с восьмигранного профиля на 30мм круглый		8шт
стальной круглый профиль 30мм		2,955м
адаптеры для зажимов и соединительные элементы		28шт
крепления для вакуумных эжекторов и датчиков		2шт
переходники с 30мм на 30мм круглый профиль		10шт

Продолжение таблицы 2

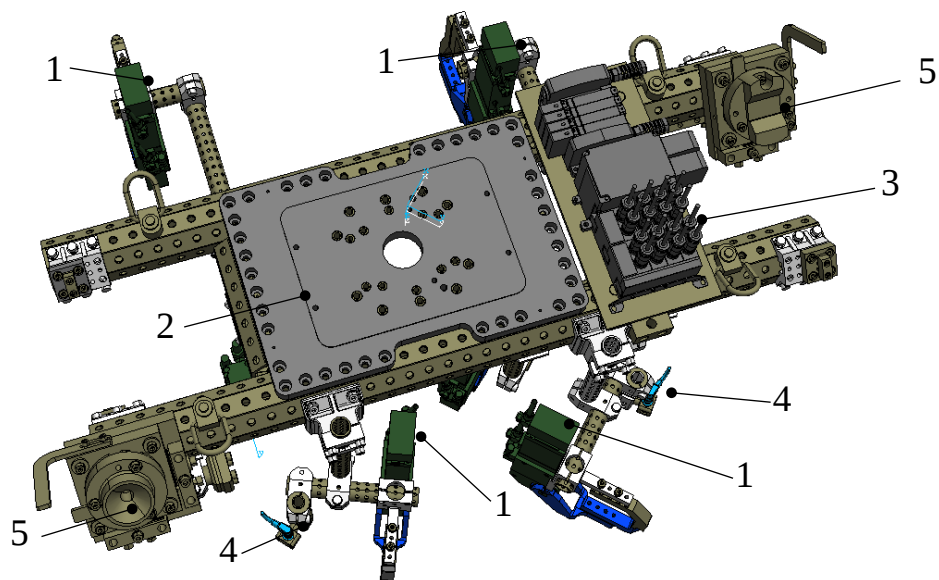
Название компонента	Внешний вид компонента	Количество компонентов в сборке
переходник на восьмигранный профиль		12шт
плата крепления пневмоблока		1шт
пневмоблок		1шт

Внешний вид готового захватного устройства в сборе представлен на рисунке 10 и 11:



1 – Зажимные клапаны; 2 – Базовая рама для выходного фланца робота; рама для выходного фланца робота; 3 – Пневмоблок; 4 – Датчики присутствия детали; 5 – позиционирующий цилиндр

Рисунок 10 – Внешний вид захвата в сборе (вид спереди):



1 – Зажимные клапаны; 2 – Базовая рама для выходного фланца робота; рама для выходного фланца робота; 3 – Пневмоблок; 4 – Датчики присутствия детали; 5 – Позиционирующие элементы

Рисунок 11 – Внешний вид захвата в сборе (вид сзади):

Основным критерием в процессе проектирования захватного устройства является возможность выполнения сборочных процессов: нанесения клея и точечная сварка [22, 24]. Для этого было сформировано облако инструментов, позволяющее определить область, которая будет занята инструментом в ходе выполнения процессов сборки. На рисунке 12 представлено облако инструментов, анализа полученного облака позволил определить место и скорректировать позиции прижимных механизмов таким образом, чтобы не сталкиваться с инструментом в процессе нанесения клея или сварки.

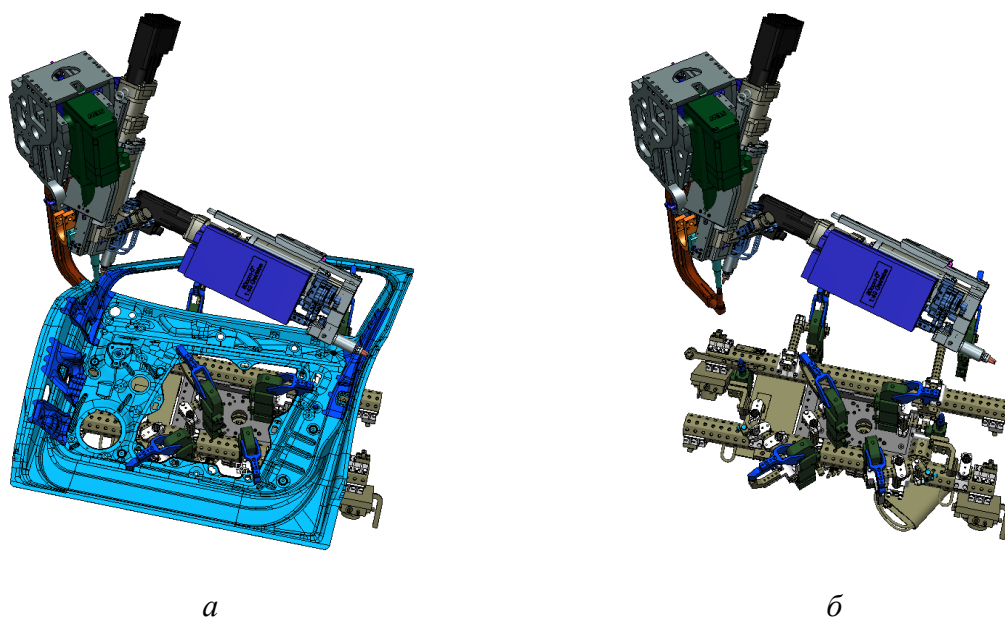


Рисунок 12 – Облако инструмента с автодеталью (*а*) и без автодетали (*б*):

Поскольку проектируемый участок цеха является промежуточным в цепочке сборочной линии, то после окончания всех запланированных процессов сборки автодеталь необходимо передать на следующий участок цеха для продолжения кузовной сборки автомобиля. Передача автодетали осуществляется по принципу Hand-Shake с применением специального позиционирующего устройства (рассмотрено в разделе 5). На рисунке 11 пунктом 5 отмечены специальные позиционирующие элементы конструкции захватного устройства, обеспечивающие высокоточное позиционирование захватного устройства в станции передачи автодетали.

2.2 Выбор типа работа

Построение 3D модели позволяет рассчитать вес захватного устройства по заданным материалам конструкции [28]. Общий вес проектируемого устройства составляет 112,174кг с учётом автодетали. Также спроектированная модель позволяет определить центр масс и момент инерции модели, рисунок 13. Эти данные необходимы для того, чтобы провести расчёт нагрузок на оси промышленного робота.

```
1st principal moment of inertia [kg * m^2]      2,111e+001
2nd principal moment of inertia [kg * m^2]      1,790e+001
3rd principal moment of inertia [kg * m^2]      5,047e+000

- With respect to the WCS (working coordinate system):
Center of gravity - X [mm]                      64,500
Center of gravity - Y [mm]                      21,096
Center of gravity - Z [mm]                      53,789

Physical properties of the assembly "F580010020016":

Total weight [kg]                              112,174
Volume [m^3]                                   3,946e-002
Area [m^2]                                     7,917e+000
```

Рисунок 13 – Центр масс и момент инерции модели

Для расчёта нагрузки на промышленный робот применяется специализированное программное обеспечение KUKA.Load_V5.0.25.

На рисунке 14 представлен результат расчёта статических и динамических нагрузок на оси робота:

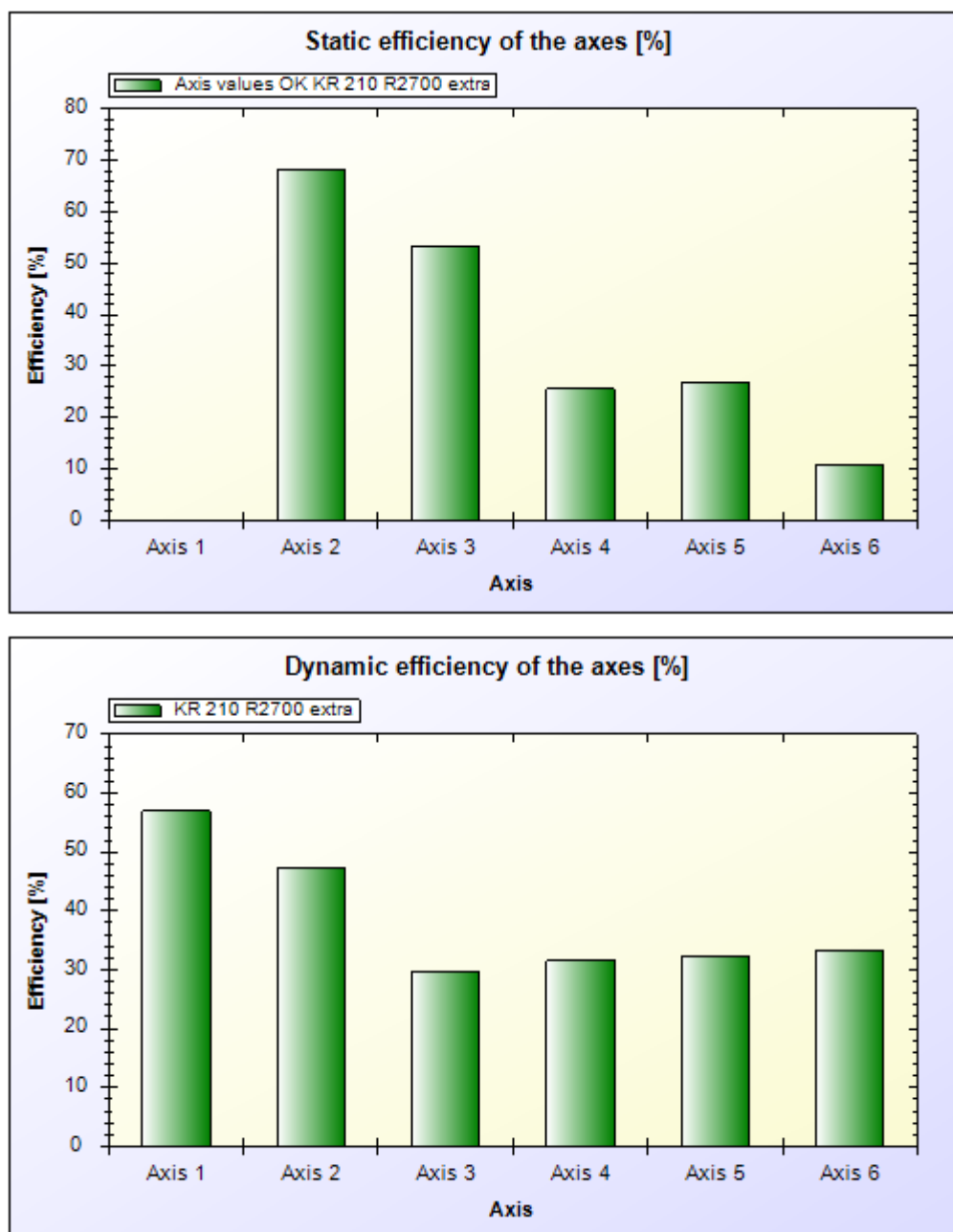


Рисунок 14 – Статические и динамические нагрузки на оси робота

Из рисунка видно, что максимальная нагрузка приходится на ось 1 и составляет 57% от максимального значения. Расчёт выполнен для лёгкого промышленного робота KUKA KR210 R2700 extra. Данный тип робота является лёгким по грузоподъёмности с длиной третьей оси 2700мм. Для выбора конкретного типа робота необходимо ориентироваться на таблицу приоритета выбора роботов с учётом предельной нагрузки на оси. На рисунке 15 представлен график зависимости грузоподъёмности робота от длины

«вылета руки» робота. Исходя из критериев отбора нашим условиям удовлетворяет ряд лёгких роботов KR210 R2700 prime. Роботы грузоподъёмностью KR180 и KR150 имеют разную длину 3-ей оси [18, 28, 30].

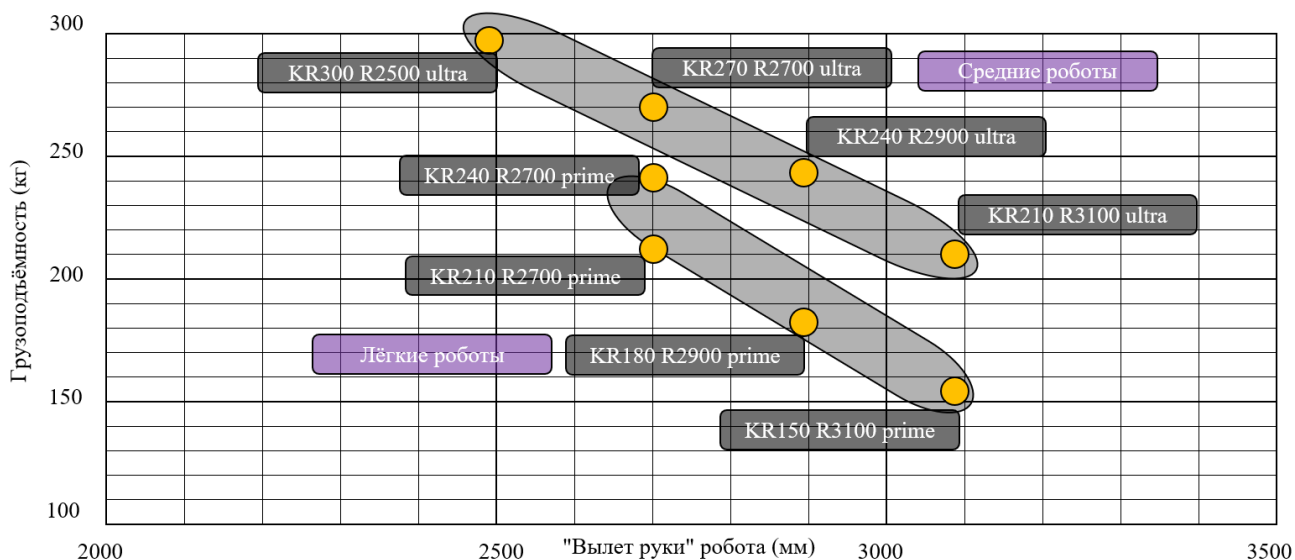


Рисунок 15 – Зависимость нагрузки на робота от длины «вылета руки» робота

Согласно расчётам нагрузки на робота спроектированное захватное устройство может потянуть и робот с меньшей грузоподъёмностью и более длинной рукой, например KR180 R2900 prime, но из-за более длинной руки возникают трудности с пространством для движения робота.

Запас по нагрузкам на каждую ось при динамической и статической нагрузках не должен превышать 90%. В случае, когда нагрузка превышает 90% необходимо либо брать робота с меньшей длиной «руки», либо подбирать робота с большей грузоподъёмностью. Однако, следует учитывать, что увеличение грузоподъёмности робота связано с тем, что в конструкции промышленного робота применяются более мощные приводы, что соответственно сказывается на габаритных размерах робота и на весе самого робота, что также снижает скорость движений робота. Скорость движения робота сказывается на всех операциях, которые выполняются роботом и она может негативно отразиться на циклограмме, в случае когда необходимо

ставить тяжёлые или сверхтяжёлые роботы. Данный факт следует учитывать при проектировании автоматизированных линий.

Для лёгких роботов диаметр фланца 6-й оси составляет 125мм (рисунок 16):

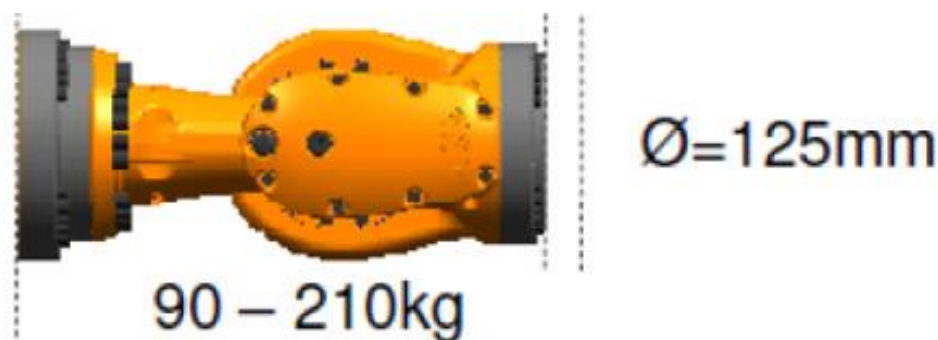


Рисунок 16 – Диаметр фланца 6-й оси робота

Данное значение фланца робота будет использоваться в дальнейшем при проектировании узла крепления захватного устройства к фланцу робота.

2.3 Типы движения робота

Для промышленного робота существует несколько типов движения, которые характеризуются различным исполнением движения.

Основные типы 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, измерительные операции [14, 19, 25].

Кроме всего прочего для линейного движения существует отрицательный эффект, который возникает, когда робот проходит определённое положение, которое характеризуется одновременным изменением 4 и 6 осей робота. На рисунке 17 показано направление вращения 4-й и 6-й осей робота.

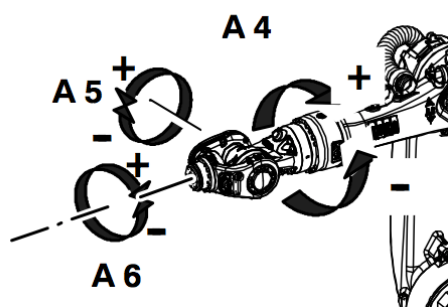


Рисунок 17 – Направление вращения 4-й и 6-й осей робота

Из рисунка видно, что оси вращения у А4 и А6 совпадают, а значит когда ось А5 робота находится в положении 0^0 , оси А4 и А6 становятся идентичными. Для контроллера это означает невозможность вычислить какую ось необходимо повернуть, чтобы достигнуть требуемой траектории. Если во всех других вариантах контроллер может вычислить единственное положение всех 6-и осей в любой момент времени, то в описанном ранее случае для осей 4 и 6 существует бесконечное множество решений поворотов. Это приводит к сбою контроллера и робот останавливается в целях безопасности. Данное явление носит название сингулярность. Единственная возможность противостоять явлению сингулярности состоит в том, чтобы избегать при линейном движении положение робота, при котором его ось А5 будет приближаться к нулю. Таким образом производителем промышленных роботов установлено правило, что при линейном движении робота запас по 5-й оси должен составлять не менее $\pm 10^\circ$ в обе стороны [11].

Явление сингулярности необходимо отслеживать по конфигурации робота в процессе нанесения клея и в процессе линейного движения.

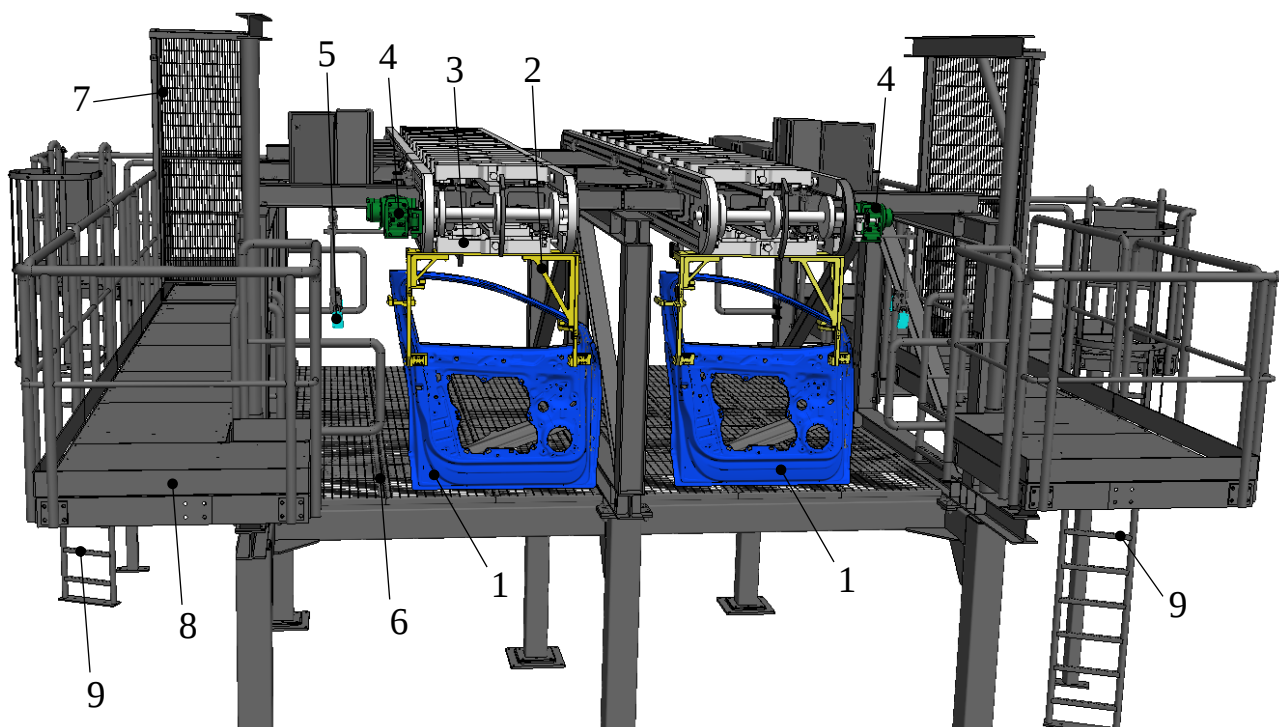
2.4 Конвейер

Конвейер представляет собой металлоконструкцию состоящую из подвижной ленты с паллетами для позиционирования автодеталей и огораживающие конструкции для защиты обслуживающего персонала.

