

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

05.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Методика измерения сопротивления участка цепи электрод-  
электрод при КС алюминиевого сплава»

Студент	<u>М.Б. Петрушин</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>А.В. Скрипачев</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>В.Г. Виткалов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>И.В. Краснопевцева</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>А.Н. Москалюк</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор, В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

## АННОТАЦИЯ

Работоспособность точечных соединений зависит от фактического размера зоны взаимного расплавления (диаметра и величины противления ядра точки), а также от их механических и коррозионных характеристик. Качество соединений, выполняемых контактной сваркой, определяется стабильной бездефектной зоной взаимного расплавления деталей всех точечных соединений сборочной единицы.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение стабильности качества контактной точечной сварки алюминиевых сплавов за счёт исследований межэлектродного сопротивления и выработки на их основе технологических рекомендаций.

В работе сформулированы и решены следующие задачи: 1) разработка методики экспериментального определения динамического сопротивления при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов; 2) разработка методики определения динамического сопротивления при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов; 3) произвести оценку безопасности и экологичности предлагаемых технических решений; 4) выполнить экономическое обоснование предлагаемых технических решений.

В ходе выполнения экологического раздела было произведено выявление опасных и вредных производственных факторов, появление которых возможно при проведении исследований. Проведён анализ возможности и мер по устранению и уменьшению опасных и вредных производственных факторов.

Экономические расчёты позволили установить, что для проведения полноценных исследований потребуется 482 тысячи рублей, что заставляет обратиться к руководству вуза с просьбой о заключении договора с ПАО «АВТОВАЗ» на научно-исследовательские работы.

Пояснительная записка состоит из 55 страниц, включает 20 библиографических наименований, 12 рисунков, 27 таблиц. Графическая часть состоит из 7 листов формата А1.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	
1.1 Описание детали	8
1.2 Сведения о материале изделия и обоснование замены материала для изготовления деталей автомобиля	10
1.3 Операции базового технологического процесса сварки	12
1.4 Анализ содержания источников научно-технической информации	15
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	17
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И РАСЧЁТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ УЧАСТКА ЭЛЕКТРОД-ЭЛЕКТРОД ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ	
2.1 Экспериментальное определение сопротивления участка «электрод-электрод» при контактной сварке	19
2.2 Пневматическая схема устройства сжатия	22
2.3 Электрическая схема устройства сжатия	28
2.4 Методика расчётного определения сопротивления участка «электрод-электрод»	30
3 ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	
3.1 Технологическая характеристика объекта	33
3.2 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта	35
3.3 Экологическая безопасность технологического объекта	38
3.4 Заключение по экологическому разделу	38

4 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЁННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
4.1 Расчёт трудоемкости каждого этапа научно-исследовательских работ	39
4.2 Расчётное определение текущих, капитальных и общих затрат	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	53

## ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние технологии контактной точечной сварки дает возможность расширения области ее применения с получением более высоких количественных и качественных результатов. Это обусловлено широкой номенклатурой сварочных машин с разнообразными техническими характеристиками и конструктивным исполнением, различными электродными материалами, отличающимися своими физическими свойствами и особенностями применения. Современные системы управления для машин контактной точечной сварки позволяют реализовывать сложные циклограммы нагрева металла и приложения усилия сжатия электродов, стабилизировать различные параметры процесса, осуществлять их взаимный контроль и оценку качества сварных соединений. Однако полноценное использование имеющихся возможностей связано с необходимостью обработки больших объемов технической информации и умением эффективно ею пользоваться. Это является непростой задачей, так как требуемые знания находятся на стыке различных областей науки и техники.

Так, например, для настройки современного регулятора для контактной точечной сварки необходимо задать до 20 и более параметров, описывающих режим сварки, алгоритмы стабилизации параметров процесса в реальном времени, контроля качества сварного соединения, компенсации износа электродов.

Работоспособность точечных соединений зависит от фактического размера зоны взаимного расплавления (диаметра и величины противления ядра точки), а также от их механических и коррозионных характеристик. Качество соединений, выполняемых контактной сваркой, определяется стабильной бездефектной зоной взаимного расплавления деталей всех точечных соединений сборочной единицы.

Наиболее опасный дефект, характеризующийся недостаточным диаметром и величины проплавления ядра точки и даже полным их отсутствием, является «непровар». Основными конструкционными

материалами для этих ответственных крупногабаритных изделий являются алюминиевые, магниевые, титановые сплавы и высокопрочные стали, а также металлокомпозиционные материалы. Наиболее часто встречаются сочетания толщин: (0,5...2,5)+(1,5...5) мм. До настоящего времени не были сформулированы технологические основы точечной сварки крупногабаритных сборочных единиц ответственного назначения из алюминиевых сплавов с обеспечением заданного уровня свойств, их стабильности и воспроизводимости.

Поэтому работы по изучению свариваемости и работоспособности перспективных конструкционных материалов, по совершенствованию технологии и средств контроля можно определить как важнейшие задачи современного производства изделий отрасли с применением точечной сварки.

Основным показателем качества сварных соединений при контактной точечной сварке является прочность выполняемых точек. Этот показатель может значительно снизиться, при действии различного рода возмущений на сварочную машину и зону сварки. Даже в случае относительно малого значения каждого отдельного возмущения при их одновременном действии на процесс контактной сварки возможен случай их неблагоприятного сочетания, что может вызвать значительную вариабельность прочностных характеристик сварной точки. Это и есть причина периодического появления дефектных соединений даже при условии строгого соблюдения технологии сварки. Как следствие, для повышения надежности и прочности конструкции количество точек на кузове автомобиля устанавливается примерно на 30% больше, чем было бы необходимо при их гарантированном качестве.

Подтверждение соответствия хода технологического процесса заданным параметрам осуществляют, как правило, путем мониторинга параметров режима или состояния оборудования.

Однако такой подход позволяет контролировать только стабильность затраченной энергии (или удельной энергии) при образовании называемого

соединения и имеет существенные недостатки. Во-первых, поскольку каждый из параметров режима задается с определенными допусками, то возможно такое неблагоприятное сочетание параметров режима в пределах допусков, при котором вероятно возникновение дефекта. Во-вторых, контроль соответствия энергетических и кинематических параметров режима заданным значениям не позволяет определить особенности хода процесса образования соединения, который может быть нарушен технологическими возмущениями.

Известные системы мониторинга технологического процесса контактной точечной сварки, основанные на оценке энергетических параметров режима, требуют измерения как сварочного тока, так и напряжения, что существенно усложняет систему измерений.

**Цель выпускной квалификационной работы** – повышение стабильности качества контактной точечной сварки алюминиевых сплавов за счёт исследований межэлектродного сопротивления и выработки на их основе технологических рекомендаций.

# 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

## 1.1 Описание детали

Балка крыши задняя в сборе автомобиля ВАЗ 2123 (рис. 1.1, 1.2) предназначена для создания силового каркаса автомобиля, крепления обивки крыши, а также обеспечения жесткости панели крыши при опрокидывании автомобиля и снеговых нагрузках. Изделие в кузове приварено к боковинам. В поперечном сечении изделие имеет коробчатую форму и состоит из следующих деталей:

- балка крыши задняя верхняя (деталь 2123-57011128);
- балка крыши задняя нижняя (деталь 2123-57011122).

Общая длина изделия составляет порядка 1000 мм.

Соединение деталей происходит путём простановки 31 сварной точки по ГОСТ 15878-79.

Изделие эксплуатируют в условиях при действия температур -40...+40° °С. На изделие возможно действие статических и динамических нагрузок, возникающих при движении автомобиля и стоянке автомобиля. В зависимости от типа дороги возможно действие на изделие вибрационной нагрузки. Обеспечивая пассивную безопасность при аварии автомобиля (фронтальный и боковой удары) изделие осуществляет защиту салона от деформации и проникновения в салон предметов. Кроме того, в случае опрокидывания автомобиля поперечина крыши в сборе должна обеспечить сохранение жизненного пространства внутри автомобиля. Следует отметить, что данная деталь не является лицевой.