Количество деталей, помещающихся на конвейере 21. Это необходимый запас деталей в случае остановки производства. Первая и последняя паллеты разведены на заданное расстояние для того, чтобы избежать столкновения с последующими деталями в стэке. Задаваемое расстояние вычисляется практическим путём: написание траектории движения робота для завеса или снятия автодетали с паллеты в условиях завешенного захватного устройства с открытыми клампами [12].

Правилами проекта завода допускаются минимальные зазоры между захватным устройством и конвейером не менее 10мм. Проектирование конвейера и поддерживающей металлоконструкции осуществляется на основании информации о положении автодетали в паллете и её ориентации по отношению к рабочему роботу, то есть роботу, который будет завешивать или снимать автодеталь с паллеты.

На рисунке 18 представлен внешний вид конвейера с металлоконструкцией.



- 1 – Положение автодетали в паллете; 2 – Паллета; 3 – Каретка паллеты; 4 – привод конвейера; 5 – Датчик обнаружения автодетали; 6 – Защитная сетка; 7 – защитное ограждение; 8 – дорожка обслуживания; 9 – лестница

Рисунок 18 – Конвейер с металлоконструкцией:

Положение автодетали в паллете представлено на рисунке 19. Конструкция паллеты поддерживает деталь в двух точках, имеет два упора и направляющую. Рёбра жёсткости позволяют выдержать вес автодетали, но при этом имеют минимальный размер позволяющий завесить и снять автодеталь с

паллеты. Снятие и завес автодетали производится с учётом захватывающего устройства, закреплённого на фланце робота.

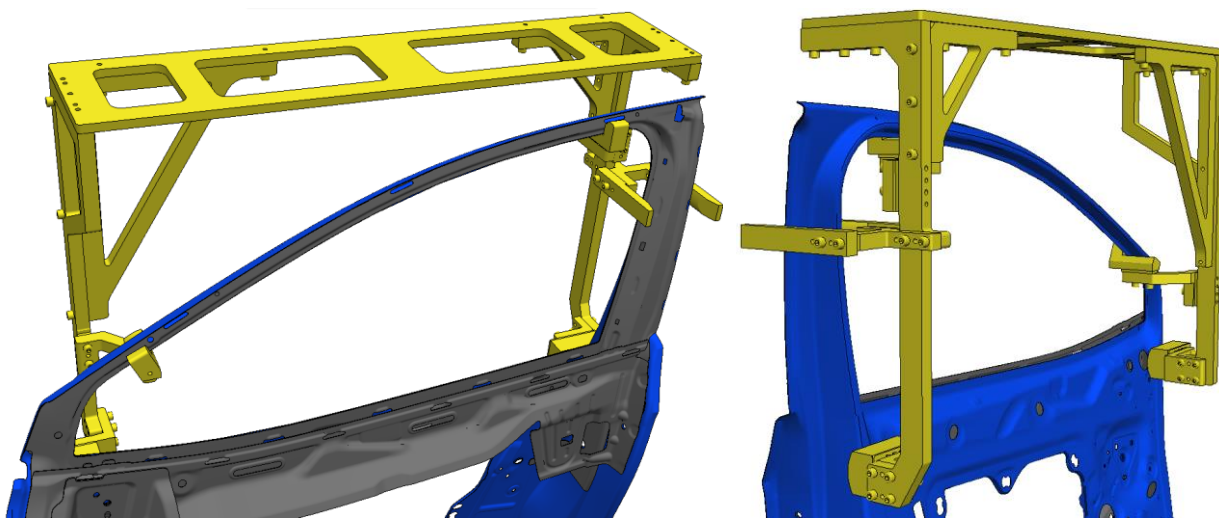


Рисунок 19 – Положение автодетали в паллете

Высота автодетали в конвейере обусловлена техникой безопасности и габаритными размерами цеха. Для проектируемого участка цеха высота от пола до нижней кромки детали в конвейере составляет 2600мм (рисунок 20).

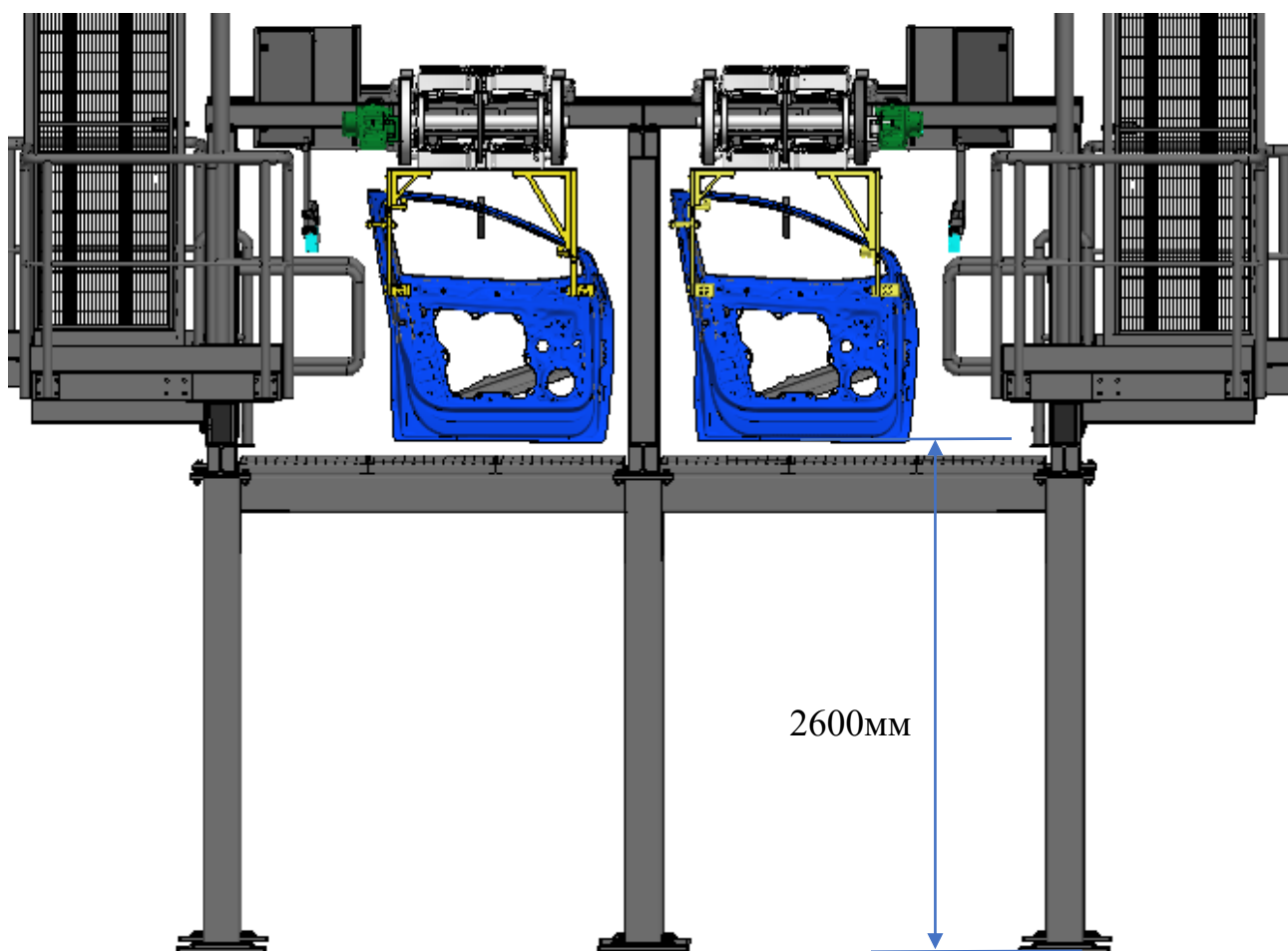


Рисунок 20 – Высота автодетали в конвейере

На высоте 2600мм с длиной 3-й оси робота 2700мм робот не сможет достать до автодетали и снять её. Поэтому необходимо поставить робота на консоль. Высота консоли робота была определена из необходимой достижимости робота с запасом достижимости $\pm 100\text{мм}$ по всем осям [3, 4]. Необходимый резерв запаса достижимости обусловлен погрешностью установки оборудования в цеху.

На рисунке 21 представлен внешний вид робота, установленного на консоли высотой 750мм:

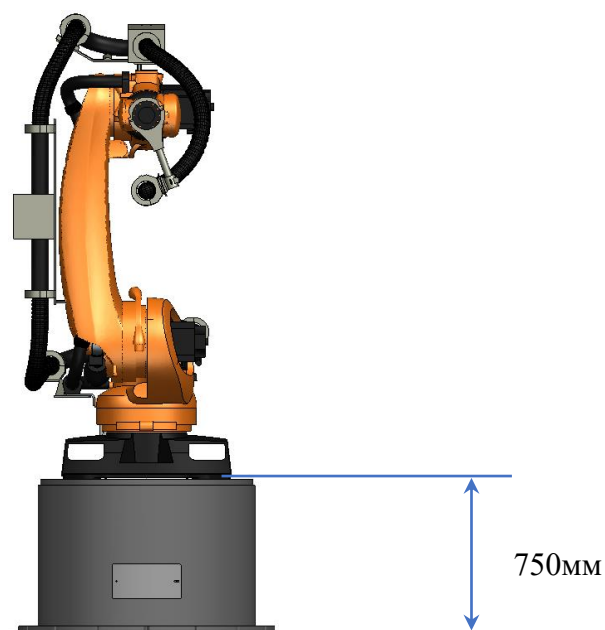


Рисунок 21 – Внешний вид робота на консоли высотой 750мм

Высота консоли 750мм позволяет обслуживать робота без установки стационарной лестницы. Правилами проекта установка стационарной лестницы для обслуживания робота необходима если высота консоли робота превышает 1200мм.

В результате проектирования и расчёта захватного устройства определены тип и модель пневматического зажима, определены положения для позиционирующих цилиндров, составлен лист спецификации для сборки захватного устройства на производстве. Было спроектировано захватное устройство для транспортировки, сварки, нанесения клеевых швов с креплением на торце промышленного робота. На основании спроектированной модели захватного устройства проведён расчёт основных параметров захватного устройства, а также расчёт грузоподъёмности промышленного робота. Определен диаметр монтажной платы для крепления захватного устройства на фланце 6-й оси робота. Определён тип подходящей высоты консоли для промышленного робота, позволяющего обеспечить достижимость до оборудования, участвующего в технологическом процессе. Спроектирована позиционирующая паллета для фиксации автодетали на конвейере.

3. Стационарная сварка

Описание применяемого оборудования состоит из двух наборов: стандартные элементы (покупные) и не стандартные (проектируемые). Стандартные элементы представляют собой объект габаритные размеры и функционал которого заранее известны и могут быть использованы для осуществления процесса сборки без адаптаций, модификаций или каких-либо изменений. Проектируемые элементы зависят от технологического процесса сборки и геометрии конкретной автодетали. Поскольку автопроизводители стремятся сделать свой автомобиль уникальным, особенным и не похожим на остальные, как с точки зрения функциональных возможностей, так и с точки зрения внешнего вида. Поэтому большая часть автодеталей, даже в пределах одного «семейства» автомобилей имеет существенные или не существенные отличия в конструкции и геометрии автодеталей. Эти изменения приводят к тому, что становится не возможным применение универсального оборудования для сборки разных кузовных элементов автомобилей и требуется проектирование для каждого узла и элемента конструкции автомобилей своих приспособлений [4, 16].

К стандартному оборудованию можно отнести: стационарный сварочный пистолет, консоль сварочного пистолета, клеевую стойку с клеевым пистолетом, оборудование, обслуживающее работу сварочного пистолета и клеевой стойки (заточка, замена колпачков, клеевые насосы и держатели).

3.1 Стандартное оборудование

Стационарный сварочный пистолет подбирается по геометрии автодетали и в зависимости от расположения сварочной точки на кузове.

Сварочная точка является двухтолщинной, рисунок 22, то есть соединяет две листовые детали.

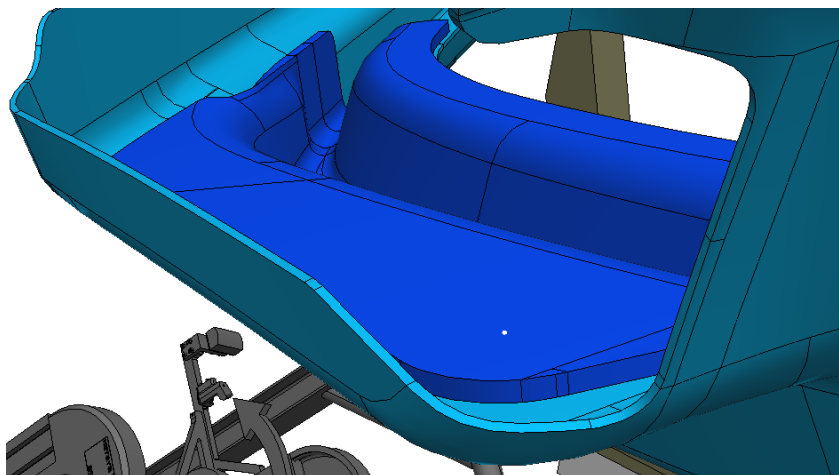


Рисунок 22 – Соединение деталей сварочной точкой

Толщина одного листа 0,7мм. Для двухтолщинной точки толщина будет 1,4мм. В соответствии с толщиной сварочной точки и в зависимости от типа материала листовых деталей рассчитывается требуемое усилие прижима сварочного пистолета в точке сварки. Для проектируемого процесса прижимное усилие входит в состав исходных данных и составляет 4700Н. Прижимное усилие сварочной точки является первым условием для выбора сварочного пистолета. Второе условие является геометрия автодетали, поскольку сварочный пистолет должен быть такой геометрии, чтобы не происходило соударения пистолета с автодеталью.

На основании исходных данных был выбран сварочный пистолет производства фирмы KUKA Robotics с серийным номером ZCE_78_59d381005_118_00 и прижимным усилием 5100Н и диаметром колпачков 16мм. Общий вид пистолета представлен на рисунке 23.

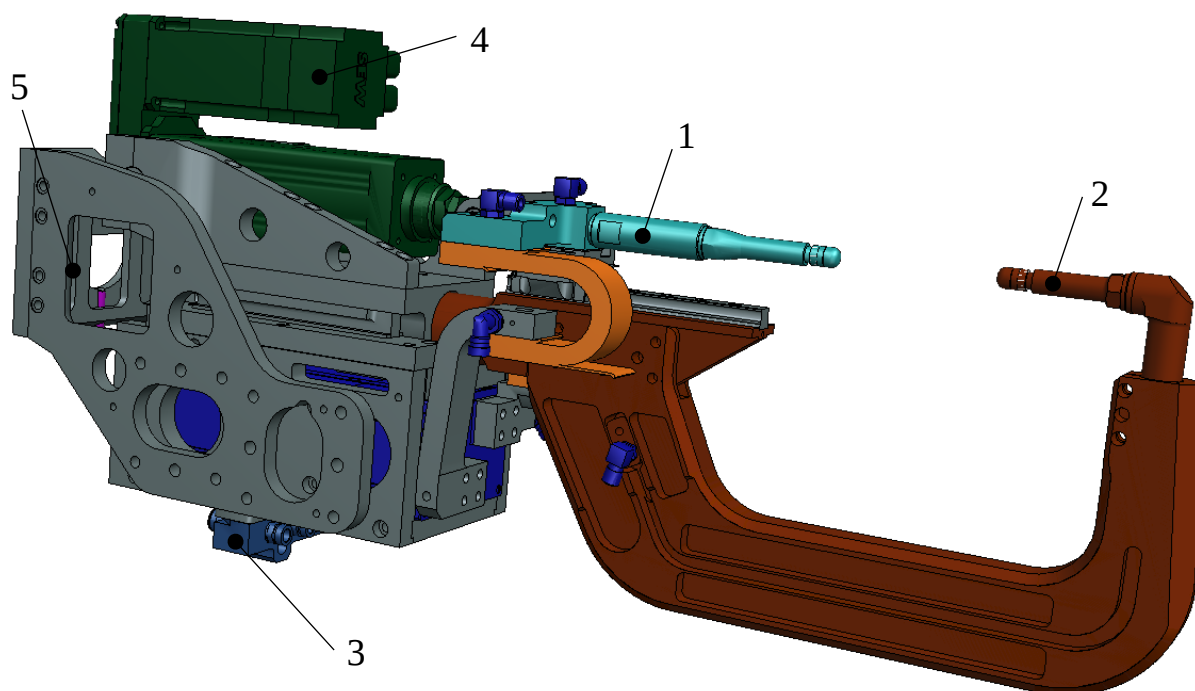


Рисунок 23 – Общий вид сварочного пистолета

Сварочный пистолет состоит из двух губок подвижной 1 и не подвижной 2, систему подачи охлаждающей жидкости, блок питания 4 и адаптер крепления. Крепление инструмента может производиться либо к фланцу промышленного робота, либо к стационарной консоли.

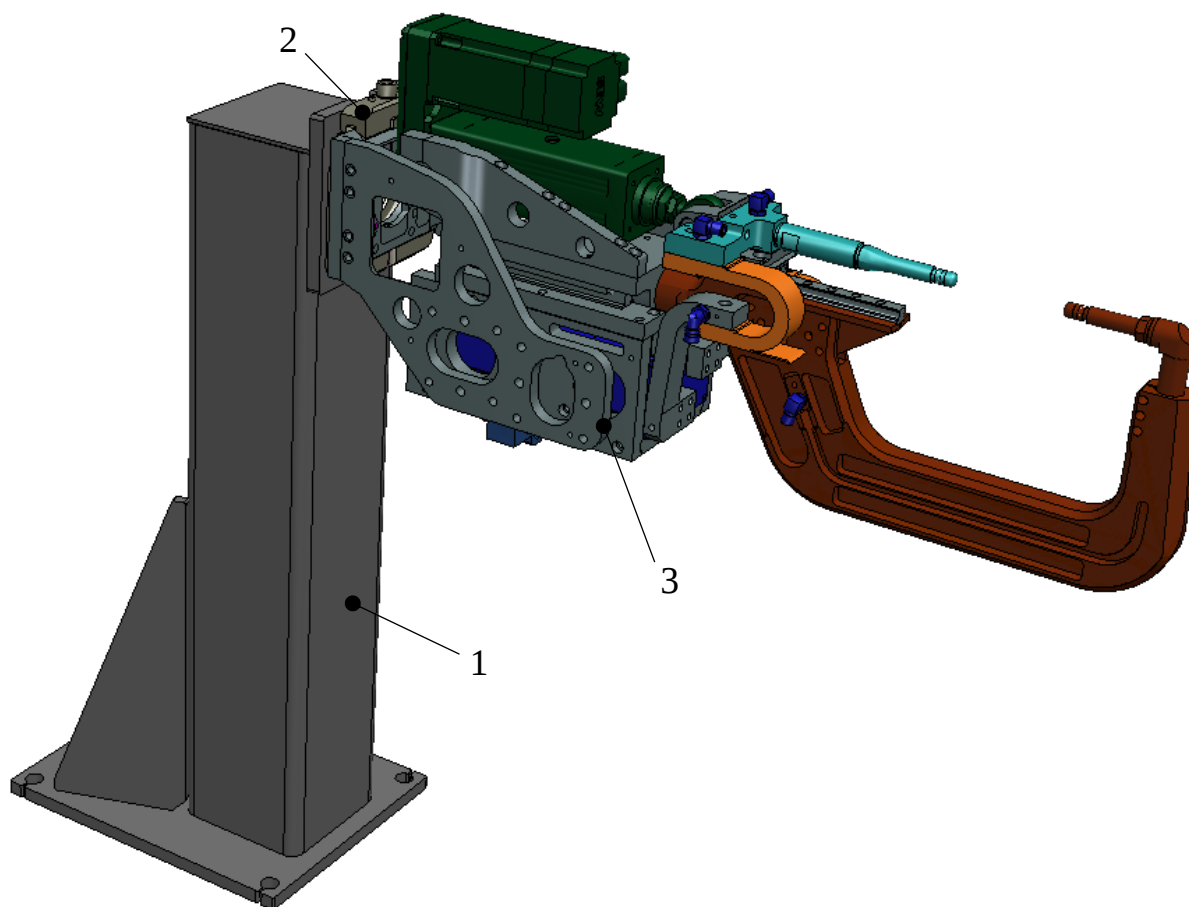
По технологическому процессу робот держит автодеталь в захвате и должен произвести сварку одной точки, показанной на рисунке 22. Исходя из этого необходимо подобрать консоль для крепления сварочного пистолета [17].

3.2 Подбор местоположения сварочного оборудования

Высота сварочной консоли должна подбираться таким образом, чтобы удовлетворять условиям сварки роботом и при этом быть удобной для обслуживания персоналом. Приоритетное положение отдаётся позиции робота и его положению сварки детали. Но в тоже время высота стационарной консоли должна быть минимальной, чтобы в процессе обслуживания

персоналом не потребовалось привлечение дополнительного оборудования в виде лестниц и уступов [7, 23].

Описанным условиям удовлетворяет стационарная консоль высотой 1 м и креплением сварочного пистолета под углом в 90 градусов. На рисунке 24 представлен внешний вид сборной конструкции консоль – быстросменная плата – сварочный пистолет:



1 – консоль; 2 – быстросменная плата; 3 – адаптер сварочного пистолета

Рисунок 24 – Сборная конструкция консоль – быстросменная плата – сварочный пистолет

Положение сварочного пистолета относительно положения робота определяется с учётом: достижимости робота до оборудования, отсутствия зацеплений с окружающим оборудованием, оптимальных значений по осям

робота в процессной точке и возможность осуществить подвод и отвод автодетали, а также с учётом габаритных размеров помещения, огороженного забором. На рисунке 25 показано положение сварки указанной точки в пистолете, как видно из рисунка отсутствует перегиб по осям робота, а также отсутствуют столкновения захватного устройства со сварочным пистолетом:

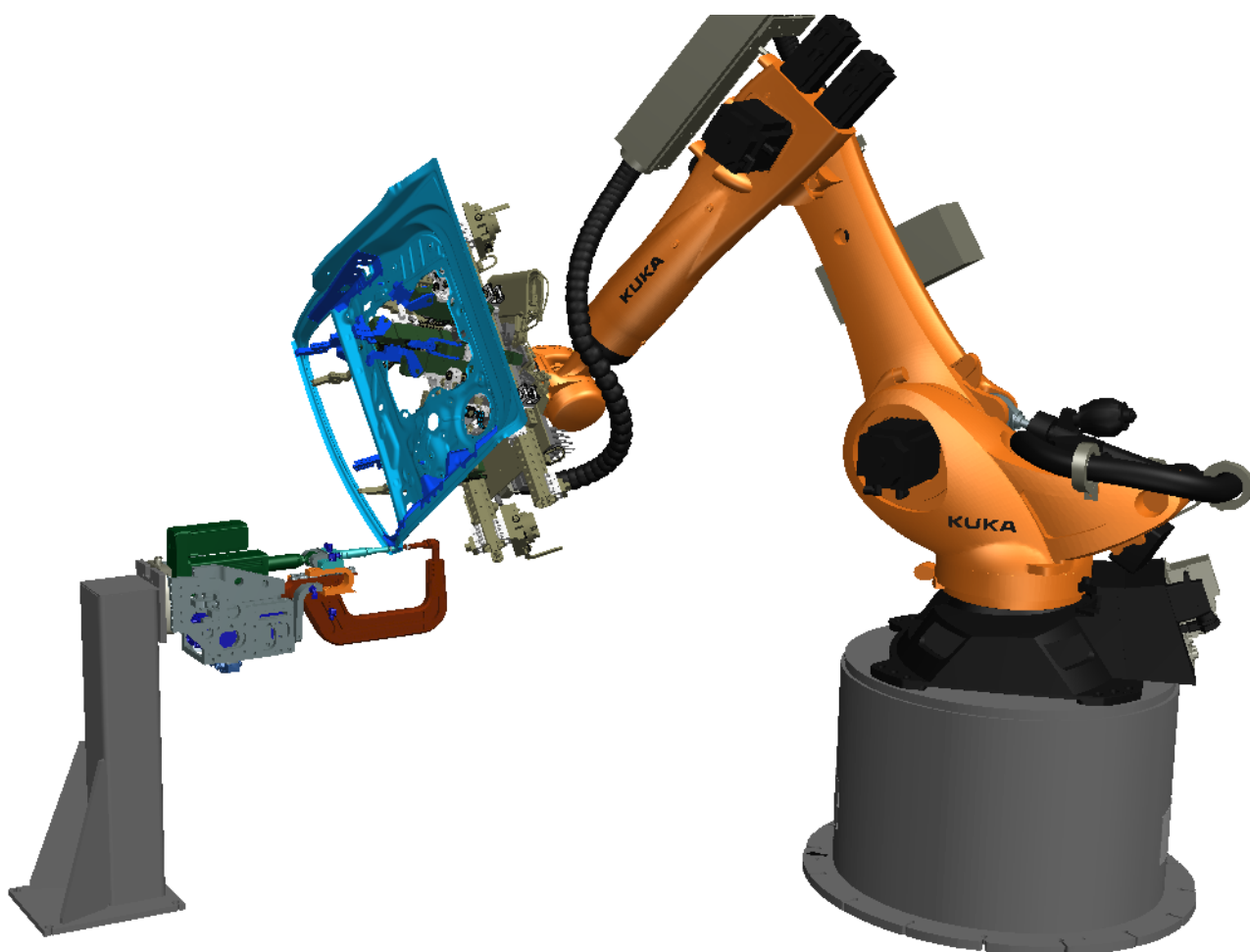


Рисунок 25 – Положение робота и автодетали в процессе сварки

Положение осей робота в процессе сварки является оптимальным и имеется минимальный запас по всем осям $\pm 10^\circ$, рисунок 26. Из рисунка видно, что максимальное отклонение у робота возникает по оси 5. При этом в позиции сварки значение по 5-й оси у робота $-85,79^\circ$, при этом предельные значения по этой оси от -125° до 125° [7].

Визуальный осмотр подтверждает возможность сварки автодетали в текущем положении, поскольку отсутствуют столкновения между оборудованием, рисунок 27.

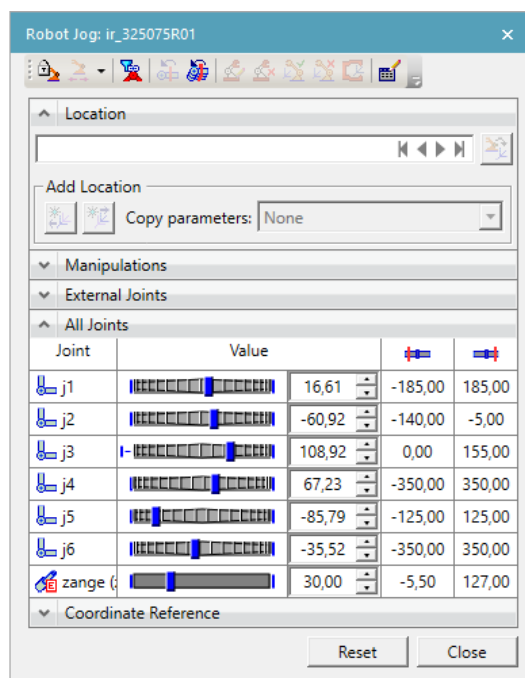


Рисунок 26 – Положение осей робота в точке сварки

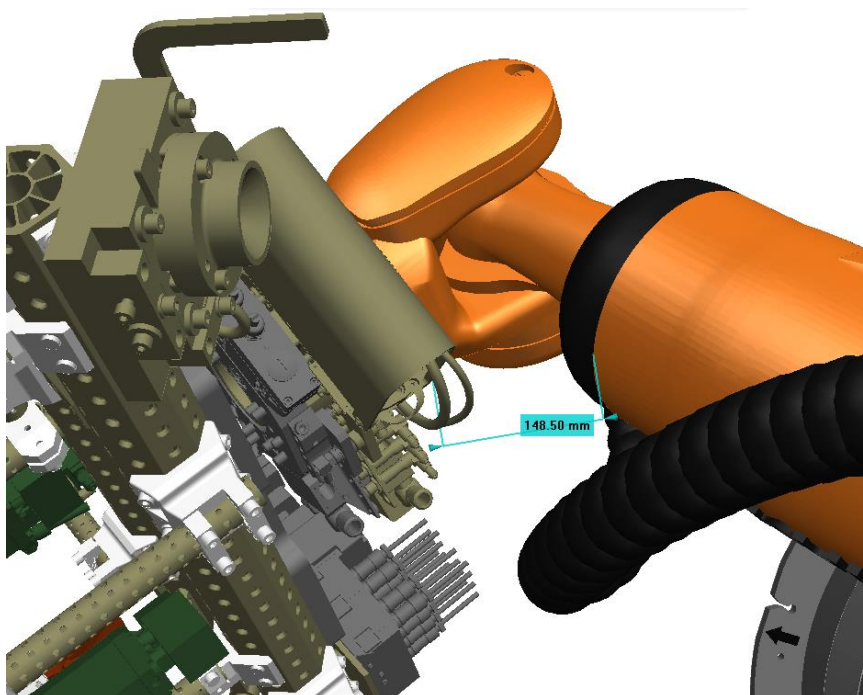
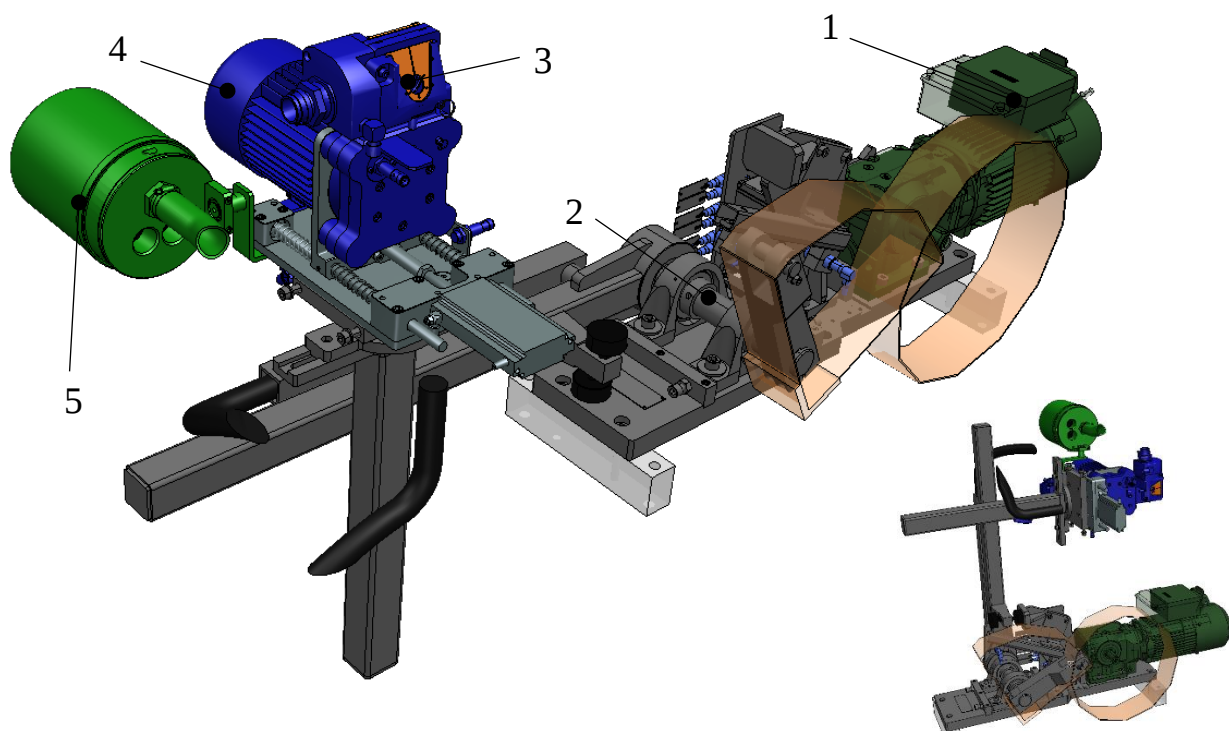


Рисунок 27 – Минимальное расстояние между единицами оборудования в точке сварки

3.3 Заточка колпачков сварочного пистолета

После определения положения сварочного пистолета и положения робота в точке сварки необходимо разместить дополнительное оборудование для обслуживания сварочного пистолета. В процессе сварки колпачки сварочного пистолета изнашиваются и требуют заточки после нескольких циклов работы. Данная операция автоматизирована и требует вмешательства человека только на этапе замены колпачков. После нескольких циклов заточки толщина колпачков стирается, после чего требуется замена колпачком. Замена колпачков стационарного сварочного пистолета осуществляется вручную обслуживающим персоналом один раз в несколько смен [7, 13]. Для проектируемого участка цеха замена колпачков будет производиться редко поскольку за один цикл сварочный пистолет сваривает только одну точку.

На рисунке 28 показан внешний вид устройства автоматизированной заточки.



1 – Привод поворота точилки; 2 – ось вращения точилки; 3 – фрезерная точилка колпачков; 4 – привод заточки; 5 – контейнер сбора металлической стружки

Рисунок 28 – Автоматизированная фреза для сварочного пистолета:

Определение местоположения точилки должно учитывать положение сварки, не задевать окружающее оборудование и позволить обслуживающему персоналу свободно подходить к оборудованию.

На рисунке 29 показан процесс заточки колпачков сварочного пистолета.

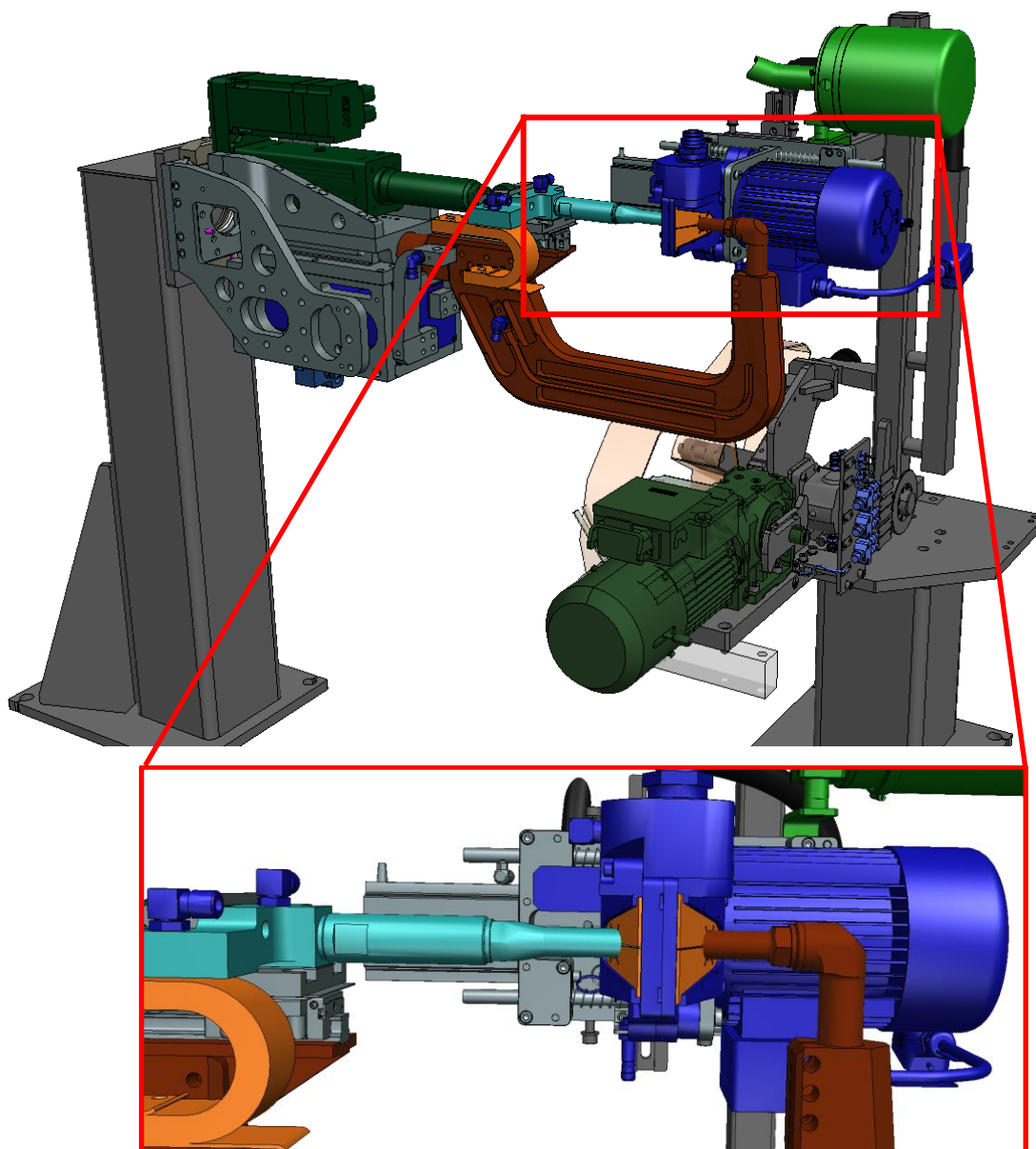


Рисунок 29 – Заточка сварочного пистолета

Применение дополнительной 7-й оси для продольного перемещения промышленного робота привело к тому, что сварочное оборудование необходимо располагать на высоте не менее 1м от уровня пола, для обеспечения достижимости промышленным роботом. В связи с этим устройство заточки также необходимо разместить на консоли высотой 1м, чтобы обеспечить достижимость до сварочного пистолета.

В результате анализа геометрии и материала кузова автомобиля были определены параметры сварочного оборудования, необходимые для осуществления сварочной операции: геометрия сварочных электродов, тип и модель сварочного пистолета. Также определена модель и расположение устройства для заточки колпачков сварочного пистолета. Рассмотрено положение промышленного робота в процессе сварки и устранены возможные ограничения на движение робота по осям включая сингулярность.

4. Организация процесса нанесения клеевого шва

Для автоматизированного нанесения клеевого шва на поверхность автодетали применяется стандартное оборудование в виде клеевого пистолета со стойкой определённой высоты; подводящих шлангов и клеевых насосов. На рисунке 30 представлен внешний вид клеевой стойки с клеевым пистолетом. В стандартную компоновку клеевого оборудования входит ёмкость для сбора клея [13]. Она устанавливается на расстоянии не ниже 700мм от носика пистолета, рисунок 31. Необходимость установки ёмкости для сбора излишков клея обуславливается тем, что после нанесения клеевого шва на автодеталь, после блокировки подачи клея в пистолет остатки клея, находящиеся в носике капаят вниз.