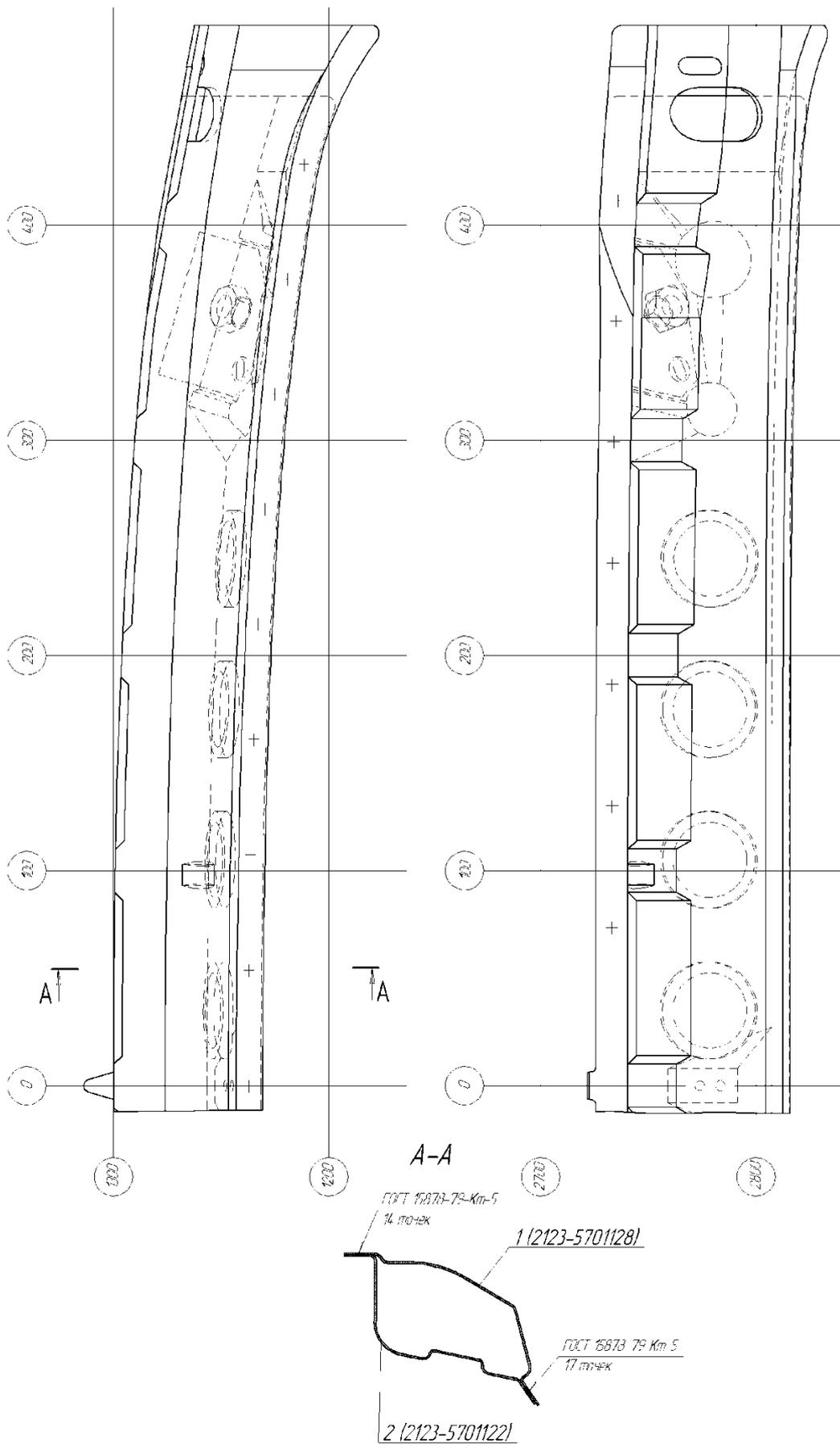


Рисунок 1.1 – Балка крыши задняя в сборе ВАЗ 2123

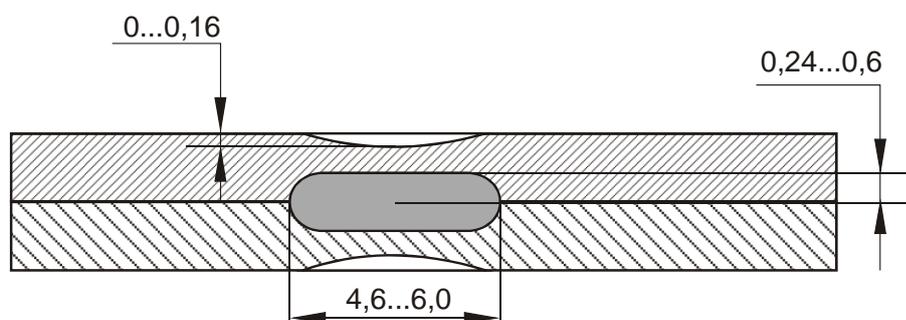


Рисунок 1.2 – Технические условия на геометрические размеры сварной точки согласно ГОСТ 15878-79 (толщина металла 0,9+0,9 мм)

## 1.2 Сведения о материале изделия и обоснование замены материала для изготовления деталей автомобиля

Для изготовления листовых заготовок, выполняемых методом холодной штамповки, используется сталь 08Ю, которая является конструкционной углеродистой качественной. Сталь 08Ю имеет химический состав, представленный в табл. 2.1, и механические свойства, представленные в табл. 2.2. Сварка стали 08Ю производится без ограничений, сталь не имеет склонности к образованию закалочных структур.

Таблица 1.1 – Химический состав стали 08Ю

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Al	Cu
до 0.07	до 0.01	0.2 - 0.35	до 0.06	до 0.025	до 0.02	до 0.03	0.02 - 0.07	до 0.06

Таблица 1.2 – Механические свойства при T=20°C материала 08Ю

Сортамент	предел кратковременной прочности	предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации)	относительное удлинение при разрыве
	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta_5$
	МПа	МПа	%
Лист термообработанный	255-350	205	34

Как показывает практика, расход топлива во многом определяется массой автомобиля. По расчётам исследователей установлено, что при снижении веса автомобиля на 100 кг может происходить экономия до 700 литров бензина на 100 тыс. км. Поэтому автопроизводителями уделяется большое внимание замене деталей из стали легкими деталями из алюминия, что снижает общий вес автомобиля. Новые прочные алюминиевые сплавы способны обеспечить полную замену стали, которая традиционно используется при изготовлении кузова автомобиля. Уже в 1994 году инженерами автоконцерна Audi была представлена модель автомобиля A8, кузов которого вместо стали полностью выполнен из алюминиевых сплавов. Применительно к представленной модели выигрыш в весе составил 239 кг.

Для изготовления кузова автомобиля применим сплав АМг6М, имеющий химический состав (табл. 1.3), который позволяет получить хорошую свариваемость и коррозионную стойкость.

Таблица 1.3 – Химический состав сплава АМг6М, %

Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti
Основа	до 0,1	5,8 – 6,8	0,5 – 0,8	< 0,4	< 0,4	< 0,2	0,02 – 0,1

Тщательная подготовка деталей из алюминиевых сплавов к точечной и роликовой сварке является одним из основных факторов, обеспечивающих надлежащее качество сварки и стабильную прочность сварных соединений.

Качество подготовки поверхности деталей для сварки характеризуется отсутствием или незначительным наличием на поверхности деталей пленки окиси алюминия. Объективным показателем качества поверхности деталей является величина их полного контактного сопротивления при определенных условиях измерения.

Подготовку поверхностей деталей производят после окончательной обработки и пригонки деталей, образующих свариваемый узел.

Подготовка поверхности должна обеспечить сварку не менее 100...200 точек без зачистки электродов при разбросе показателей прочности не более  $\pm 10\%$  для 80% сварных точек и не более  $\pm 20\%$  среднего значения прочности для всех сваренных точек. Выполнение этих требований должно быть обеспечено и в случае, когда сварка производится через 3...5 суток после подготовки поверхности. Кроме того, при химической очистке должен обеспечиваться достаточно широкий диапазон времени выдержки обрабатываемых деталей в травящем растворе для компенсации колебаний концентрации и температуры раствора, а также неравномерности толщины окисных пленок. Величина контактного сопротивления должна сохраняться постоянной в течение заданного времени при установленных условиях измерений.

Допустимый срок хранения деталей после подготовки их поверхности к сварке составляет 5 суток. При хранении подготовленных к сварке деталей более одной рабочей смены их следует закрывать чистой бумагой или клеенкой. Если подготовленные к сварке детали хранились более 5 суток, то перед сваркой следует проверить величину их контактного сопротивления; если детали сохранили величину контактного сопротивления не более 120 мкОм, их можно сваривать. В противном случае необходимо снова подготовить их поверхности под сварку.