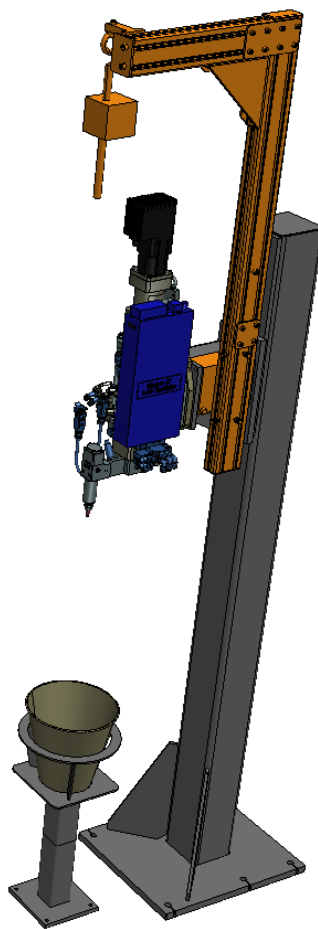


Рисунок 30 – Клеевая стойка с клеевым пистолетом

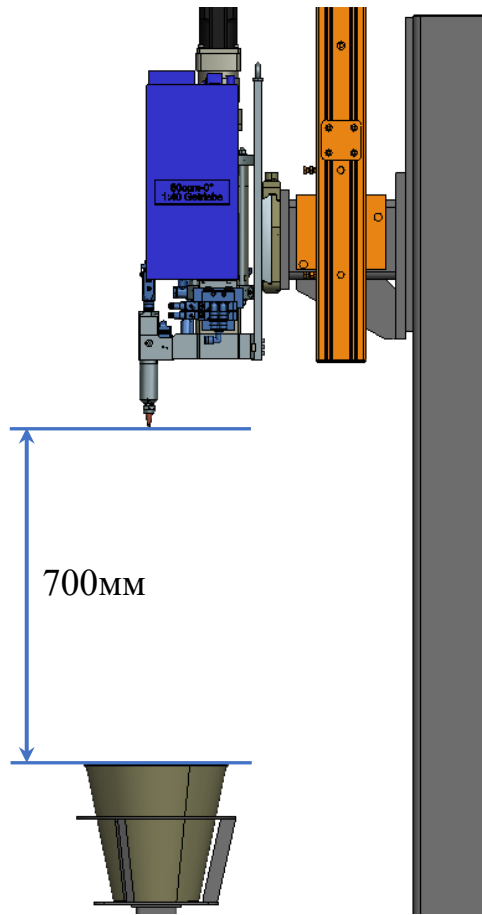
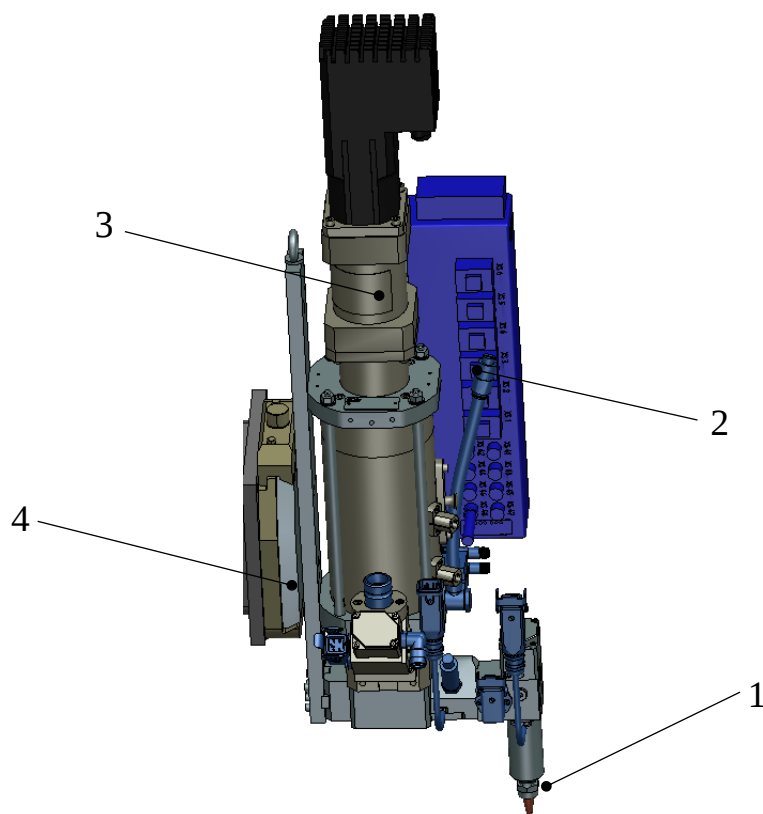


Рисунок 31 – Расстояние установки ёмкости для сбора излишков клея

Сам клеевой пистолет представлен на рисунке 32 и состоит из сопла клеевого пистолета 1, блока управления 2, системы подачи клея 3 и быстросменная плата 4. В ёмкость клея насосами закачивается клей определённого объёма, рассчитанного исходя из объёма и длины клеевого шва. Для организации непрерывности работы клеевого оборудования предусмотрены 2-е клеевые ёмкости, установленные за пределами рабочего участка и работающих попарно. Когда в одной клеевой ёмкости заканчивается клей, уведомление поступает на пульт оператору, при этом контроллер производит переключение подающего шланга от первой ёмкости ко второй.

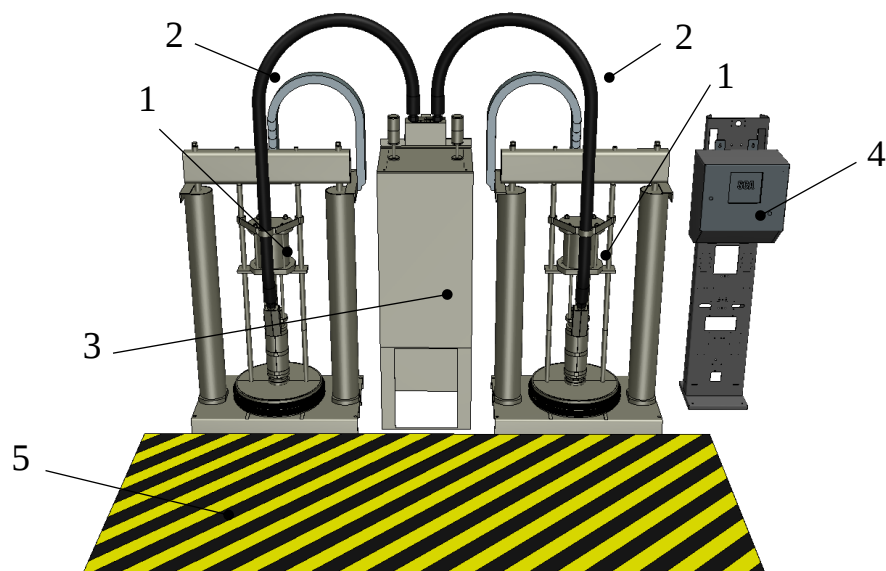
Внешний вид клеевых ёмкостей с насосом представлен на рисунке 33. Объём клеевых емкостей рассчитывается из того, что замена одной ёмкости должна происходить один раз за смену. Когда в одной ёмкости заканчивается

клеевая жидкость, тогда контроллер подаёт сигнал на замену. Для удобства съёма и установки новой ёмкости перед клеевой помпой резервируется неприкасаемый участок, где не должно находиться никакое оборудование и должен быть обеспечен свободный доступ для замены клеевых емкостей [13].



1 – сопло клеевого пистолета; 2 – блок управления;
3 – система подачи клея; 4 – быстросменная плата

Рисунок 32 – Клеевой пистолет:



- 1 – ёмкости для хранения клея; 2 – шланги подачи клеевой жидкости из ёмкости хранения в клеевой пистолет; 3 – насосное оборудование;
4 – контроллер клеевого оборудования; 5 – резерв места для замены клеевых емкостей

Рисунок 33 – Клеевое оборудование:

Расположение и высота клеевой стойки с клеевым пистолетом определяются по тем же критериям, что и для стационарного сварочного пистолета: достижимость робота до оборудования, отсутствие зацеплений с окружающим оборудованием, оптимальные значения по осям робота в процессных точках и возможность осуществить подвод и отвод автодетали в зону нанесения клея, а также с учётом габаритных размеров стойки и габаритных размеров помещения [23].

На рисунках 34 и 35 показано положение робота в процессе нанесения клеевых швов 1 и 2.

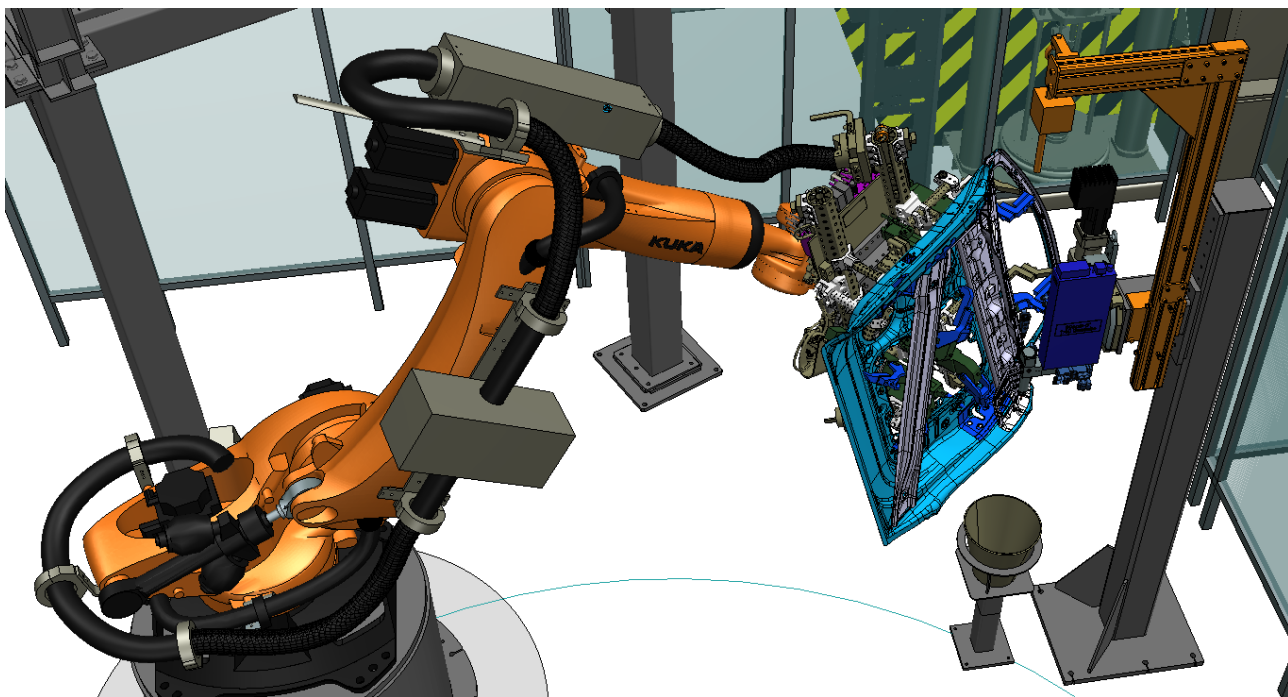


Рисунок 34 – Положение нанесения клеевого шва 1

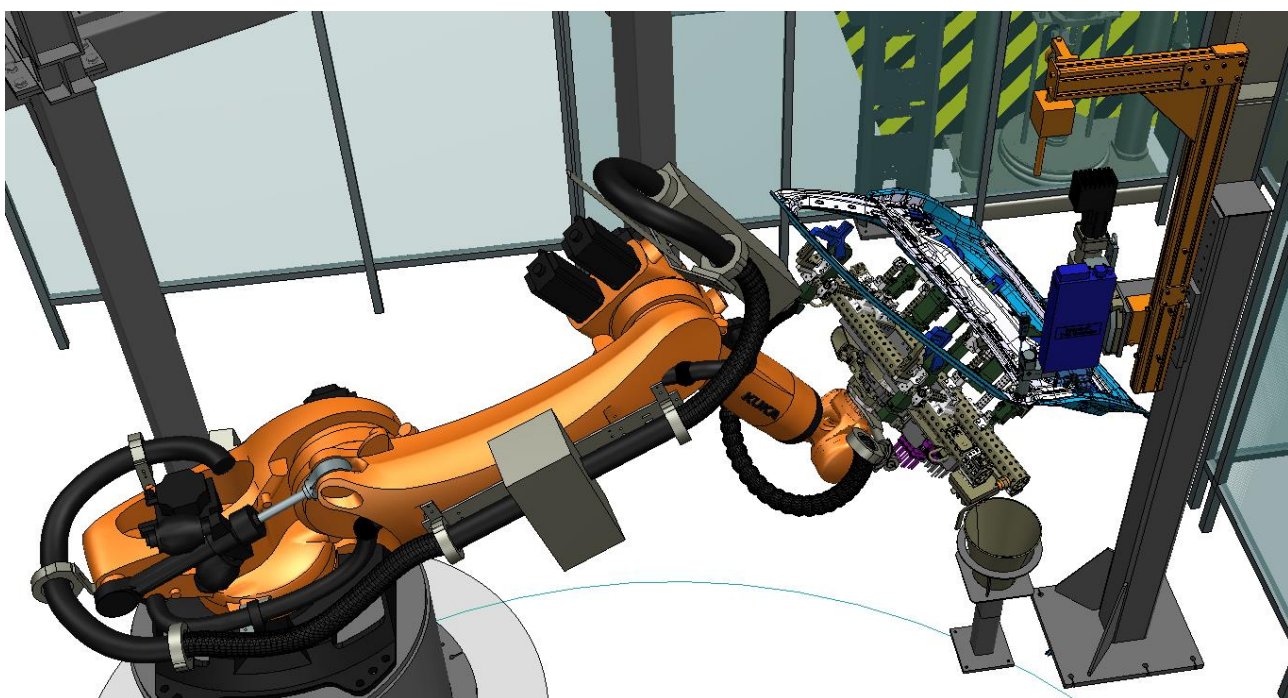
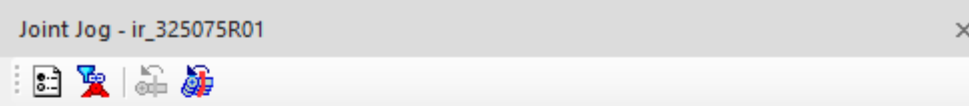


Рисунок 35 – Положение нанесения клеевого шва 2

Для положения нанесения клеевого шва 2 положение робота является критичным поскольку 2-я ось сильно нагибается и приближается к предельным значениям, рисунок 36.

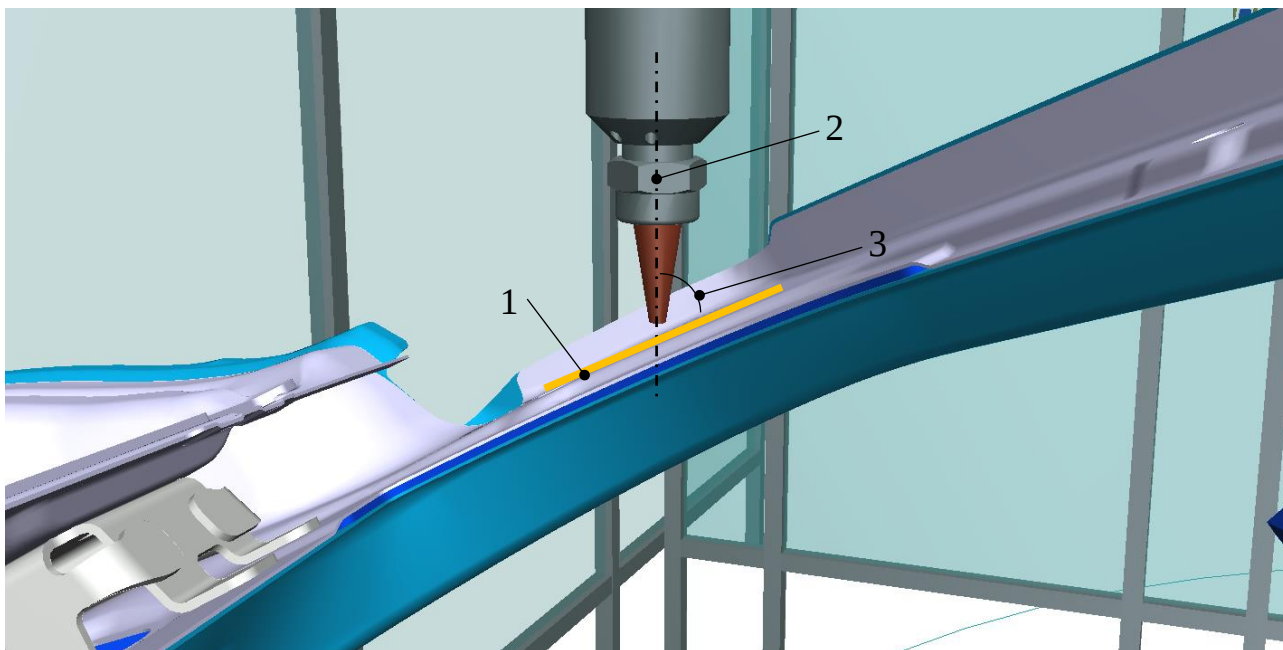


Joints tree	Steering/Poses	Value	Lower Limit	Upper Limit
ir_325075R01				
j1		-102,14	-185,00	185,00
j2		-16,03	-140,00	-5,00
j3		67,06	0,00	155,00
j4		179,97	-350,00	350,00
j5		97,98	-125,00	125,00
j6		-57,52	-350,00	350,00
zange (zce_78_5)		125,00	-5,50	127,00

Рисунок 36 – Значения осей робота 325075R01 в процессе нанесения
клеевого шва 2 на автодеталь

Как видно из рисунка значение по 2-й оси робота составляет -16.03^0 , при этом верхний предел по этой оси составляет -5^0 , таким образом робот имеет запас по 2-й оси 11^0 . Согласно правилам проекта минимальный запас по осям робота должен составлять не менее 10^0 . Таким образом с минимальным запасом, но положение является удовлетворительным для нанесения клея.

Такое положение робота стало возможным благодаря наклону автодетали по отношению к клеевому пистолету на 15^0 , рисунок 37.



1 – клеевой шов; 2 – ось сопла клеевого пистолета; 3 – угол наклона 15°

Рисунок 37 – Наклон автодетали по отношению к соплу клеевого пистолета:

Правилами проекта допускается отклонение клеевого шва от нормали на максимальное значение 20° по одному углу. Отклонение по двум углам не допускается.

Процесс нанесения клея является непрерывным движением высокой точности. В течение времени нанесения клея не допускается: изменение скорости движения робота, изменения точности движения, изменение типа движения. Для процесса нанесения клея используется высокоточное линейное движение, при этом на протяжении всей траектории нанесения клея необходимо отслеживать появление сингулярности робота [7, 16].

Для проектируемого участка цеха положение клеевой стойки было подобрано таким образом, чтобы избежать сингулярности робота.

В результате проектирования операции нанесения клеевых швов были определены тип и модель клеевого пистолета, высота клеевой стойки и высота установки ёмкости для сбора клеевых излишков.

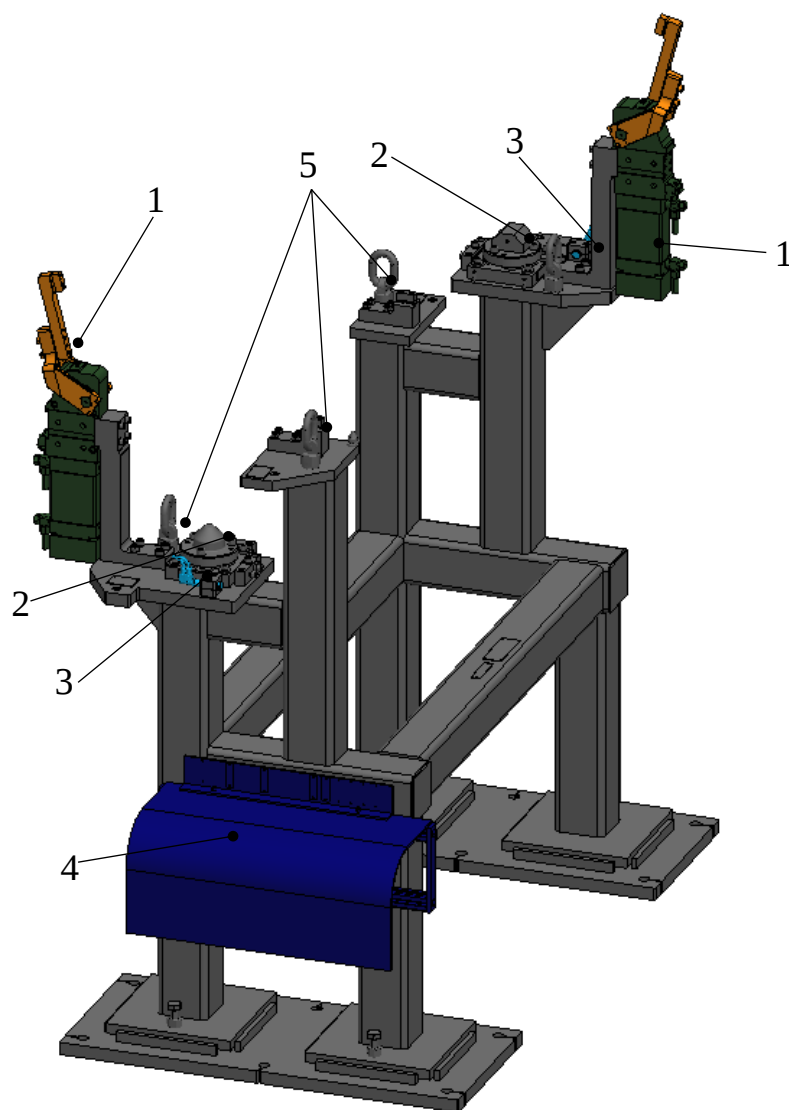
5. Станция передачи автодетали

После завершения сварочной операции и окончания нанесения клеевого шва автодеталь необходимо передать на следующий участок цеха для продолжения сборки. По завершении передачи робот 325075R01 завершает цикл и переходит в исходное состояние «Старт» для начала нового цикла.

Передача автодетали осуществляется по принципу Hand-Shake (из рук в руки), когда захватное устройство одного робота забирает автодеталь из захватного устройства другого робота. Основная проблема, возникающая в процессе передачи автодетали, связана с позиционированием захватных устройств. В связи с этим для передачи автодетали спроектировано специальное устройство – станция передачи, которое позиционирует захватное устройство первого робота, фиксирует его, чтобы исключить смещение и позволяет соседнему роботу забрать автодеталь. После завершения передачи автодетали станция разблокирует захватное устройство.

Станция передачи проектируется исходя из геометрии захватных устройств обоих роботов. Станция должна быть выполнена таким образом, чтобы не было столкновений в процессе установки/снятия автодетали в/из станции. Для точного позиционирования захватного устройства на станции предусмотрены специальные позиционирующие цилиндры. На рисунке 38 представлен внешний вид передаточной станции. Проектирование станции выполнено с применением EURO-GreifTooling (EGT) элементов [26, 27, 28]. Детали собственного проектирования - это металлоконструкция каркаса станции.

На рисунке 39 показана позиция робота в процессе установки захватного устройства в станции для передачи автодетали. Клампы станции при закрытии упираются в специальные уступы на захватном устройстве для исключения деформации несущей конструкции. Каркас станции выполнен таким образом, чтобы расстояние от 6-й оси робота до металлоконструкции было не менее 200мм.



1 – запирающие клампы; 2 – позиционирующие цилиндры; 3 – датчики присутствия; 4 – управляющий пневмоблок; 5 – транспортировочные болты

Рисунок 38 – Передаточная станция

Проектирование станции осуществляется также с учётом обслуживающего персонала. Оптимальная высота расположения основных элементов конструкции находится на расстоянии 700-1370мм от пола для удобства доступа человека к монтажным элементам.

Для транспортировки станции предусмотрены рым-болты. После установки станции болты выкручиваются. В дальнейшем при анализе столкновений рым-болты не учитываются.

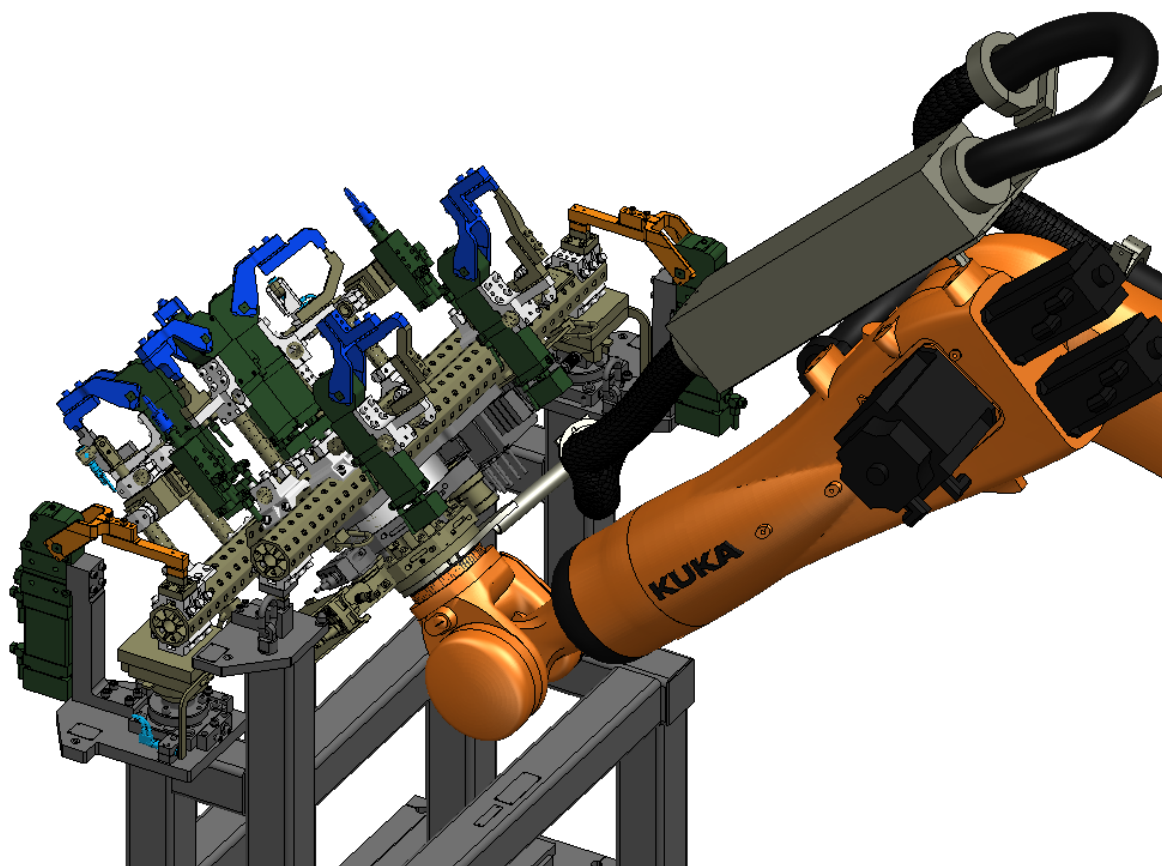


Рисунок 39 – Фиксация захватного устройства передаточного робота в станции

В процессе позиционирования и фиксации захватного устройства необходимо учитывать положение вспомогательных элементов, таких как кабели и пневматические шланги для работы зажимных механизмов. Как описывалось ранее подобные элементы располагаются в кабеле-проводящем шланге и выводятся в захватное устройство через ракетку, закреплённую на фланце 6-й оси робота. Для того, чтобы в процессе работы исключить стирание и перегибы шлангов необходимо подобрать положение ракетки, подробнее процедура описана в разделе 8.1. Угол наклона фиксирующей станции обусловлен достижимостью принимающей стороны, чтобы робот, который забирает автодеталь со станции мог без столкновений с оптимально конфигурацией осей подойти и забрать автодеталь, при этом для позиционирующего робота присутствует ограничение по максимальному углу наклона 5-й оси [28, 30].

Как видно из рисунка 39 дальнейший наклон автодетали приведёт к тому, что захватное устройство приблизится к 3-ей оси робота и может произойти столкновение.

В результате проектирования перекладной станции получен лист спецификации, позволяющий заказать и собрать на производстве станцию для передачи автодетали между соседними участками сборки. Определены условия передачи и пространственное положение для передачи автодетали между смежными захватными устройствами двух промышленных роботов, фиксации захватного устройства, оптимальный угол наклона автодетали для снятия автодетали и передачи на следующий участок сборки. Предусмотрена транспортировка собранной станции посредством монтажа специальных транспортировочных болтов.

6. Калибровка рабочего инструмента

Для того, чтобы робот начал движение и смог точно знать где стоит требуемое по процессу оборудование, его необходимо откалибровать. Калибровка требуется не только окружающему оборудованию, но самому роботу. Поскольку оборудование в цеху расставляется с погрешностью $\pm 100\text{мм}$, а выгрузка траектории движения робота не содержит погрешности, то корректировка траектории будет осуществляться в цеху автоматически на основании указания реальных координат, полученных путём калибровки и дополнительных измерений.

Для различного оборудования предусмотрены различные инструменты калибровки: для сварочного пистолета и захватного устройства кольцо; для клеевого пистолета конус [21].

На рисунке 40 представлен инструмент для калибровки оборудования. Он представляет собой крепёжный элемент с круглым отверстием для вставки измерительной головки. Сам крепёжный элемент устанавливается на захватном устройстве. На рисунке 41 представлены измерительные головки: для сварочного пистолета и захватного устройства – гильза (а) и для клеевого пистолета – конус (б).

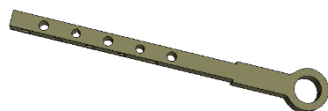


Рисунок 40 – Инструмент для калибровки процессного оборудования



a – гильза для калибровки сварочного пистолета,
б – конус для калибровки клеевого пистолета

Рисунок 41 – Измерительные головки:

Процесс калибровки происходит следующим образом: после расстановки в цеху основного оборудования на свои места, рабочий вешает захватное устройство на фланец робота и крепит инструмент для калибровки в соответствии с чертежами. Затем, используя калибровочные головки рабочий загружает для робота траекторию движения подхода робота измерительной головкой к измеряемому оборудованию и в случае необходимости корректирует положение оборудования.

На рисунке 42 представлено калибровочное положение для сварочного пистолета. Неподвижный электрод сварочного пистолета должен чётко войти в отверстие измерительной головки. Только после этого можно сказать, что сварочный пистолет стоит на проектируемом месте в цеху.

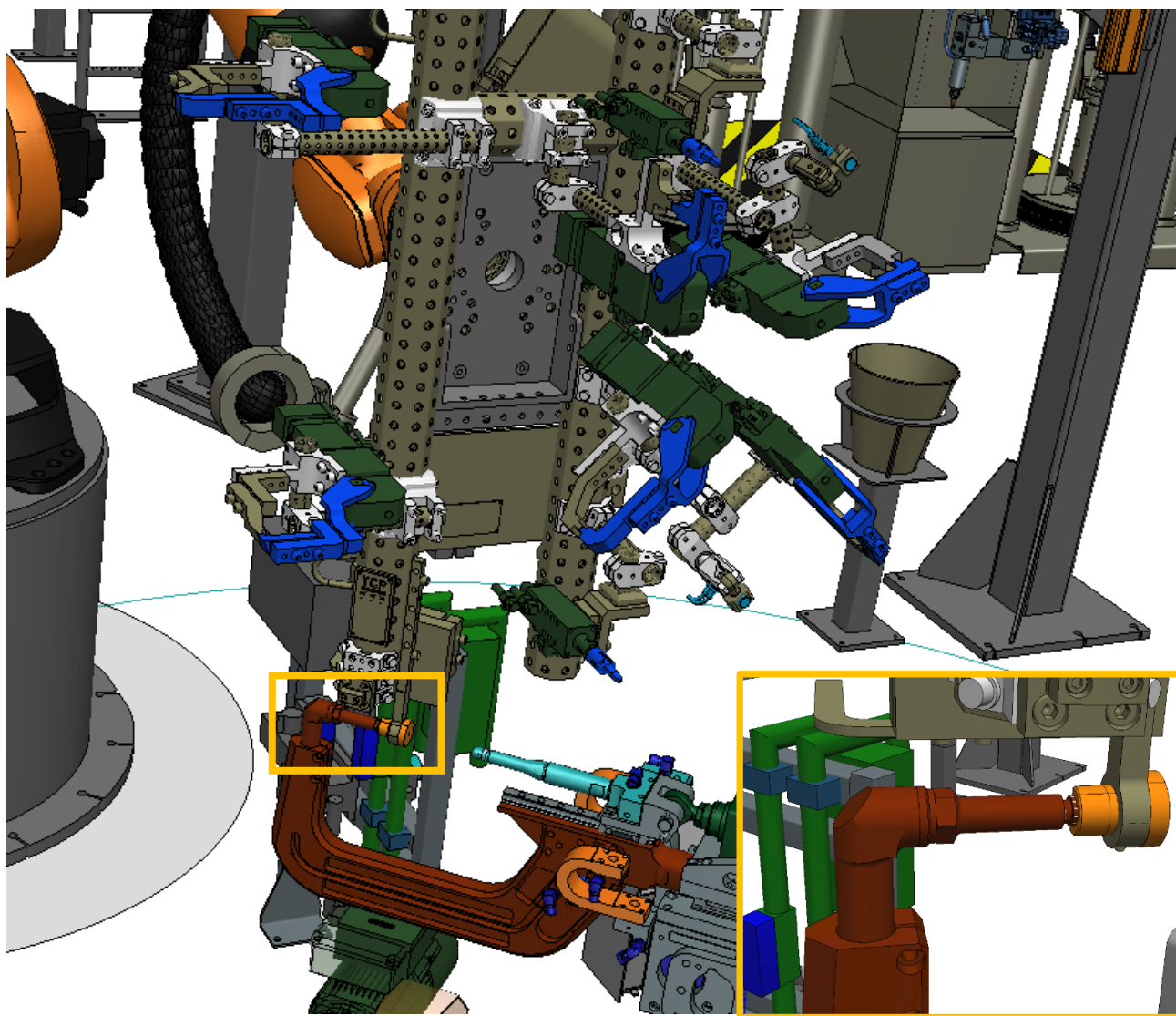


Рисунок 42 – Калибровочное положение сварочного пистолета

Подобным образом производится калибрование сопла клеевого пистолета, рисунок 43. Конус измерительной головки должен без отклонений по осям и без поворотов прийти соосно соплу клеевого пистолета. В случае если робот не приходит в требуемую позицию производится корректировка траектории движения.

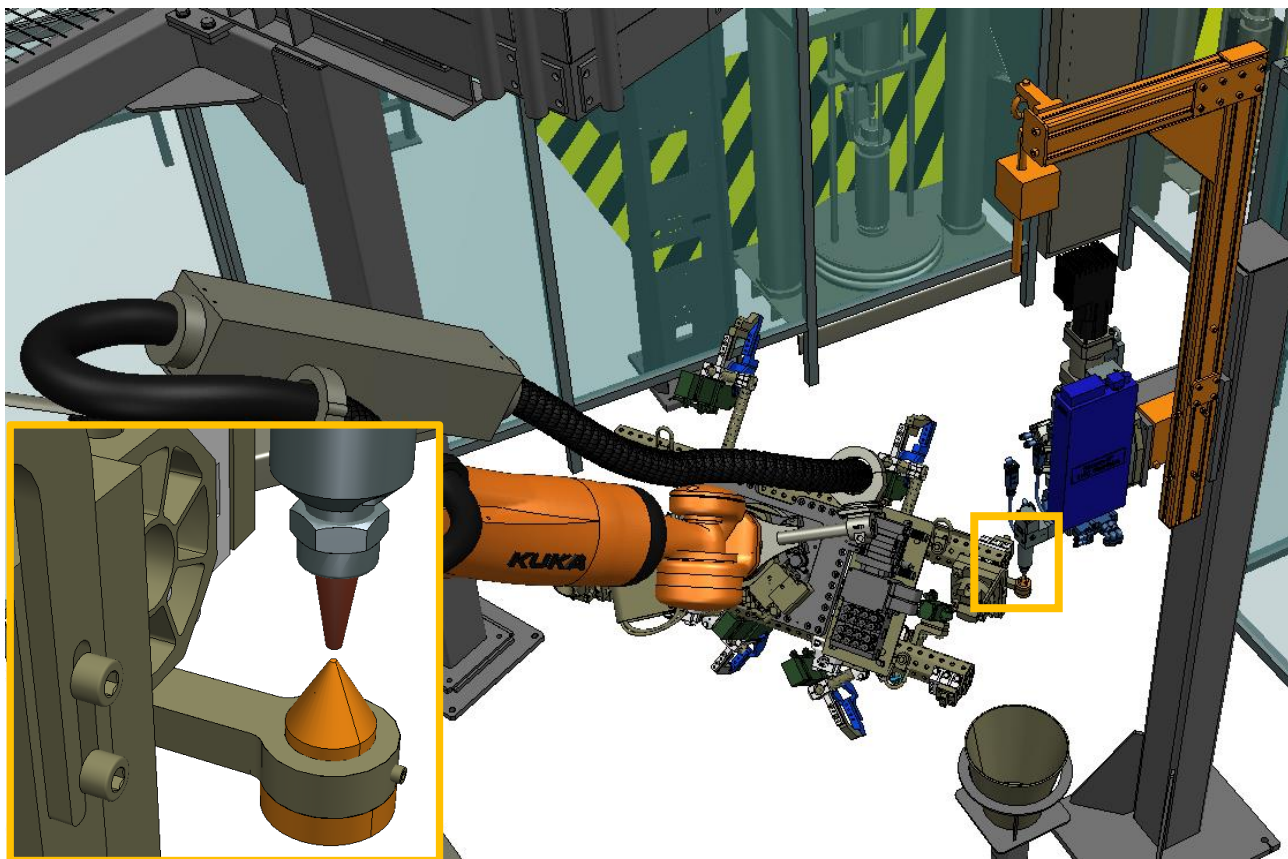


Рисунок 43 – Калибровочное положение клеевого пистолета

Инструмент для калибровки остаётся закреплённым на захватном устройстве, поэтому его необходимо учитывать в процессе движения робота, чтобы исключить столкновения с окружающим оборудованием.

Поскольку захватное устройство закреплено на фланце робота и не может быть зафиксировано в пространстве, то и метод калибрования будет немного отличаться от стационарного оборудования. Поскольку калибрование это процесс выравнивания оборудования друг относительно друга, то для калибрования подвижного устройства, нам необходимо использовать неподвижное устройство. Для проектируемого участка цеха в качестве статичной точки для калибрования захватного устройства была выбрана поверхность станции 5076 для передачи автодетали [5, 7, 15]. На рабочей поверхности станции был установлен измерительный конус 1, рисунок 44.

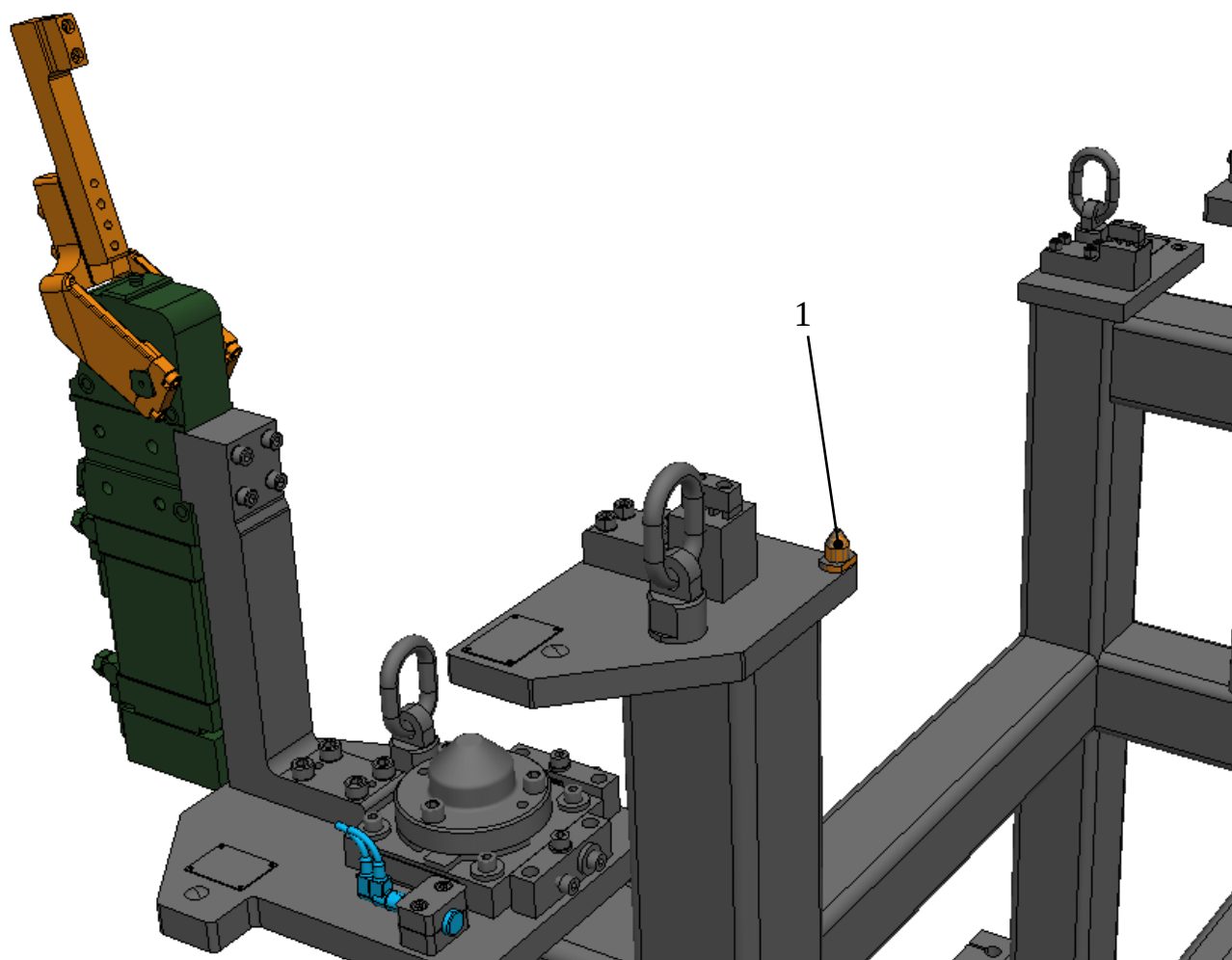


Рисунок 44 – Положение калибровочного конуса на перекладной станции 5076

После определения положения измерительного конуса процесс калибровки захватного устройства будет идентичен сварочному пистолету: робот должен гильзой попасть в измерительный конус. На рисунке 45 показано положение робота при калибровке захватного устройства.