### 1.3 Операции базового технологического процесса сварки

Производят перемещение заготовок со склада на сварочный участок. Заготовки помещают в обратную тару, откуда сварщик предварительно производит перемещение заготовок на участок для сборки и сварки. На участке сварки осуществляется укладка заготовок в ячейки приспособления, находящиеся на первом poste многоэлектродной сварочной машины. После выполнения подготовительных операций сварщик берет из соответствующих ячеек приспособления: балку крыши верхнюю (2123-

57011128) и укладывает ее в ложементы первого поста. Затем берет из оснастки балку крыши нижнюю (деталь 2123-57011122) и укладывает его в ложементы нижней оснастки первого поста машины.

Собираемые узлы фиксируется пневмоприжимами автоматически. Производится сварка собранных изделий на первом посту. Машина поднимает нижнюю оснастку в зону сварки, происходит сжатие pistolsетов и клещей и сварка 13 точек. Сила тока при сварке принимается 9,0...9,5 кА, время импульса прохождения сварочного тока 0,10...0,12 секунды, давление сжатия 2,7...3,0 кН. По окончании сварки 13-ти точек, pistolsеты разжимаются, стол со сварочной оснасткой опускается, пневмоприжимы отпускают деталь, она перемещается на второй сварочный пост. На втором посту происходит сварка 6 точек, на третьем посту происходит сварка 12 точек. По склизу готовые изделия попадают в оборотную тару, и по наполнении тары электропогрузчик увозит ее на последующие технологические операции.

Один процент изделий проходит контроль работником бюро технического контроля цеха. Изделие, подлежащее контролю, размещают в специальный кондуктор и проверяют его геометрию. После этого производят контроль сварных точек на разрушение. Если изделие прошло контроль, проводят его соответствующую рихтовку, далее изделие запускают в производственный цикл. Если изделие не прошло контроль качества, его бракуют, а партию сваренных после предыдущего контроля деталей следует подвергать дополнительному контролю. Обнаруженный брак следует изолировать. Проведение визуального контроля сварных точек и геометрии проводится на 100% изделий.

Участок сборки-сварки стойки балки крыши задней расположен в 24 корпусе главного корпуса ПАО АвтоВАЗ, между 2-ой и 3-ей вставкой, в осях колонн 86/44, 88/44. Территория участка с двух сторон ограничена внутрицеховым проездом. С двух других сторон участка располагается

оборудование для сварки мелких узлов кузова автомобиля ВАЗ 21099, 2110, 2123. Это преимущественно оборудование для контактной точечной сварки.

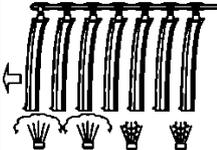
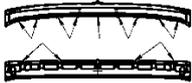
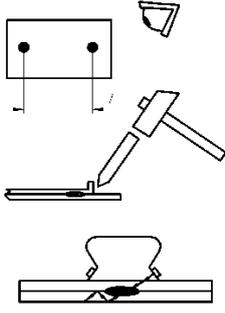
Наименование операции	Содержание перехода и режим обработки	Эскиз операции	Оборудование, приспособление, инструмент	Вспомогательные и расходные материалы
1. Подготовка деталей к сварке	1.1 Промывка T воды 80 град Цельсия время - 1 мин 1.2 Сушка T воздуха 150-200 град время - 1 мин		1 Камера помывочная 2 Камера сушильная	1 1. 15% р-р кальцинированной соды 1.2 Воздух сжатый
2. Загрузка деталей в приемные магазины МТМ	2.1 Взять из тары обратной 100 балок крыши задней верхней 2123-57011128 и уложить в ячейки приемного магазина МТМ 2.2 Взять из тары обратной 100 балок крыши задней нижней 2123-57011122 и уложить в ячейки приемного магазина МТМ 2.3 Нажать кнопку "пуск" двуручного включения 2.4 Рабочее давление в системе подачи 0,5-0,6 МПа	2123-57011128  2123-57011122 	2.1 Тара обратная 2.2 Ложечки приемных магазинов МТМ	2.1 Рукавицы 2.2 Сжатый воздух
3. Сварка (1)	3.1 Автоматическая сварка 13 точек по заданной циклограмме, 3.2 $t_{св} - 9,0$ 9,5 кА, $t_{сб} - 0,10$ 0,12 сек, $F_{сб} - 2,7$ 3,0 кН		3.1 Сварочная оснастка поста №1 (13 клещей)	3.1 Электроды 3.2 Вода техническая 3.3 Воздух сжатый
4. Сварка (2)	4.1 Автоматическая сварка 6 точек по заданной циклограмме, 4.2 $t_{св} - 9,0$ 9,5 кА, $t_{сб} - 0,10$ 0,12 сек, $F_{сб} - 2,7$ 3,0 кН		4.1 Сварочная оснастка поста №2 (6 клещей)	4.1 Электроды 4.2 Вода техническая 4.3 Воздух сжатый
5. Сварка (3)	5.1 Автоматическая сварка 12 точек по заданной циклограмме, 5.2 $t_{св} - 9,0$ 9,5 кА, $t_{сб} - 0,10$ 0,12 сек, $F_{сб} - 2,7$ 3,0 кН		5.1 Сварочная оснастка поста №1 (12 клещей)	5.1 Электроды 5.2 Вода техническая 5.3 Воздух сжатый
6. Контроль качества	6.1 Визуальный контроль качества сварного соединения 100% наличие теплого следа сварных точек, глубина вмятины не более 0,15 мм 6.2 Разрушающий контроль качества 0,1% от партии разрушение должно происходить по основному металлу, разрыв сварных точек не допускается 6.3 Проверка геометрии изделия 1% от партии (отклонения от базовых поверхностей калибра не более 0,5 мм 6.4 Ультразвуковой контроль качества 5% от партии соответствие сигнала акустической эмиссии заданному		6.1 Контрольное приспособление 6.2 Зубило 6.3 Молоток слесарный 6.4 Щуп точностью 0,01 мм 6.5 Дефектоскоп ЧЗД-7Н	6.1 Рукавицы 6.2 Ветошь техническая

Рисунок 1.2 - Технологический процесс сборки и сварки балки крыши задней автомобиля ВАЗ 2123

Вдоль внутрицеховых проездов, ограничивающих с двух сторон участок располагается обратная тара, для мелких деталей кузова. Готовые

изделия разгружаются в обратную тару, установленную у разгрузчика типа «склиз». Тара транспортируется на участок и изымается с участка электропогрузчиками. Для удобства работы оператора МТМ детали балки из обратной тары наибольшими партиями перегружаются в оснастку, расположенную у загрузочного поста МТМ.

#### 1.4 Анализ содержания источников научно-технической информации

Поиск информации проводили в сети ИНТЕРНЕТ с применением поисковика GOOGLE и использованием ключевых слов «контактная сварка», «динамическое сопротивление», «журнал Автоматическая сварка», «журнал Сварочное производство», «диссертация», «статья», «исследование».

В **первой** работе [1] рассмотрены существующие способы стабилизации тепловыделения при контактной сварке, реализуемые в тиристорных источниках питания, достоинства и недостатки последних. Разработана система управления преобразователем, осуществляющая контроль энергии, выделяемой в сварочном контакте, причем электрические измерения проводятся только в первичной цепи трансформатора контактной машины. При этом учитываются реальные параметры трансформатора и сварочной цепи. Предложенная система позволяет обеспечить управление сварочным током, избежать влияния отклонений и колебаний питающего напряжения, изменения полного сопротивления сварочной цепи, вызванного внесением ферромагнитных масс в нее, изменения температуры во время сварочного процесса, и тем самым улучшить качество сварных соединений.

Результаты этой работы будут использованы при анализе состояния вопроса.

Во **второй** работе [2] рассмотрены вопросы измерения тока при контактной точечной и роликовой сварки, на основании проведенных экспериментов предложено измерять максимальное действующее значение тока в процессе сварки.

Результаты этой работы будут использованы при анализе состояния вопроса.

**В третьей** работе [3] предложен способ управления процессом контактной точечной сварки деталей малых толщин и сечений, который позволяет управлять током и длительностью подогревного импульса, стабилизировать сопротивление между электродами перед сварочным импульсом тока независимо от начального сопротивления деталей, а также компенсировать влияние разброса значений толщины свариваемых деталей на качество сварки.

Результаты этой работы будут использованы при составлении анализа состояния вопроса, и частично войдёт в основную часть выпускной квалификационной работы, так как авторами как раз производится определение сопротивления участка «электрод-электрод» с использованием предлагается измерения тока и напряжения.

**В четвёртой** работе [4] рассмотрена возможность создания однофакторной системы мониторинга качества сварных точек с использованием механизма вейвлет-преобразований. Показано, что близкие по прочности сварные точки имеют близкие формы детализирующих компонент вейвлет. Осуществление мониторинга технологического процесса сварки требует одновременного анализа всех детализирующих компонент вейвлет-разложения.

Результаты этой работы будут использованы при анализе состояния вопроса.

**В пятой** работе [5] предложены технологические рекомендации по точечной сварке алюминиевых и титановых сплавов, подвергаемых рентгеновскому контролю, включающие технологию нанесения РКМ на поверхность свариваемых деталей методом плазменного напыления, требования по условиям хранения и подготовки деталей под сварку, параметры режимов сварки. Разработан новый способ нанесения РКМ на

поверхность деталей летательных аппаратов и определены оптимальные величины параметров режима напыления.

Результаты этой работы будут использованы в выпускной квалификационной работе при обосновании актуальности тематики исследования.

### 1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В работе поставлена цель - повышение стабильности качества контактной точечной сварки алюминиевых сплавов за счёт исследований межэлектродного сопротивления и выработки на их основе технологических рекомендаций. При анализе состояния вопроса была рассмотрена типовая деталь кузова легкового автомобиля и технология её изготовления в случае использования стали 08Ю. Обоснована замена стали 08Ю на алюминиевый сплав АМгбМ. Такая замена материала повлечёт за собой глобальное изменение полностью технологии сварки и замену сварочного оборудования, что в данной выпускной квалификационной работе рассмотреть не представляется возможным.

Практически все параметры режима, кроме временных интервалов, могут меняться во время технологического процесса изготовления изделия. Течение процесса сварки нарушается как из-за нестабильности напряжения питающей сети, так и из-за изменения импеданса сварочного контура машины и изменения плотности сварочного тока, протекающего через свариваемую точку. Изменение импеданса обусловлено как внесением в контур ферромагнитных масс в процессе сварки конструкции, так и нестабильностью усилия сжатия электродов, геометрических размеров рабочей поверхности электродов из-за износа, толщины и качества подготовки поверхностей свариваемых деталей. В некоторых случаях

возможно также нарушение условий формирования сварной точки из-за шунтирования сварочного тока ранее сваренными точками.

Мониторинг процесса по параметрам режима, поддающихся измерению, имеет ограниченные возможности прогнозирования качества сварного соединения, поскольку не позволяет выявить наличие таких опасных возмущений, как шунтирование сварочного тока раньше сварными точками и изменение геометрии электродов.

В рамках данной выпускной квалификационной работы предусмотрим разработку мероприятий по повышению качества сварки, основанные на измерении динамического сопротивления участка «электрод-электрод».

Таким образом, сформулируем задачи работы:

- 1) разработка методики экспериментального определения динамического сопротивления при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов;
- 2) разработка методики определения динамического сопротивления при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов;
- 3) произвести оценку безопасности и экологичности предлагаемых технических решений;
- 4) выполнить экономическое обоснование предлагаемых технических решений.

## 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И РАСЧЁТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ УЧАСТКА ЭЛЕКТРОД-ЭЛЕКТРОД ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ

### 2.1 Экспериментальное определение сопротивления участка «электрод-электрод» при контактной сварке

Исследованиями и производственным опытом установлено, что достаточно объективной характеристикой качества подготовки поверхности деталей под контактную точечную сварку является контактное сопротивление между деталями и электродами. Для измерения этого сопротивления детали или контрольные образцы совмещают, как при сварке, зажимают между электродами с определённым усилием и измеряют сопротивление участка электрод-электрод.

Измерения  $R_{э,э}$  выполняются при помощи микроомметра Ф4104-М1, (рис. 2.1.). Работа микроомметра Ф4104-М1 предполагает пропускание через измеряемое сопротивление оперативного тока заданной величины и измерение падения напряжения на измеряемом сопротивлении. В случае измерения в диапазоне 0...100 мкОм, 0...1 мОм, 0...10 мОм, 0...100 мОм, 0...1 Ом и 0...10 Ом оперативным током является стабилизированный по амплитуде одиночный импульс, в остальных случаях используют постоянный ток стабилизированного значения.

Таблица 2.1 - Характеристики точности измерений с использованием микроомметра Ф4104-М1

Диапазон измерения	0...100 мкОм	0...1 мОм	0...10 мОм	0...100 мОм	0...1 Ом
Класс точности	4,0	2,5	2,5	2,5	2,5



Рисунок 2.1 – Внешний вид микроомметра Ф4104-М1

Устройство для измерения сопротивления  $R_{э-э}$  (рис. 2.2) представляет собой жёсткое основание, собираемое на болтовой сборке из двух частей, выполненных из швеллера № 8 (поз. 1 и 2). На него крепится упор для пневмоцилиндра (поз. 3). Работой пневмоцилиндра управляет пневматическая схема, включающая в себя пневмораспределитель (поз. 4), маслораспылитель (поз. 5), редукционный клапан (поз. 6), фильтр-влагоотделитель (поз. 8) и вентиль проходной (поз. 9). Пневмоцилиндр приводит в движение верхнюю электродную плиту (поз. 11), которая прижимается к нижней с усилием, зависящим от установленного давления воздуха. На корпусе устройства размещается так же электрическая розетка на 220 В, в которую может быть подключено измерительное оборудование.

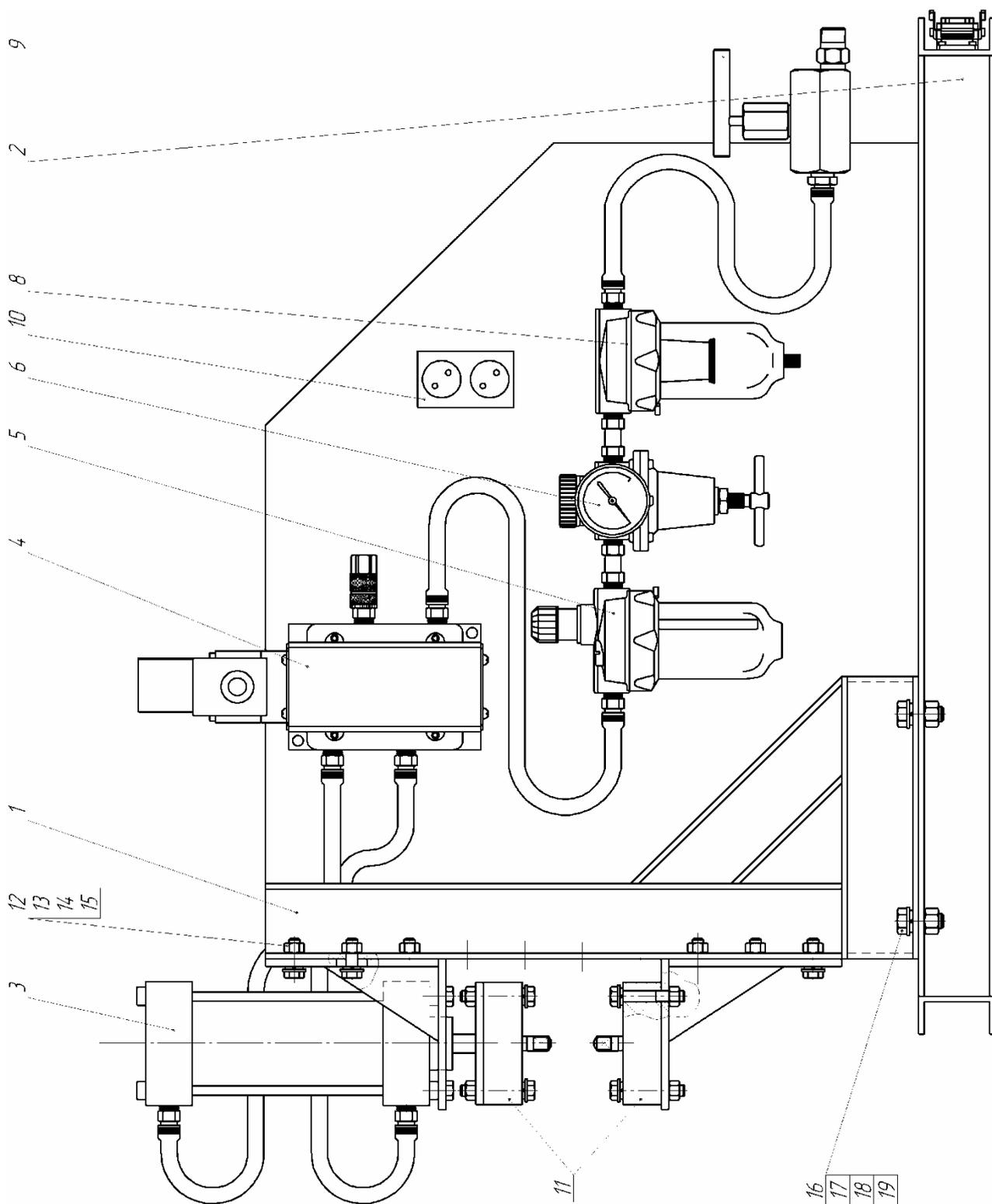


Рисунок 2.2. Устройство для измерения сопротивления  $R_{3-3}$

## 2.2 Пневматическая схема устройства сжатия

Принципиальная схема пневматического привода сжатия (рис. 2.3) включает в себя пневмоцилиндр ПЦ1, дросселирующие клапаны ПД1, ПД2, пневмораспределитель ПР1, глушитель Г1, вентиль запорный В1, блок подготовки воздуха ПБ1, маслораспылитель М1, воздухосборный ресивер Р1.