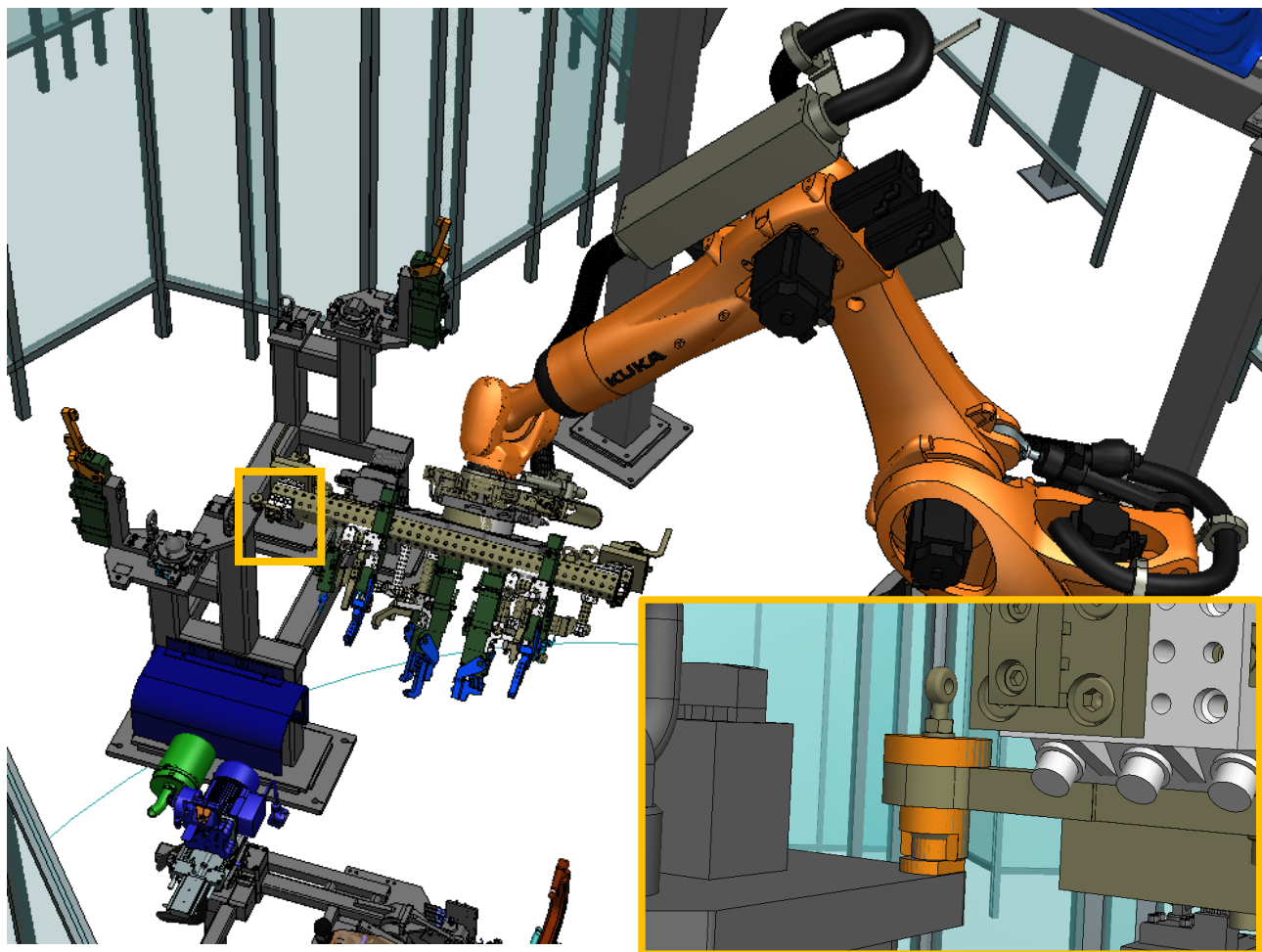


Рисунок 45 – Положение робота в позиции калибровки захватного устройства

В результате проектирования операции калибровки определены инструменты калибровки и получено положение калибровочного инструмента. Получены позиции промышленного робота для калибровки сварочного пистолета, клеевого пистолета, переключной станции и захватного устройства.

7. Организация безопасности

Обеспечение безопасности обслуживающего персонала является очень важной и приоритетной задачей при проектировании. Контроллер промышленного робота имеет ряд функциональных возможностей для того, чтобы сохранить жизнь и здоровье человека, находящегося рядом. Правилами проекта не допускается присутствие человека в работающей ячейке цеха. Для ограничения доступа человека по периметру ячейки предусмотрен монтаж ограждения в виде забора высотой 2300мм из макролона. Для организации безопасности необходимо более детально рассмотреть схему, отображающую общее расположение оборудования, входы/выходы для человека, ограждения, граничащие с зоной обслуживающего персонала. На рисунке 46 представлен схема безопасности проектируемой ячейки. По периметру ячейки расположен ограждение. Ограждение зелёного цвета 1 граничит с соседней ячейкой и является внутренним забором. Ограждение синего цвета 2 является внешним по отношению к обслуживающему персоналу. То есть человек имеет возможность свободного доступа к забору. Область 4 закрашенная оранжевым цветом это пешеходная зона и зона движения вспомогательного оборудования. Внутри обозначенной зоны человек должен всегда находиться в безопасности [29, 30].

При проектировании системы безопасности промышленного робота необходимо рассматривать самый критический случай, когда робот вышел из-под контроля и начинает совершать хаотичные движения. Если в этот момент со стороны забора находится человек, есть вероятность нанесения повреждений здоровью человека. Поэтому, для предотвращения подобных случаев для робота выделяется специальная зона, внутри которой он может свободно передвигаться. Если робот выходит за пределы разрешённой зоны контроллер безопасности отключает его от источника питания.

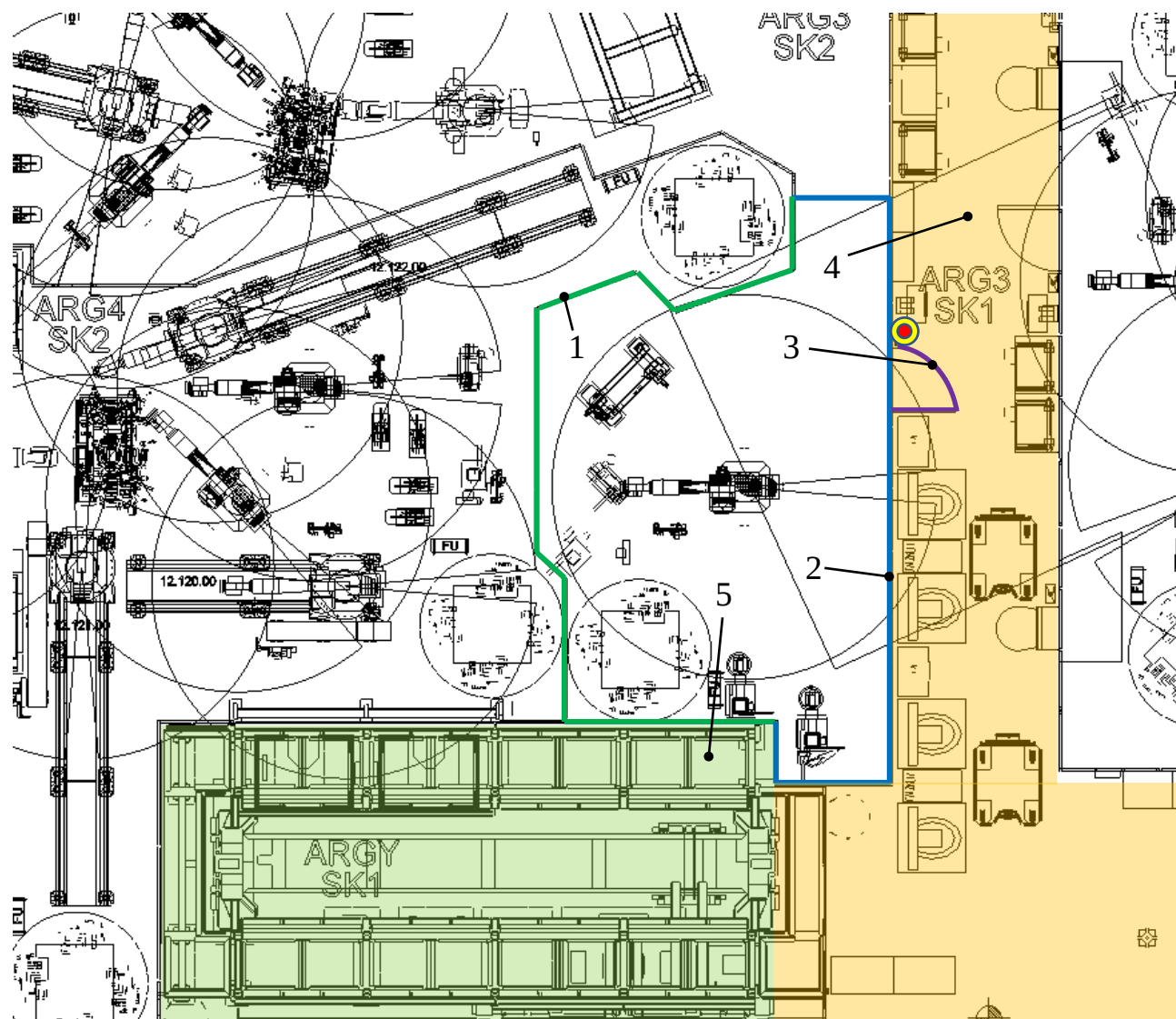
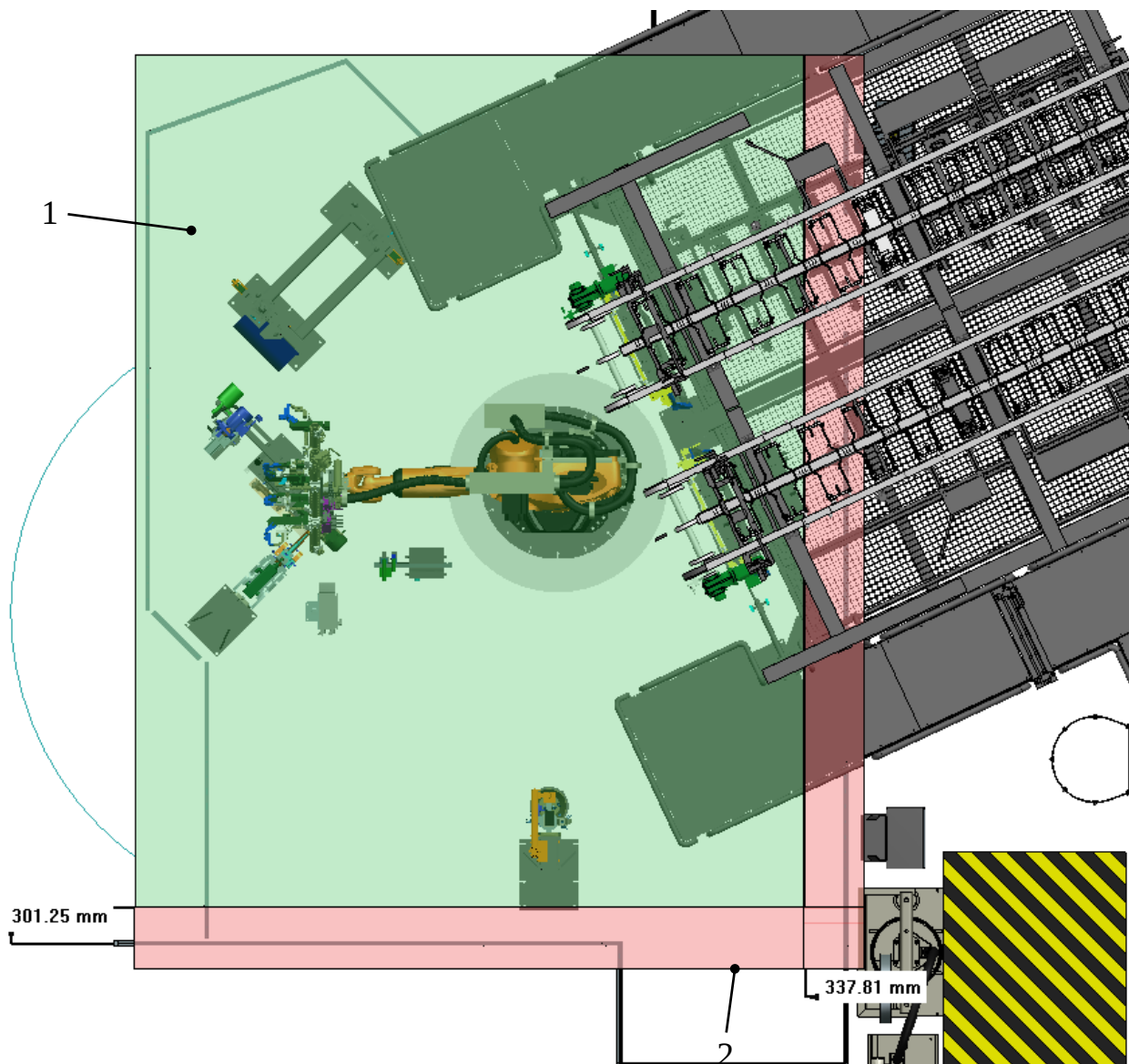


Рисунок 46 – Схема безопасности проектируемой ячейки

На рисунке 47 показано размещение рабочей зоны робота 1 (зелёного цвета) и зона блокировки 2 (красного цвета). Расстояние от забора до рабочей зоны робота должно быть не менее 300мм. Как было сказано ранее, в пределах рабочей зоны 1 робот может свободно перемещаться. Для конвейера предусмотрена отдельная зона блокировки.



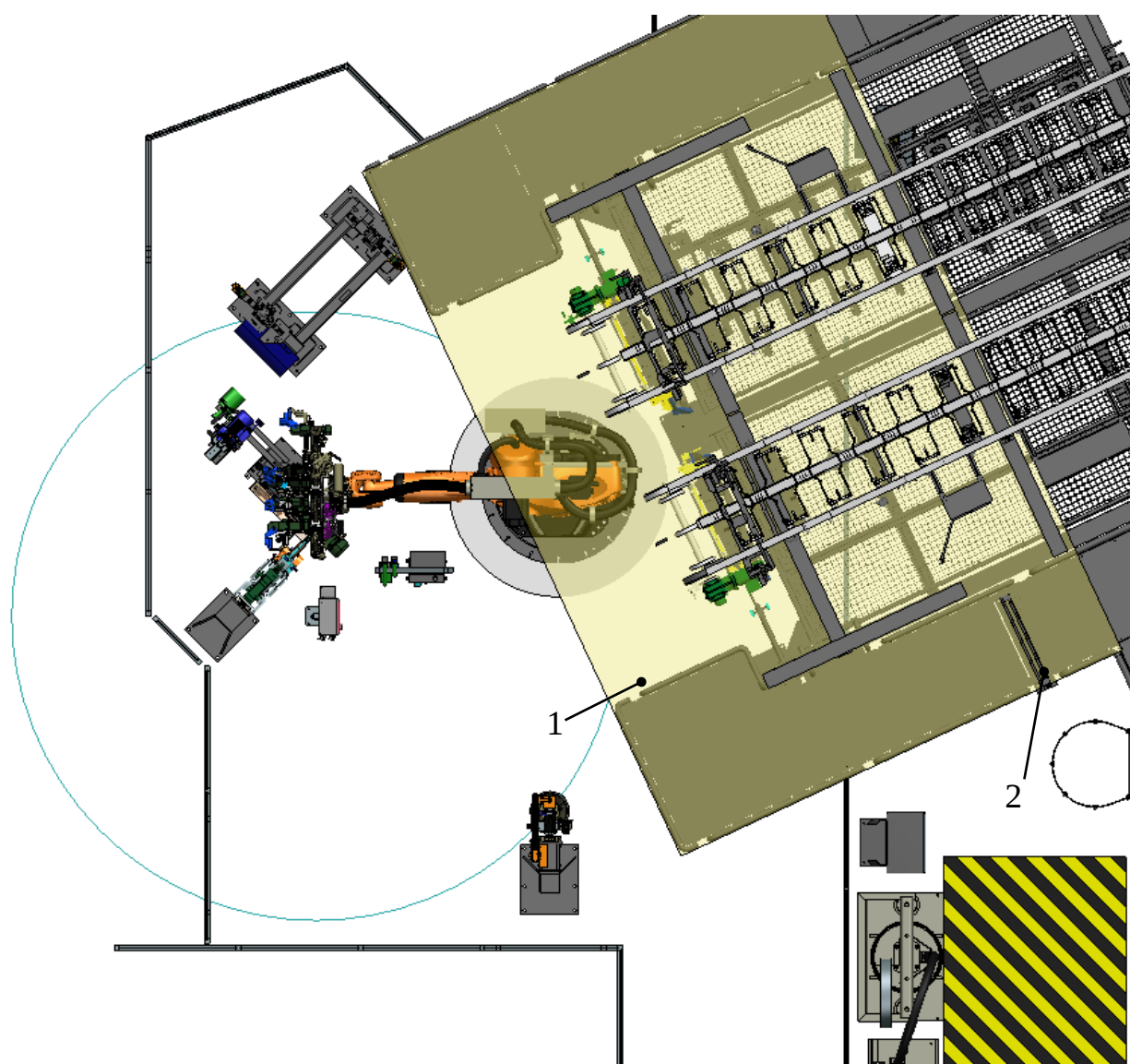
1 – рабочая зона; 2 – перманентная зона блокировки

Рисунок 47 – Расположение зон безопасности робота:

Для проектируемого участка цеха заказчиком обозначены определённые требования к системе безопасности: от внешнего забора до рабочей зоны робота должно быть не менее 300мм; конвейер должен быть закрыт

переключаемой зоной безопасности; внутренний забор не имеет ограничений на перемещение робота.

Поскольку конвейер является сложным механизмом и требуется в регулярном обслуживании и осмотре, то необходимо предусмотреть возможность безопасного нахождения человека в области конвейера. Для этого необходимо создать переключаемую зону блокировки, рисунок 48. Зона будет включаться в случае, если срабатывает датчик открытия двери конвейера [28].



1 – переключаемая зона блокировки (жёлтый цвет);
2 – датчик открывания двери

Рисунок 48 – Расположение зоны безопасности для конвейера

В результате формирования зон безопасности получены данные в виде координат и размера зон безопасности относительно базы робота для каждой зоны в отдельности.

Система безопасности промышленного робота функционирует следующим образом: в пространстве производится построение геометрических фигур типа прямоугольник и круг. Координаты положения этих фигур заносят в контроллер безопасности. Контроллер вычисляет по координате и размерам фигуры область в пространстве, которую ограничивает обозначенная фигура. Поскольку контроллер безопасности не знает о размерах инструмента, установленного на фланце робота, то возникает необходимость о том, чтобы контроллер безопасности 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 контроллер безопасности 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: 1. Центр координат сферы и 2. Радиус сферы. Обладая этими параметрами контроллер безопасности отслеживает траекторию движения сфер безопасности в пространстве и в случае пересечения с зоной безопасности контроллер отключает промышленного робота от источника питания, предполагая, что робот начал бесконтрольно перемещаться и возможно нанесение повреждений обслуживающему персоналу [28, 30].