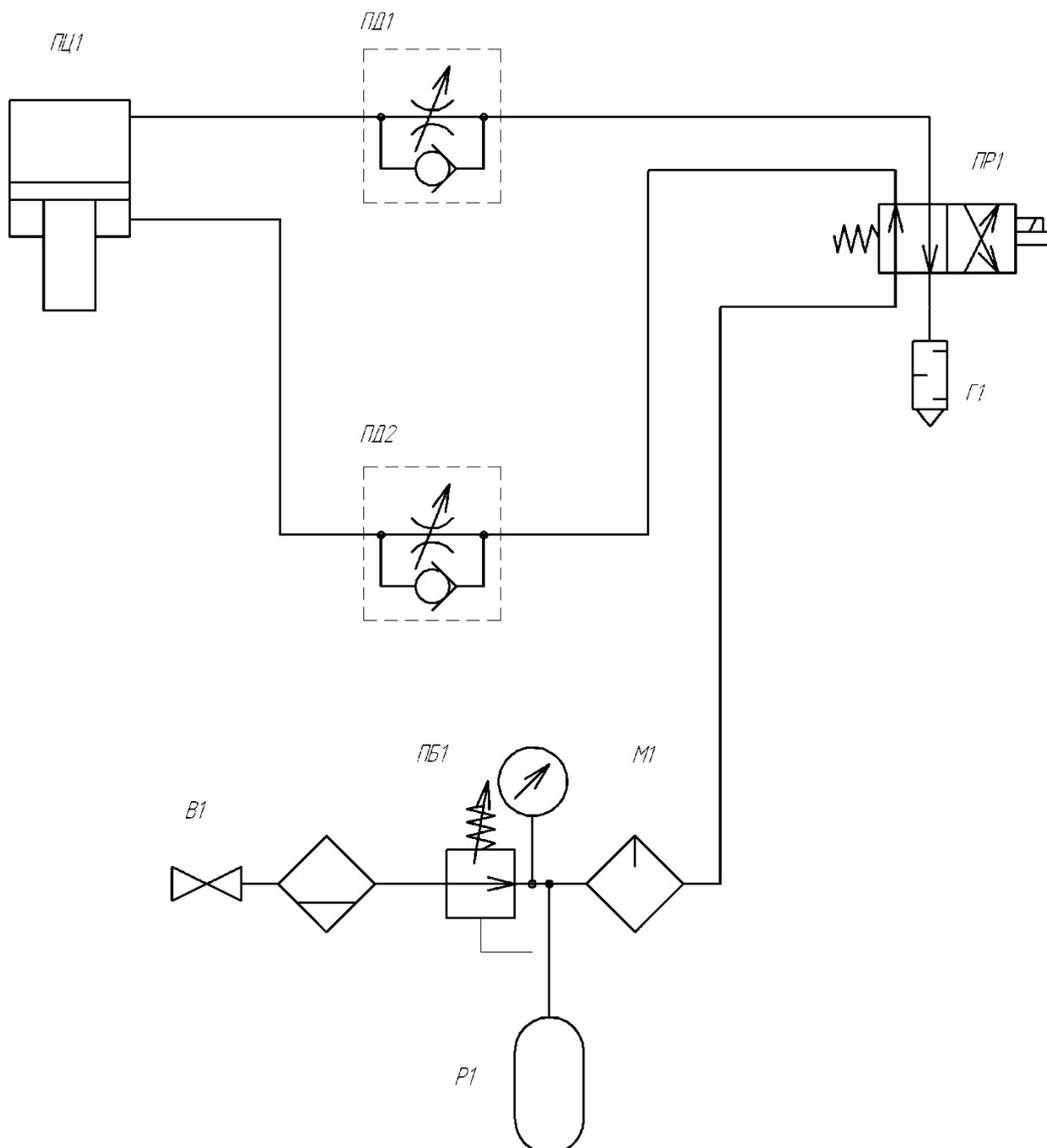


Рисунок 2.3 – Пневматическая схема привода сжатия

В качестве привода сжатия применяется пневматический двухкамерный цилиндр. Пневмоцилиндры типа ПЦ (рис. 2.4 а) предназначены для пневмосистем производственного оборудования, технологической оснастки и наземного транспорта. Цилиндры ПЦ являются аналогами цилиндров DNGS (FESTO), 26,39 (CAMOZZI) и цилиндров фирмы «ОБЕРОН». Могут выпускаться диаметром 32, 40, 50, 63, 80 и 100 мм, имеют ход поршня от 25 до 1000 мм. Цилиндры являются поршневыми двустороннего действия, имеют регулируемое демпфирование в конечных положениях. Имеется возможность установки магнитного кольца на поршне, что позволяет проводить бесконтактное определение положения поршня с использованием герконовых датчиков. Цилиндры предназначены для работы с использованием сжатого воздуха, очищенного не грубее 10 класса загрязненности по ГОСТ 17433-80. Максимальное рабочее давление 1,0 МПа. Климатические исполнения УХЛ и О, категории размещения 4 по ГОСТ 15150-69, исполнения О для стран с тропическим климатом и исполнение УХЛ, категории размещения 2 с рабочим значением температуры воздуха при эксплуатации от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .

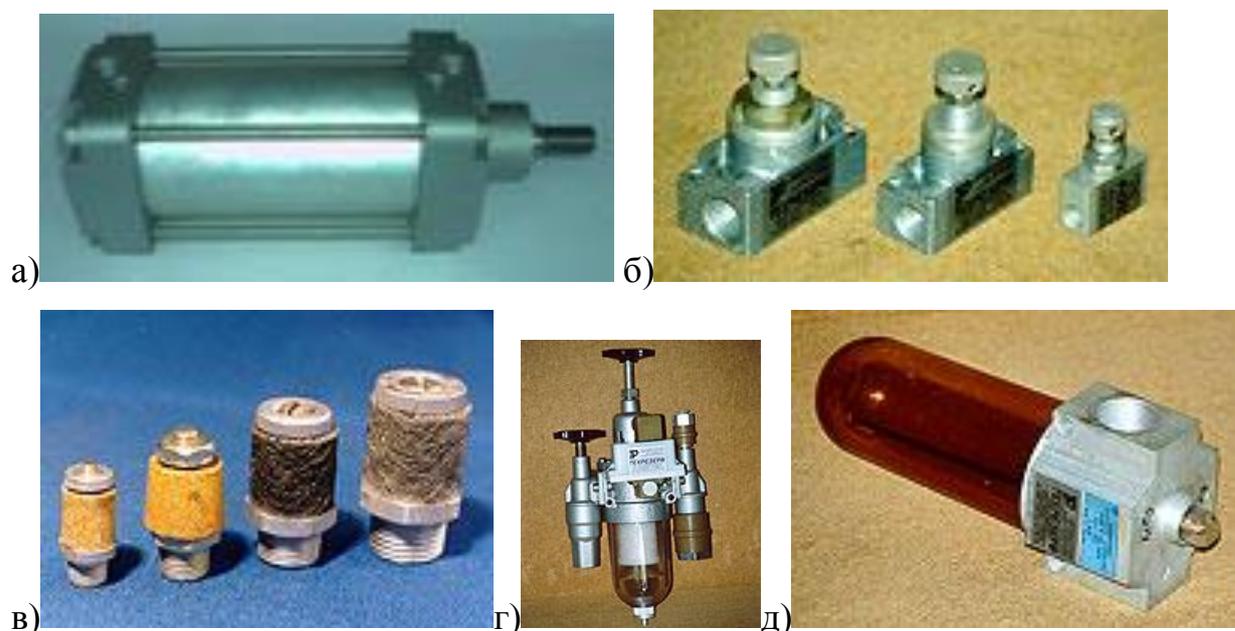


Рисунок 2.4 – Элементы пневматического оборудования, используемые для построения привода сжатия проектируемого устройства

В качестве дросселирующих клапанов используются пневмодроссели с обратным клапаном типа П-ДК-16-2 (рис. 2.4 б). Пневмодроссели с обратным клапаном имеют условный проход 4, 6, 10, 16 и 20 мм. Они осуществляют регулирование расхода сжатого воздуха и обеспечивают свободный проход сжатого воздуха в обратном направлении, применяются в пневматических приводах различного назначения. Пневмодроссели предназначены для работы с использованием сжатого воздуха, очищенного не грубее 10 класса загрязненности по ГОСТ 17433-80.

Таблица 2.2– Технические характеристики пневмодросселей с обратным клапаном типа П-ДК

Наименование параметра	Типоразмеры				
	П-ДК-4-1 П-ДК-4-2	П-ДК-6-1 П-ДК-6-2	П-ДК-10-1 П-ДК-10-2	П-ДК-16-1 П-ДК-16-2	П-ДК-20-1 П-ДК-20-2
1. Условный проход, мм	4	6	10	16	20
2. Номинальное давление, МПа	1,0				
3. Диапазон рабочих давлений, МПа	0,1...1,0				
4. Пропускная способность $K_v$ через открытый дроссель при закрытом обратном клапане, $m^3/ч$ , не менее	0,16	0,40	1,0	2,0	3,0
б. Пропускная способность $K_v$ через открытый обратный клапан при закрытом дросселе, $m^3/ч$ , не менее	0,25	0,56	1,5	2,8	4,5
б. Масса, кг	0,06	0,13	0,20	0,27	0,55

В качестве пневматического распределителя используется пневмораспределитель типа В64-34А-03 исполнения УХЛ4. Пневматические распределители четырехлинейные имеют условный проход 10, 16 и 20 мм. Они двухпозиционные, имеют электропневматическое одно- и двухстороннее управление, пружинный или пневматический возврат. Пневматические распределители изменяют потоки сжатого воздуха в пневматических приводах различного назначения. Пневматические предназначены для работы с использованием сжатого воздуха, очищенного

не грубее 10 класса загрязненности по ГОСТ 17433-80, содержащего распыленное масло.

Таблица 2.3 – Основные технические характеристики пневмораспределителей типа В-64

Наименование параметра	Типоразмеры					
	В64-13А-03	В64-14А-03	В64-33А-03	В64-34А-03	В64-15А-03	В64-25А-03
1. Условный проход, мм	10	16	10	16	20	20
2. Номинальное давление, МПа	0.63					
3. Диапазон рабочих давлений, МПа	0,25...1,0					
4. Пропускная способность, Кв, м <sup>3</sup> /ч, не менее	1.9	2.8	1.9	2.8	5.0	5.0
5. Время срабатывания при давлении 0.4МПа, с, не более	0.1				0,2	
6. Номинальное напряжение питания, В - постоянного тока - переменного тока частотой 50Гц - переменного тока частотой 60Гц	12,24,48,110 24,110,220,380 110,220					
7. Номинальная потребляемая мощность, не более - постоянного тока, Вт - переменного тока частотой 50Гц, ВА - переменного тока частотой 60Гц, ВА	7 9 12					
8. Масса, кг, не более	2.0	2.0	1.7	1.7	3.1	2.8

В качестве пневмоглушителя применим тип 2113-16 (рис. 2.4 в). Пневматический глушитель снижает уровень шума при выхлопе из пневматического привода отработанного воздуха в атмосферу. Принцип действия пневматических глушителей основан на снижении энергии звуковых колебаний при прохождении отработанного воздуха через пористый звукопоглощающий элемент (металлокерамический). Пневмоглушители практически не имеют отказов в работе из-за простоты конструкции, по сравнению с пневмоглушителями из пористой керамики и синтетических материалов имеют небольшие габариты и высокую прочность. Пневмоглушители предназначены для работы с использованием сжатого воздуха, очищенного не грубее 10 класса загрязненности по ГОСТ 17433-80. В случае, если существует опасность обмерзания, должен применять сжатый воздух, очищенный не грубее 9 класса загрязненности по ГОСТ 17433-80. Монтаж пневматических глушителей производят в выхлопном отверстии пневматического распределителя или выхлопного коллектора. При этом

глушитель может быть смонтирован в любом пространственном положении. Фильтроэлементы пневматических глушителей подлежат полной регенерации, поскольку при их выполнении используется высокопористый проницаемый металл, имеющий весьма продолжительный срок эксплуатации.

Таблица 2.4 - Основные технические характеристики пневмоглушителей

Наименование параметра	Типоразмеры					
	2113-04	2113-06	2113-10	2113-16	2113-20	2113-25
Условный проход, мм	4	6	10	16	20	25
3. Диапазон рабочих давлений, МПа	0,25...1,0					
Пропускная способность К, м <sup>3</sup> /ч, не менее	0,4	0,8	1,6	4,0	6,3	8,0
Снижение скорректированного по характеристике А уровня звуковой мощности, дБА, не менее	20					
Снижение уровня звуковой мощности в октановых полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне 1-8 кГц, дБА, не менее	10			15		
Полный 90%-ный ресурс, ч (циклов) не менее	8400 (4,2 106)					
Масса, кг, не более	0,009	0,018	0,037	0,063	0,125	0,2
Габаритные размеры, мм	16x27	22x34	28x43	35x57	42x69	47x41
Присоединительная резьба по ГОСТ 6111-52	К 1/8"	К 1/4"	К 3/8"	К 1/2"	К 3/4"	К 1"

В качестве блока подготовки воздуха используем тип П-Б 16.21 (рис. 2.4 г). Пневмоблоки подготовки воздуха предназначены для подготовки сжатого воздуха в пневматических приводах и системах технологического оборудования.

В качестве маслораспылителя применим тип П-М-16-2 (рис. 2.4 д). Маслораспылители с условными проходами 10 и 16 мм П-М предназначены для введения в поток сжатого воздуха распыленного масла с целью смазывания трущихся поверхностей подвижных деталей в пневматических приводах и системах промышленного оборудования. Маслораспылители рассчитаны для работы на сжатом воздухе давлением до 1.0 МПа, очищенном не грубее 10 класса по ГОСТ 17433. Климатическое исполнение УХЛ и О, категория размещения 4 по ГОСТ 15150.

Таблица 2.5 - Основные технические характеристики блоков подготовки воздуха типа П-Б16

Наименование параметра	Нормы для типоразмеров	
	П-Б 16.21	П-Б 16.31 (с маслораспылителем)
Номинальное давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1,0(10)	
Диапазон регулирования давления на выходе блока, МПа ( кгс/см <sup>2</sup> )	0,05-0,9 ( 0,5-9 )	
Степень влагоотделения, %, не менее	92	
Абсолютная тонкость фильтрации, мкм	40	
Диапазон подачи масла при расходе сжатого воздуха, капель/мин, не менее: номинальном минимальном	- -	0,5 - 40 0,5 - 15
Диапазон настройки давления, МПа	0,14-0,63	
Присоединительная резьба	К 1/2"	
Масса, кг, не более	2,2	2,8

Таблица 2.6 – Основные характеристики маслораспылителей типа П-М

Наименование параметра	Типоразмеры	
	П-М-10-1-... П-М-10-2- ...	П-М-16-1-... П-М-16-2- ...
1. Условный проход, мм	10	16
2. Номинальное давление, МПа	1,0	
3. Расход воздуха при давлении на входе 0,63 МПа, м <sup>3</sup> /мин: максимальный, не менее минимальный, не более	1,25 0,16	2,00 0,16
4. Потеря давления при максимальном расходе воздуха, МПа, не более	0,025	0,035
5. Подача масла, капли/мин: - при минимальном расходе воздуха, не менее - при максимальном расходе: минимальная, не более максимальная, не менее	2  0,5 20	
6. Полезная вместимость резервуара, см <sup>3</sup> , не менее	200	
7. Масса, кг, не более	0,9	

### 2.3 Электрическая схема устройства сжатия

Электрическая схема (рис. 2.5) состоит из двух частей – питания и устройства, соединенные между собой разъёмом X2. Схема питания включает в себя понижающий трансформатор 220/24 В. Схема устройства включает в себя розетку P1, кнопку «Пуск» S1 и кнопку «Стоп» S2, магнитный пускатель K1, выпрямительный мост VD1, катушку управления пневмораспределителем K2. Все элементы схемы подключены через клеммник X1.