На рисунке 49 представлено отображение информации, которая необходима для контроллера, чтобы сформировать зону безопасности и отслеживать её положение. По координатам двух диагональных точек вычисляются размеры параллелепипеда

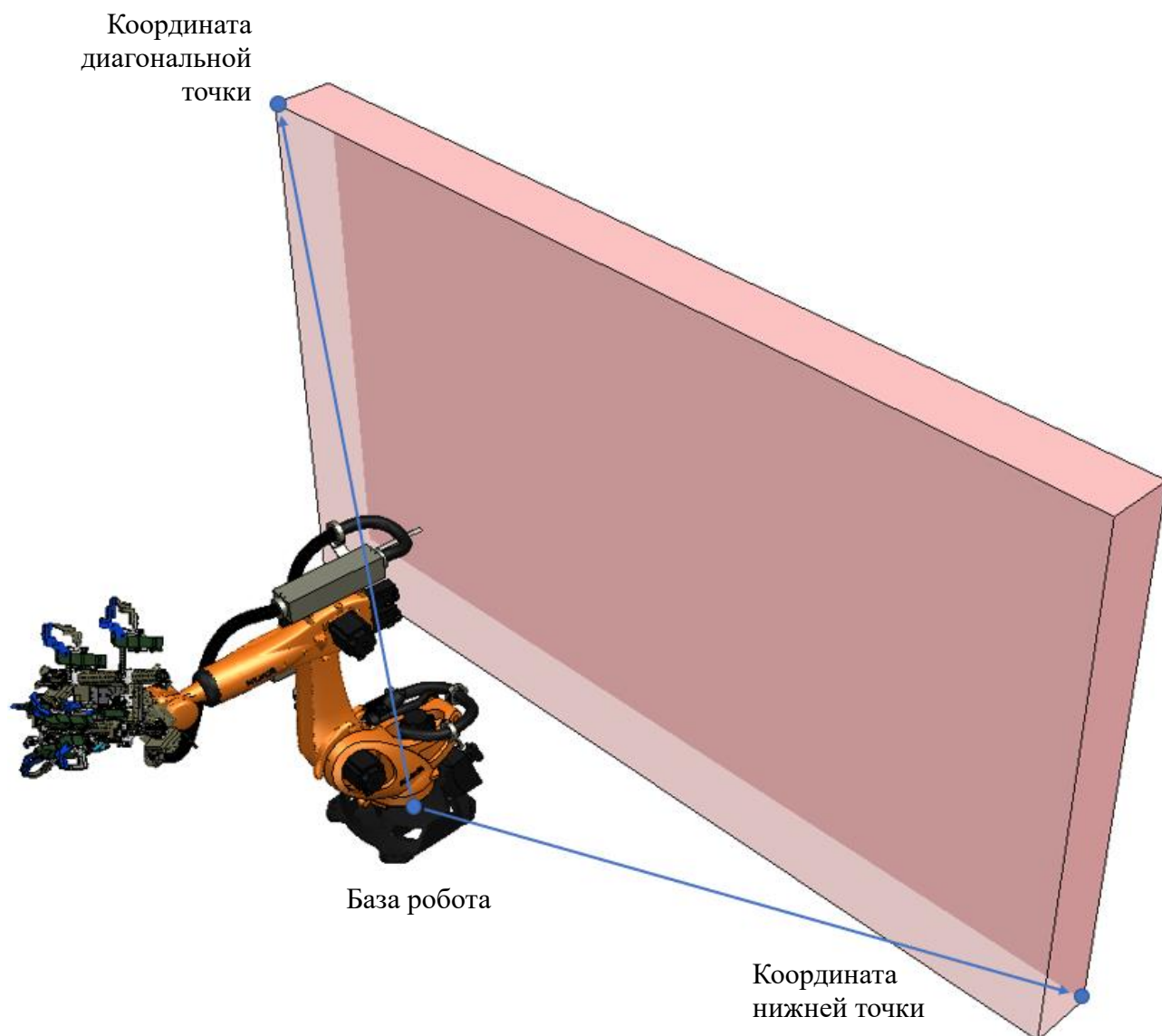
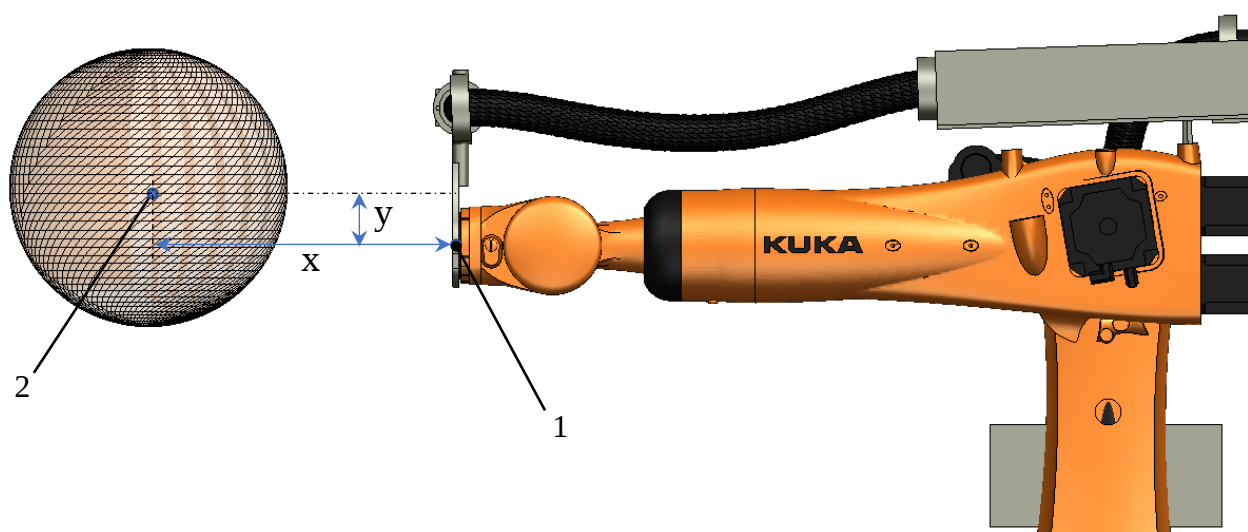


Рисунок 49 – Определение координат зоны безопасности

Исходя из вышесказанного контроллеру безопасности необходимо получить информацию о положении и размерах сфер безопасности. По правилам проекта сферы безопасности должны покрывать весь инструмент и автодеталь. Точка отсчёта координат сферы безопасности – центр фланца робота. На рисунке 50 показано отсчёт координат сферы по отношению к роботу.



1 – центр фланца робота; 2 – центр сферы безопасности

Рисунок 50 – 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 51 представлено расположение сфер безопасности для проектируемого робота.

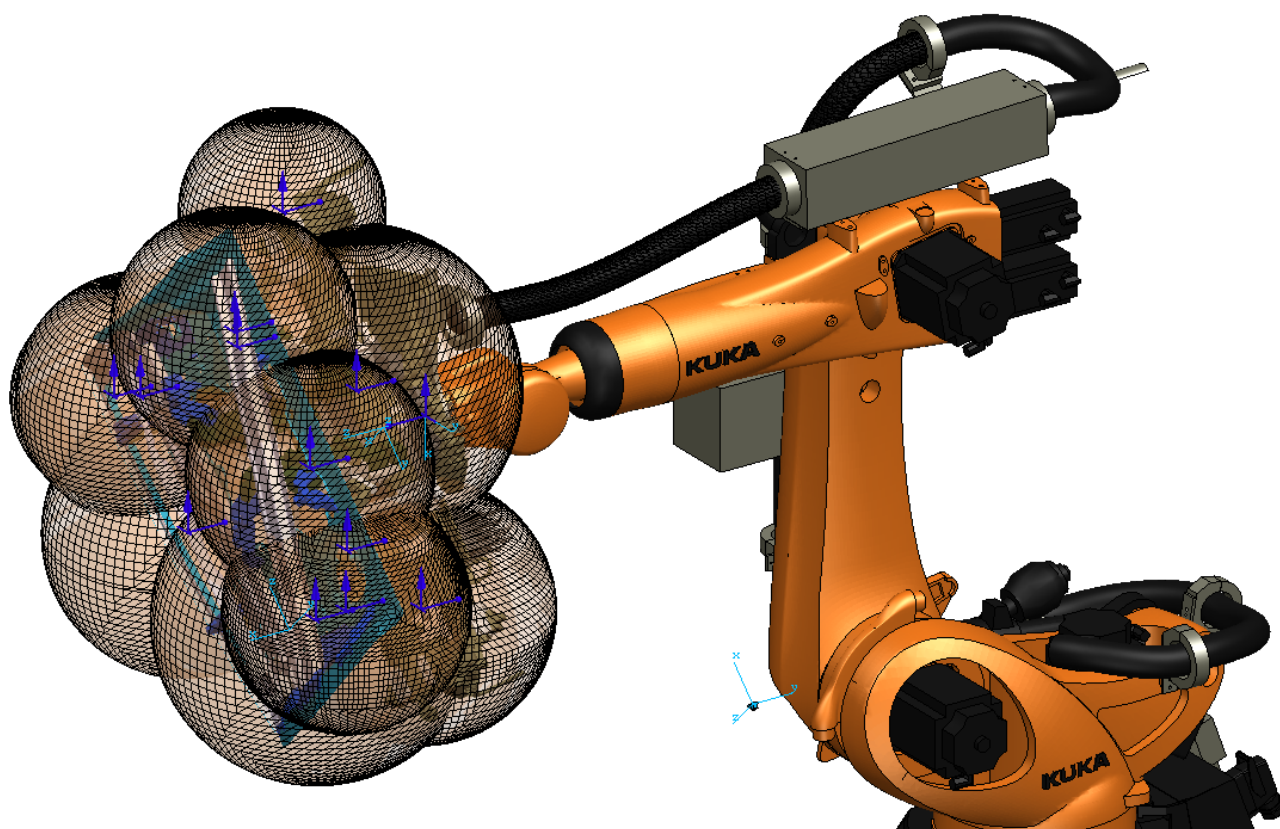


Рисунок 51 – Расположение сфер безопасности

О правильности расположения основного оборудования в цехе можно судить по тому, как выполняется условие безопасности, что сферы безопасности не должны пересекать рабочую зону 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.

Изменение положения оборудования может привести к отрицательному эффекту, поскольку изменение положения, например, клеевой стойки может привести к возникновению сингулярности в процессе нанесения клея, может привести к столкновению с другим оборудованием, может не хватить запаса по осям робота для нанесения клея. Поэтому в случае изменения положения оборудования предстоит очень трудоёмкий и сложный процесс отслеживания

цепочки влияния на окружающее оборудование и на достижимость роботом нового положения.

Поскольку в ячейке присутствует единица оборудования с которой одновременно взаимодействуют два робота, значит необходимо создать специальную зону, ограничивающую доступ. Для передачи автодетали из проектируемого участка цеха на следующий этап сборки автодетали необходимо соблюдать последовательность взаимодействия роботов с перекладной станцией 5076. По циклограмме робот 5075R01 заходит в станцию и позиционирует деталь с фиксацией захватного устройства. После этого соседний робот 5110R01 зайдёт в область станции 5076 и заберёт автодеталь. Только после ухода робота 5110R01 станция 5076 освободит захватное устройство 5075R01 и робот сможет уйти в позицию «Старт». Для того, чтобы ни один из роботов не полез в станцию раньше, чем это нужно по циклу необходимо добавить сигнал блокировки, который будет сообщать роботам о том, что зона свободна [26, 28, 29].

Формирование сигнала блокировки будет происходить в процессе программирования робота 5075R01, который и будет управлять этим сигналом. В свою очередь робот 5110R01 по мере необходимости захода в станцию 5076 будет считывать соответствующий сигнал блокировки и действовать согласно состоянию данного сигнала. Если сигнал разрешает заход, то значит автодеталь готова к передаче и захватное устройство робота 5075R01 зафиксировано. Если сигнал запрещает заход на станцию, значит зона занята роботом 5075R01 и ещё не готова для передачи автодетали.

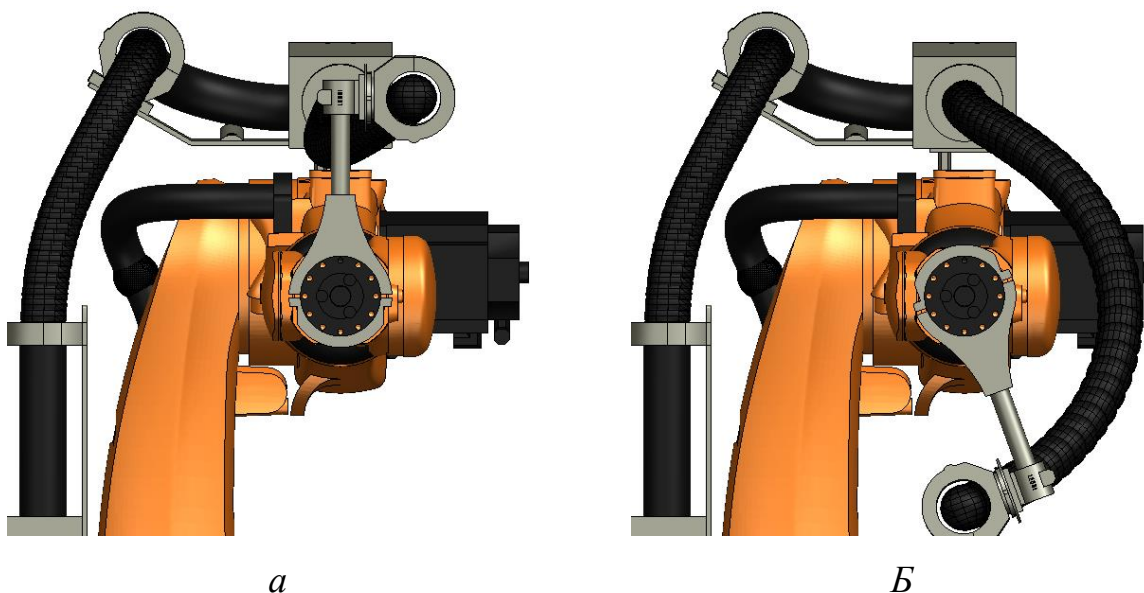
В результате проектирования концепта безопасности определены зоны безопасности промышленного робота, обеспечивающие безопасность обслуживающего персонала. Получены сферы безопасности для обозначения габаритов инструмента, находящегося на 6-й оси робота.

8. Настройка и программирование робота

8.1 Настройка оборудования робота

Для того, чтобы управлять инструментом, закреплённым на фланце робота, необходимо обеспечить подвод сигнальных проводов, и пневмотрубок. В промышленных роботах KUKA 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.

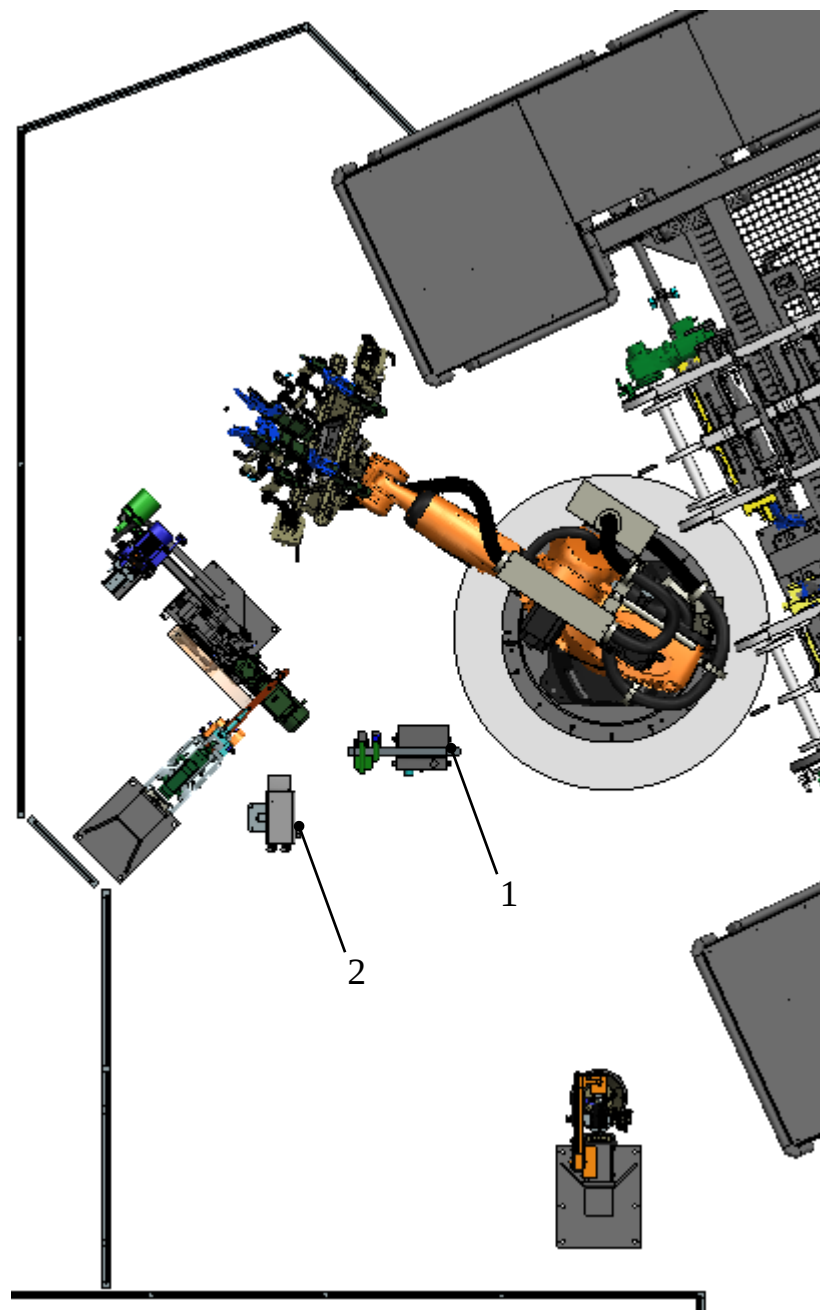
Основное условие проверки - это отсутствие столкновений или малых зазоров (менее 100мм) от кабеле проводящего шланга до любого оборудования, к которому приближается робот в процессе движения. Для данного проекта угол поворота «ракетки» робота составляет 160° в положительном направлении. Данное значение было получено в ходе проверки движений робота на столкновения по описанным ранее критериям. На рисунке 52 *а* представлено исходное положение «ракетки» 0° , на рисунке 52 *б* представлено повернутое положение на 160° .



a – исходное положение 0^0 ; *б* – положение $+160^0$

Рисунок 52 – Положение ракетки робота:

Подвод проводов и трубок до робота осуществляется по кабель-каналу на полу, до распределительного устройства робота. На рисунке 53 показано положение распределителя 1 для захватного устройства робота и распределителя 2 для сварочного пистолета. По составу распределитель робота включает в себя: пневмоузел, без подвода воды; распределитель для сварочного пистолета включает: подвод холодного водоснабжения и провода для управляющих сигналов [28].



1 – для захватного устройства робота; 2 – для сварочного пистолета

Рисунок 53 – Положение распределителей:

После расстановки дополнительного оборудования необходимо проложить основной кабель-канал. Ширина стандартного кабель-канала 500мм, высота 300мм. На рисунке 54 показано расположение кабель-канала. Кабель-канал необходимо провести ко всем единицам оборудования. Также следует учитывать конструктивные особенности оборудования, например,

длина шланга подачи клея от клеевой стойки до насоса должна быть не более 15м [7].

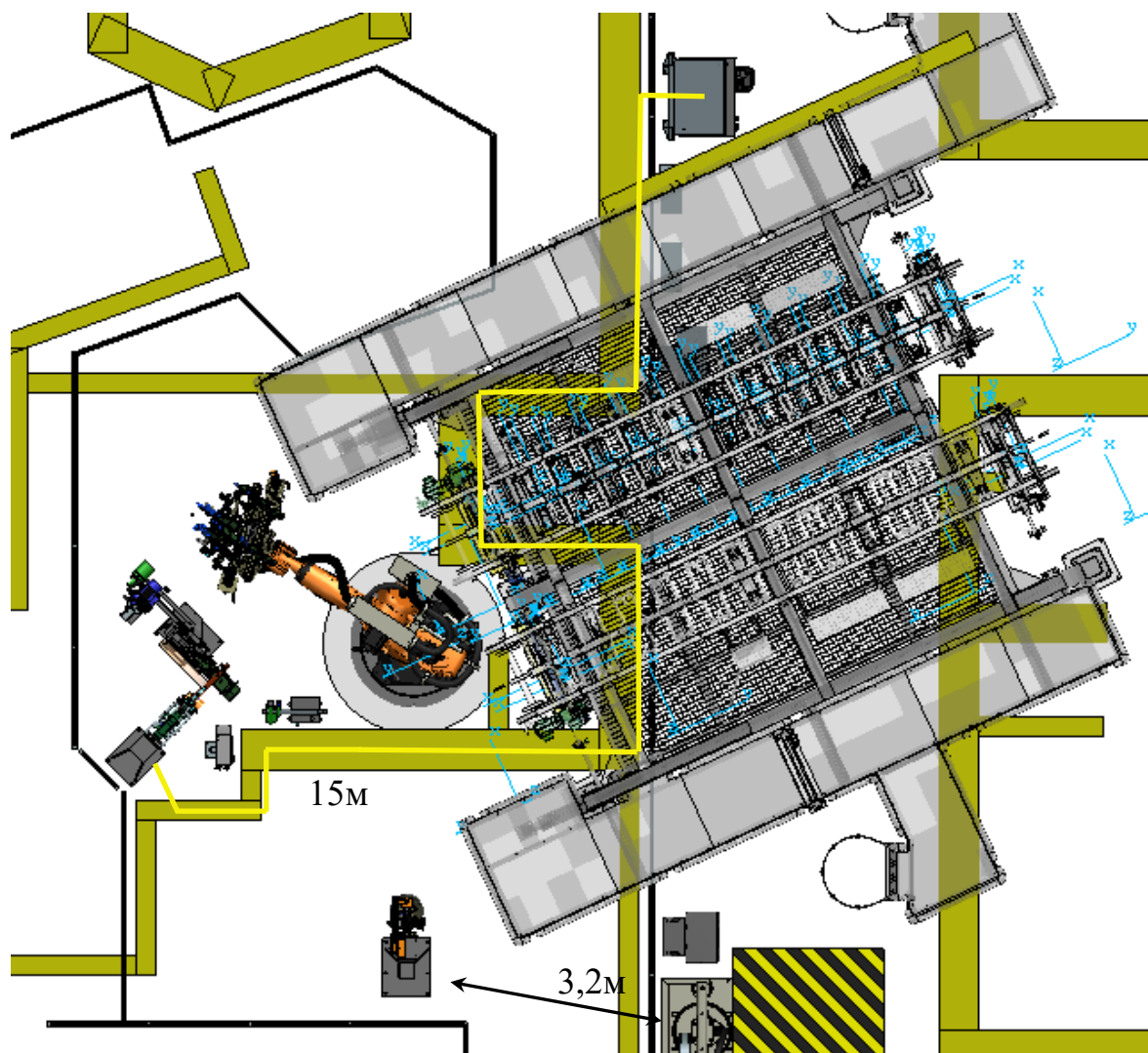


Рисунок 54 – Положение кабель-канала в ячейке

Для проектируемого участка цеха расстояние от клеевой стойки до клеевого насоса составляет 3м, с погрешностью на радиус загиба, плюс подъём вверх и опускание шланга, плюс запас на погрешность установки оборудования выбираем длину клеевого шланга 4м. Длина кабеля от сварочного пистолета до шкафа управления 15м, с учётом количества изгибов (9шт) (+1,5м), запас на погрешность расстановки оборудования (+0,2м) принимаем длину кабеля 17м.