Схема работает следующим образом. При включении вводного автомата K3 происходит подача напряжения на первичную обмотку трансформатора T1, при этом через разъём X2 на схему устройства подаётся напряжение 220 В и 24 В с первичной и вторичной обмоток трансформатора T1 соответственно. Через клеммник X1 запитывается электрическая розетка P1. При включении кнопки «Пуск» S1 происходит подача напряжения 24 В на управляющую катушку магнитного реле K1, что приводит к замыканию ключа K1, подключенного параллельно кнопке S1. При этом отпускание кнопки S1 не приводит к отключению от питания катушки K1 реле, так как питание в этом случае осуществляется через ключ K1. Параллельно реле K1 подключен выпрямительный мост VD1, с которого на катушку управления K2 пневмораспределителя поступает постоянное напряжение 24 В, что приводит к включению пневмораспределителя, переходы пневмоцилиндра в режим рабочего хода.

При нажатии на кнопку «Стоп» S2 происходит отключение от питания катушки K1 магнитного реле, что вызывает размыкание ключа K1, и, поскольку кнопка S1 не нажата, катушка K1 отключается от сети, что приводит к прекращению питания выпрямительного моста VD1 и выключению катушки пневмораспределителя. В этом случае пневмоцилиндр совершает обратный ход.

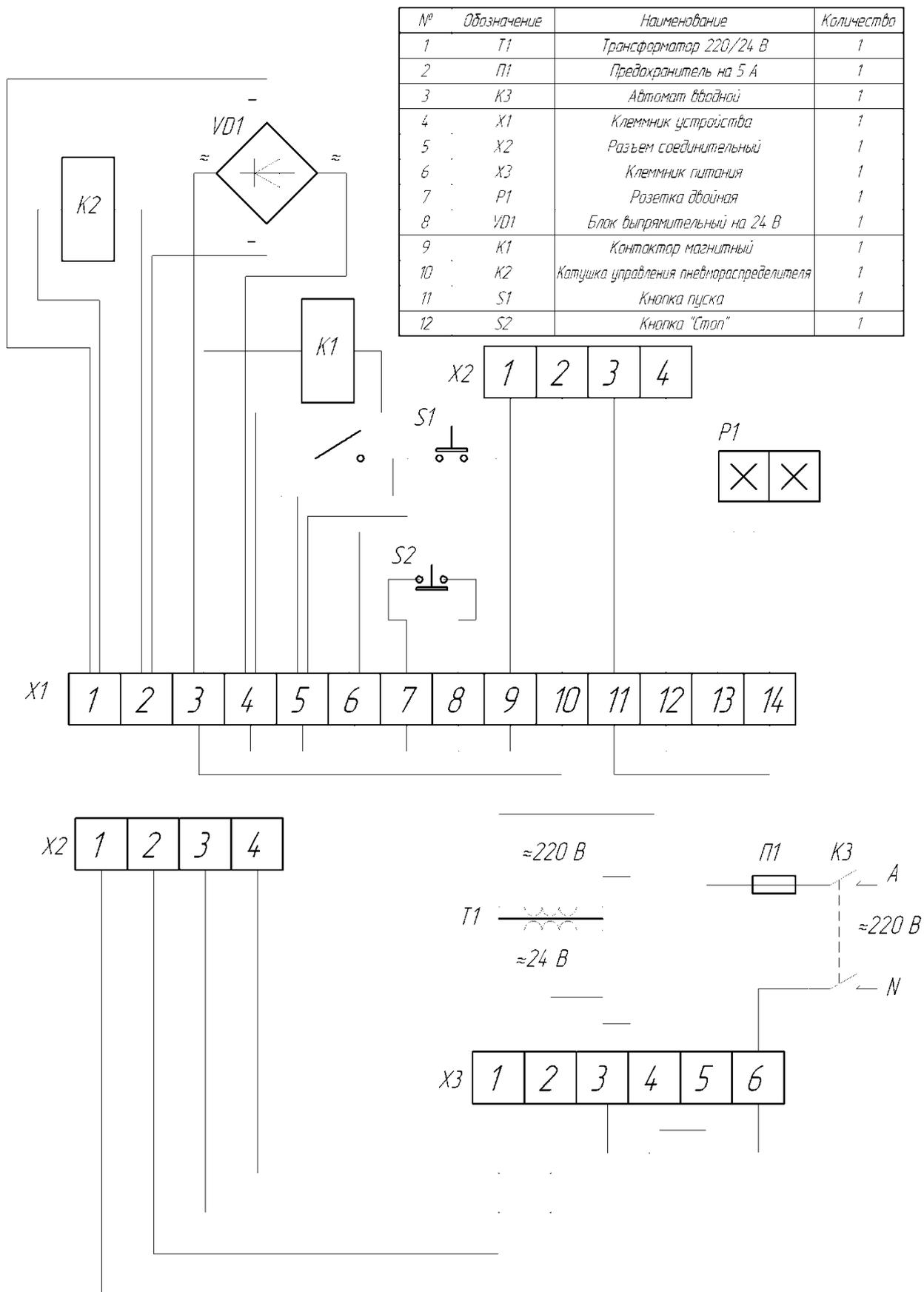


Рисунок 2.5 – Электрическая схема

## 2.4 Методика расчётного определения сопротивления участка «электрод-электрод»

Произведём расчёт сопротивления участка «электрод-электрод» в течение времени сварки после начала образования сварного ядра следующим образом. Сопротивления участка «деталь-электрод» и «деталь-деталь» приравняем нулю. Сопротивление деталей представим как сумму сопротивлений двух пластин, при этом каждую пластину условно разобьём на области с температурой  $T_1$  и  $T_2$ , для которых удельное электрическое сопротивление составит соответственно  $\rho_1$  и  $\rho_2$ . Для алюминиевых сплавов принимаем  $T_1=450\text{ }^\circ\text{C}$  и  $\rho_1=100\text{ мкОм}\cdot\text{мм}$ ,  $T_2=630\text{ }^\circ\text{C}$  и  $\rho_2=160\text{ мкОм}\cdot\text{мм}$ . При этом  $h$  – глубина проплавления одного листа.

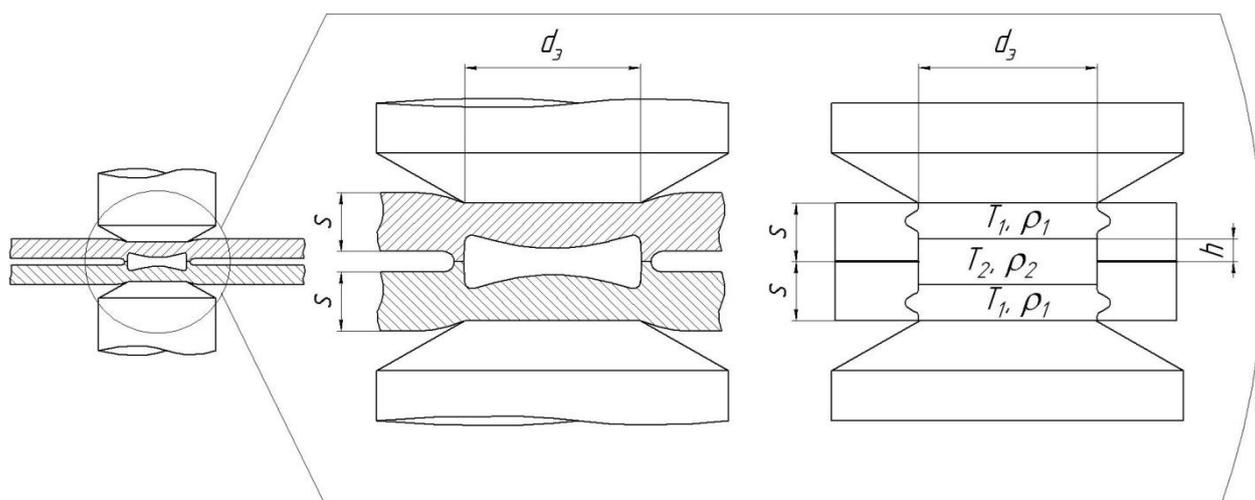


Рисунок 2.6 – Схема расчёта электрического сопротивления

Тогда электрическое сопротивление сварки участка расплавления (сварной точки) составит:

$$R_2 = \frac{\rho_2 \cdot h}{\frac{\pi d_3^2}{4}} \quad (2.1)$$

Электрическое сопротивление участка под электродами составит:

$$R_1 = \frac{A \cdot \rho_1 \cdot (s - h)}{\frac{\pi d_3^2}{4}}, \quad (2.2)$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий растекание сварочного тока в теле

детали (принимаем  $A=0,8$ ).