После подбора длины кабеля для основного оборудования необходимо для робота создать позиции для контроля за нанесением клеевого шва. Данная функция предусматривает возможность в любой момент цикла проверить правильность нанесения клеевых швов путём визуального осмотра обслуживающим персоналом. После нажатия на соответствующую кнопку на панели у входа в ячейку, робот, после того, как закончит наносить клей, отклонится от основного цикла и подойдёт к забору так, чтобы хорошо просматривались клеевые швы. В случае если качество шва удовлетворительное цикл продолжается, в случае если не удовлетворительный, то после нажатия на соответствующую кнопку робот перестраивается в позицию корректировки клеевого шва. Эта позиция должна учитывать свободный подход обслуживающего персонала для механического удаления клея с поверхности автодетали. Для проектируемого робота две описанные позиции находятся в одном положении, рисунок 55. Также для этой позиции необходимо учитывать положение шланга робота, запас по осям робота, сингулярность 5-й оси и отсутствие столкновений с окружающим оборудованием.

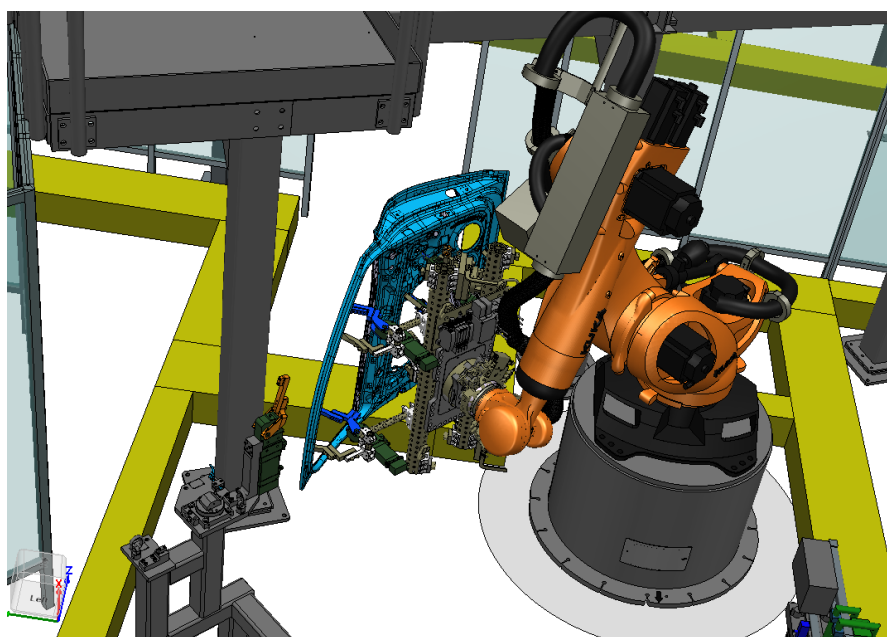


Рисунок 55 – Позиция показа клея и механического удаления клея

8.2 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.).

Согласно циклограмме, рисунок 3, последовательность работы робота будет следующая:

- из «Старт» позиции робот подходит к конвейеру;
- снятие автодетали с конвейера и возврат в «Старт» позицию;
- сварка х1 сварочном точки в стационарном сварочном пистолете и возвращение в позицию «Старт»;
- подход к клеевой стойке для нанесения клеевого шва 1;
- переориентация робота для нанесения клеевого шва 2 и возвращение в позицию «Старт»;
- подход к станции 5076 для передачи автодетали;
- фиксация захватного устройства в станции и передача;
- отход робота в позицию «Старт».

На рисунке 56 представлены точки траектории движения робота с настроенными параметрами: для каждой точки задана скорость движения робота (колонок Speed); задана точность аппроксимации движения (Acc); задана конфигурация робота, которая описывает положение всех осей робота (Config); указан тип движения линейный или point-to-point; указаны оси , которые будет использовать робот для движения по точкам (Tool Frame); и указаны оси объекта (Object Frame).

Path Editor																	
0.00 — 0.10																	
Paths & Locations	Attachment	Config	Acc	Motion Type	Object Fra...	Speed	Work Tool	Servo Value	Tool Frame	X	Y	Z	RX	RY	RZ	Duration	OLP Commands
ir 325075R01					bf0											58.73	
Folge01					bf0											58.73	-- VW316-6, TVOL ARG3 --
P1_START		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	10 %		125 mm	t1	445368.18	922164.49	2740.51	-60.00	-30.00	175.00	12.32	-- FRG 1 -- -- BTK 1 -- -- G...
P2_START		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t1	445368.19	922164.50	2740.51	-60.00	-30.00	175.00	0.00	# Blank_R_5075R01_G_VW3
P3_START		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t1	445368.19	922164.50	2740.51	-60.00	-30.00	175.00	0.00	
P4		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t1	447939.84	922607.84	3145.77	-90.00	10.00	55.00	2.84	
P5		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t1	448805.13	922770.62	3120.28	-90.00	10.00	24.67	1.15	
P6		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t1	448986.88	922854.09	3120.28	-90.00	10.00	24.67	0.75	
P7		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t1	449077.75	922895.82	3120.28	-90.00	10.00	24.67	0.50	-- G_ZU 1.2.M2 -- -- ENT 2
P8_Entnehmen_SB1		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 mm/s?	LIN	bf0	200 mm/s		125 mm	t1	449122.50	922916.37	3111.60	-90.00	10.00	24.67	1.63	# Destination gre_c4_30d375
P9		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 mm/s?	LIN	bf0	200 mm/s		125 mm	t2	449121.60	922924.76	3146.56	-90.00	9.80	24.67	1.20	
P10		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 mm/s?	LIN	bf0	200 mm/s		125 mm	t2	449139.77	922933.11	3148.56	-90.00	9.80	24.67	0.90	
P11		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	449171.45	922947.65	3146.86	-90.00	9.80	24.67	0.27	
P12		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	449136.21	922898.46	3023.43	-90.00	21.80	24.67	0.68	
P13		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	449114.41	922859.97	2933.75	-90.00	21.80	24.67	0.64	
P14		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	448985.89	922800.94	2668.84	-90.00	32.80	24.67	0.69	
P15		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	448925.63	922773.27	2473.64	-90.00	32.80	24.67	0.79	
P16		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	448834.75	922731.53	2208.64	-90.00	32.80	24.67	0.86	
P17		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	448141.54	922532.67	2234.13	-90.00	32.80	45.74	0.96	-- FM -- -- PF 1 --
P18_Handling_ende		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	445368.18	922164.49	2740.51	-60.00	-30.00	175.00	2.63	
P19_WPS_EXT_start		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t3	447503.75	921723.84	2199.21	99.28	-65.64	-103.43	0.00	
P20		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t3	445819.97	921333.17	758.57	0.00	2.28	-136.72	3.30	
P21		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t3	445744.99	921260.09	1035.50	0.00	0.00	-135.00	0.70	-- 11a831305_p0005_d0210
11a831305_p0005_d02...		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		30 mm	t3	445744.92	921260.10	1066.50	0.00	0.00	-135.00	2.27	# Weld # GunToState
P22		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		30 mm	t3	445744.99	921260.09	1035.50	0.00	0.00	-135.00	0.24	
P25		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t3	445819.97	921333.17	758.57	0.00	2.28	-136.72	0.70	-- FM_EZSP1 --
P26_WPS_EXT_ende		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t3	447503.75	921723.84	2199.21	99.28	-65.64	-103.43	3.30	
P27_KL_EXT_start		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t3	447251.29	924352.76	3647.51	159.08	-3.82	-4.96	0.00	# CallPath up1
P28_START		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	445368.18	922164.49	2740.51	-60.00	-30.00	175.00	0.00	-- FRG 4 -- -- VERR_EIN 1
P29_START		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	445368.18	922164.49	2740.51	-60.00	-30.00	175.00	0.21	# Blank_ST_5076_VW316_Z
P30		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	445800.84	923795.35	2078.50	-90.00	-45.00	135.00	1.54	
P31		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t2	445800.84	923795.35	1648.50	-90.00	-45.00	135.00	0.78	-- ABL 5 -- -- VERR_AUS
P32_Handshake		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 mm/s?	LIN	bf0	200 mm/s		125 mm	t2	445800.84	923795.35	1548.50	-90.00	-45.00	135.00	12.54	# Destination v_c4_15d4244
P33		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 mm/s?	LIN	bf0	200 mm/s		125 mm	t1	445800.84	923795.35	1648.50	-90.00	-45.00	135.00	2.00	
P34		OH-J3-J5-, T1:0 T4:-1 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t1	445800.84	923795.35	2078.50	-90.00	-45.00	135.00	0.78	-- FM -- -- PF 4 -- -- VERR_
P35_END		OH-J3-J5-, T1:0 T4:0 T6:-1	100 %	PTP	bf0	100 %		125 mm	t1	445368.18	922164.49	2740.51	-60.00	-30.00	175.00	1.54	

Рисунок 56 – Программирование движений промышленного робота

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. На рисунке 57 Показан принцип работы оси объекта как системы отсчёта для траектории движения робота:

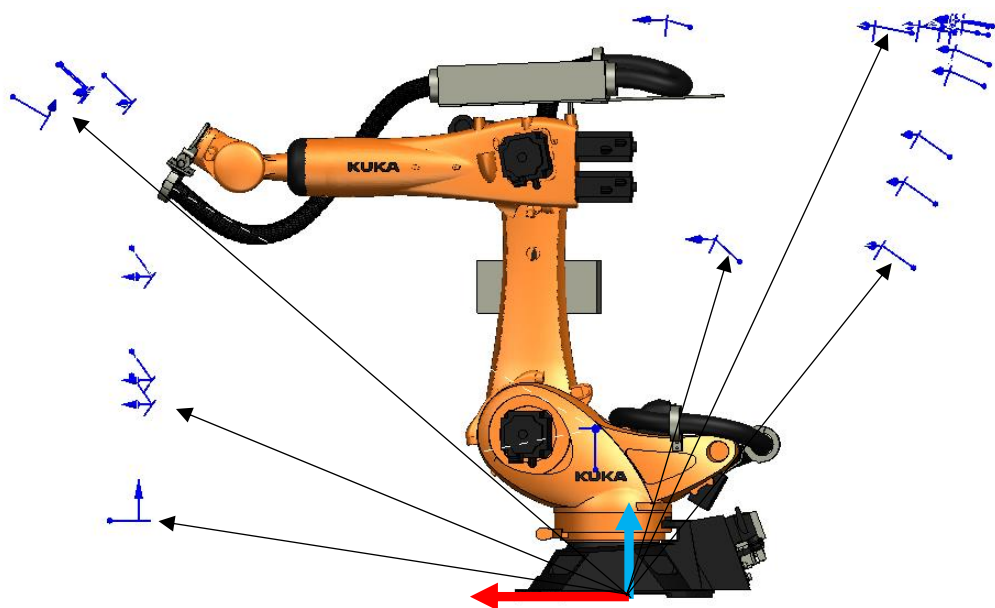


Рисунок 57 – Положение оси объекта

На рисунке синие точки представляют собой массив точек, последовательность которых формирует траекторию движения робота. Координата каждой точки отсчитывается от центра робота и состоит из 6-и компонент. Первые три компонента - это расстояния по 3-м осям в пространстве (x y z), а вторые три компонента это углы поворота по каждой из осей (R_x R_y R_z). Из этих 6-и компонент складывается полное описание положения точки в пространстве. После завершения написания траектории движения данный путь выгружается на внешний носитель информации и посредством шкафа управления загружается в контроллер робота. Точки

траектории движения будут расставлены в соответствии с системой отсчёта указанной как ось объекта, рисунок 58.

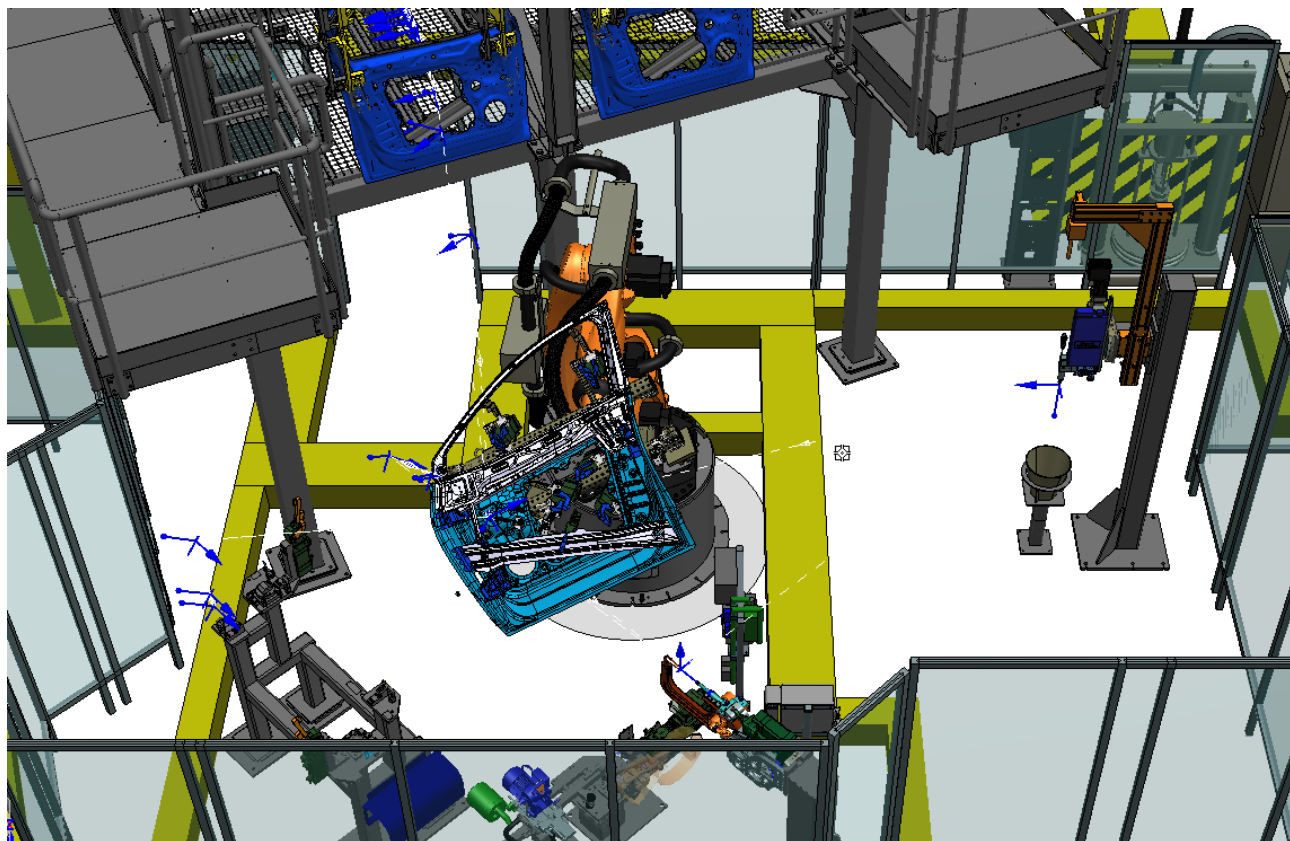


Рисунок 58 – Положение траектории движения робота в пространстве

Для того, чтобы при настройке робота в цеху программист мог понять какие действия должны быть выполнены на конкретном шаге выполнения операций, необходимо добавить команды офлайн программирования. Команды офлайн программирования описывают все движения задействованных в процессе сборки единиц оборудования. Например, открытие/закрытие клампов захватного устройства; закрытие сварочных клещей, когда робот выйдет на позицию сварки; инициализация запуска программы; обработка и формирование прерываний для разблокировки зон совместного использования. Для удобства программирования траектория нанесения клея была выведена в отдельную процедуру основного цикла.

Аналогичным образом формируются и прописываются сервисные траектории движения робота. В конечном счёте для робота было сформировано 8 путей, включающих:

- основной цикл;
- процедура основного цикла (нанесение клея);
- калибровка осей робота;
- позиция обслуживания захватного устройства;
- позиция калибрования сварочного пистолета;
- позиция калибрования клеевого пистолета;
- позиция калибрования захватного устройства;
- позиция показа клеевого шва и механического удаления клея.

В результате программирования и настройки промышленного робота получены траектории движения для основного цикла, обслуживающих операций и калибровочных операций. Были запрограммированы настройки движения робота для повышения точности движения в процессе позиционирования. Указана база для фиксации системы координат траектории движения, это позволяет загрузить данные в управляющий контроллер промышленного робота на производстве без необходимости программирования на месте.

На основании основного цикла получен видео материал, показывающий работу сборочного участка в соответствии с рабочим циклом.

Заключение

В результате разработки компьютерной модели роботизированного участка цеха сделаны следующие выводы:

- расчёт усилия прижимных механизмов для захватного устройства позволяет надёжно зафиксировать автодеталь без сдвигов;
- расчётные данные по нагрузке на промышленного робота со стороны захватного устройства, позволили определить тип и модель робота способного выдержать и динамическую и статическую нагрузку;
- проведённый анализ типа и геометрии сварочного пистолета гарантирует возможность сварки автодетали в указанных точках автодетали без столкновений и с требуемым усилием прижима;
- тип и высота консоли, полученные в ходе проектирования, для промышленного робота и сварочного пистолета, обеспечивают достижимость робота и оптимальные углы осей робота как в процессе движения, так и в процессе сварки или нанесения клеевых швов;
- применение указанного типа и модели калибровочных инструментов, а также их расположение позволяет провести быструю и точную калибровку не только рабочего инструмента, но и позиционирующих станций;
- разработан концепт безопасности, гарантирующий сохранность жизни и здоровья обслуживающего персонала.
- разработана управляющая программа для промышленного робота, позволяющая организовать работы рабочего участка в соответствии с циклограммой.
- разработаны управляющие программы для функционирования основного и дополнительного оборудования, включающего захватное устройство, переключательную станцию, устройство заточки сварочного пистолета, конвейер, подача клея в клеевой пистолет.

Список используемых источников

1. Белов М.П. Технические средства автоматизации и управления / М.П. Белов. - С-Пб.: Северо-западный государственный заочный технический университет, 2006. - 184 с.
2. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. - М.: КолоС, 2005. - 344 с.
3. Брюханов В.Н. Автоматизация производства. / В.Н. Брюханов. — М.: Высшая школа, 2016. — 367 с.
4. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. - М.: Горячая линия - Телеком, 2009. - 608 с.
5. ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения». - М.: Стандартиформ, 2009. - 15 с.
6. 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.
7. 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.
8. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. — М.: Форум, 2016. — 224 с.
9. 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.
10. Капустин, Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. 2-е изд., стер. / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов. — М.: Высшая школа, 2017. — 415 с.
11. Клюев, А.С. Автоматизация настройки систем управления / А.С. Клюев, В.Я. Ротач, В.Ф. Кузищин. — М.: Альянс, 2015. — 272 с.

12. Кукуй, Д.М. Автоматизация литейного производства / Д.М. Кукуй, В.Ф. Одинокко. — Минск: Новое знание, 2018. — 240 с.
13. Латышенко, К.П. Автоматизация измерений, испытаний и контроля / К.П. Латышенко. — М.: МГУИЭ, 2016. — 312 с.
14. Мауэргауз, Ю.Е. Автоматизация оперативного планирования в машиностроительном производстве / Ю.Е. Мауэргауз. — М.: Экономика, 2017. — 287 с.
15. Новиков Ю.В. Основы микропроцессорной техники / Ю.В. Новиков, П.К. Скоробогатов. - М.: Интернет-Университет информационных технологий; БИНОМ Лаборатория знаний, 2009. - 357 с.
16. 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.
17. Овчинников В.В. Плакаты: Оборудование, механизация и автоматизация сварочных процессов / В.В. Овчинников. - М.: Academia, 2017. - 256 с.
18. 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.
19. 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.
20. Селевцов, Л.И. Автоматизация технологических процессов. Издание 3-е / Л.И. Селевцов, А.Л. Селевцов. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. — 352 с.
21. 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.

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

23. 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.

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

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

26. Jazar R.N. Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control // Springer, 2007.693 pp.

27. 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.

28. Low K.H.(ed.) Industrial Robotics. Programming, Simulation and Applications // First published February 2007. Printed in Croatia 700 pp. ISBN 3-86611-286-6.

29. Murray R.M. A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation / Murray R.M., Li Z., Sastry S. // CRC Press, 1st edition, 1994, 480 pp.

30. 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