Тогда сопротивление участка «электрод-электрод» составит удвоенную сумму сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ :

$$R_{\text{эз}} = 2R_1 + 2R_2 = \frac{2A \cdot \rho_1 \cdot (s - h)}{\frac{\pi d_s^2}{4}} + \frac{2\rho_2 \cdot h}{\frac{\pi d_s^2}{4}}. \quad (2.3)$$

Диаметр электрода  $d_s$  можно представить как функцию от толщины  $s$  свариваемых деталей, тогда имеем:

$$d_s = 2s + 3. \quad (2.4)$$

Тогда, задавшись глубиной проплавления от  $h=0$  (начало формирования ядра сварной точки) и до  $h=0,8s$  (максимально допустимое проплавление по ГОСТ 15878-79), для различных значений  $s=1\dots 4$  мм по формуле (2.3) можно рассчитать величину сопротивления участка «электрод-электрод» (рис. 2.7).

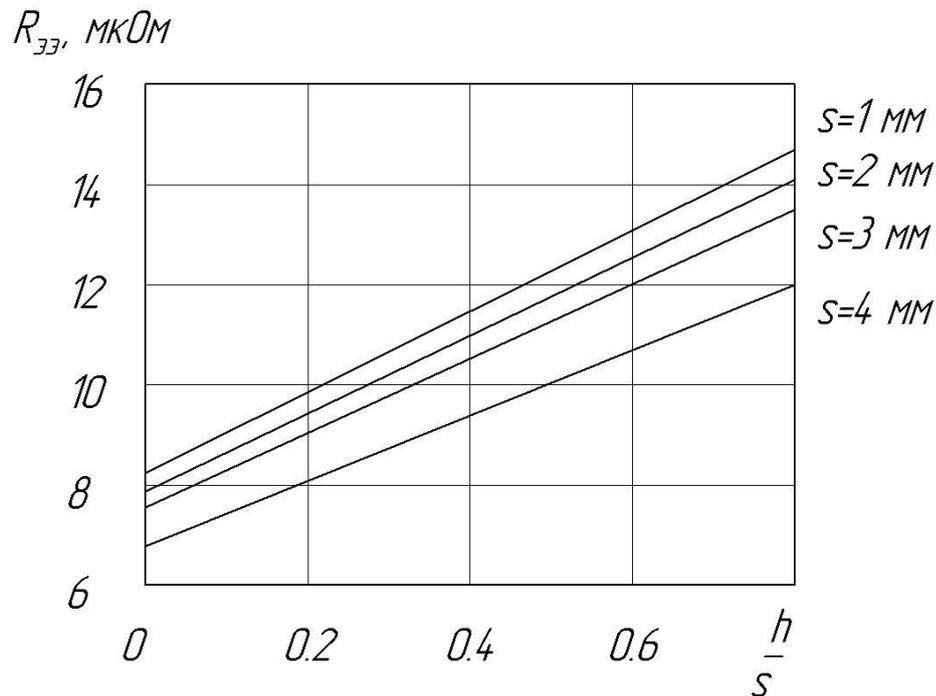


Рисунок 2.7 – Сопротивление участка «электрод-электрод» для различных значений  $s=1\dots 4$  мм в зависимости от глубины проплавления  $h$

Так же по формуле (2.3) можно представить сопротивление участка «электрод-электрод» для различных значений глубины проплавления  $h$  при

заданной толщине деталей  $s$  (рис. 2.8).

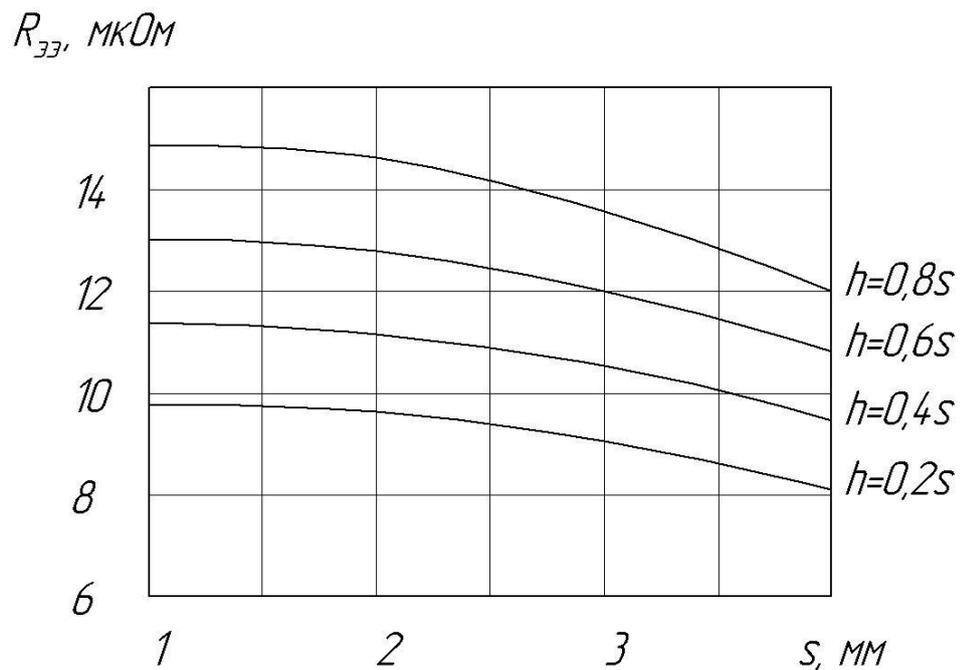


Рисунок 2.8 – Сопротивление участка «электрод-электрод» для различных значений  $h=0,2 \dots 0,8s$  мм в зависимости от толщины  $s$  свариваемых деталей

## 3 ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

### 3.1 Технологическая характеристика объекта

В выпускной квалификационной работе были предложены мероприятия, предусматривающие расчётное определение величины тепловыделения при контактной точечной сварке. Экспериментальные сварки проводятся на машине МТПУ-300, установленной в лаборатории контактной сварки ТГУ.

Таблица 3.1 – Профессиональные риски, сопровождающие осуществление проектной технологии

Наименование технологической операции, выполняемые работы	Опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие осуществление проектной технологии	Источник появления опасного или вредного производственного фактора
1	2	3
1. Подготовка образцов к сварке	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> </ul>	Острые края образцов, сварочное оборудование
2. Сборка измерительного комплекса	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> <li>- повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне</li> </ul>	Машинка сварочная, измерительный комплекс

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
3. Экспериментальная сварка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> <li>- повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне - повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне - высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов</li> </ul>	Машинка сварочная, измерительный комплекс
4. Проведение измерений	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> <li>- повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне - повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне - высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов</li> </ul>	Машинка сварочная, измерительный комплекс

Таблица 3.2 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Перечень опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих проектную технологию	Перечень предлагаемых организационных мероприятий и технических средств, осуществляющих защиту, снижение и устранение данного опасного и вредного производственного фактора	Наименование средства для осуществления индивидуальной защиты работника
1	2	3
1. Острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;	Проведение периодического инструктажа по вопросам техники безопасности	Перчатки, спецодежда.

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
2. Подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин	Нанесение предостерегающих надписей, соответствующая окраска, применение ограждения	-
3. Высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов	Проведение периодического инструктажа, разъясняющего работникам вопросы техники безопасности	Спецодежда, перчатки
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-
6. Повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	-

3.2 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта

Таблица 3.3 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок контактной сварки	Машина контактной сварки МТПУ-300	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	замыкания на проводящих токе частях технологических установок, агрегатов, изделий высокого напряжения; термохимическое действие используемых при пожаре огнегасящих веществ, на предметы и людей

Таблица 3.4 - Технические средства, обеспечивающие пожарную безопасность технологического объекта

Наименование первичного средства для осуществления тушения	Наименование мобильного средства для осуществления тушения	Наименование стационарных систем и установок для осуществления тушения	Наименование пожарной автоматики	Наименование пожарного оборудования, применяющегося для тушения	Наименование средств индивидуальной защиты и спасения людей, применяющихся при пожаре	Наименование пожарного инструмента	Наименование пожарной сигнализации, связи и систем оповещения
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-10	Пожарные машины (вызываются)	-	-	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка извещения о пожаре

Таблица 3.6 – Проведение организационных и технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

Технологический процесс	Вид реализуемого организационного или технического мероприятия	Требования для обеспечения пожарной безопасности, достигаемый эффект
Участок контактной сварки	Проведение ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими	Необходимо обеспечить достаточное количество первичных средств пожаротушения, применение защитных экранов с целью ограничения разлёта искр.

### 3.3 Экологическая безопасность технологического объекта

Таблица 3.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Реализуемый технологический процесс	Операции, входящие в состав технологического процесса	Негативное воздействие технического объекта на атмосферу	Негативное воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное воздействие технического объекта на литосферу
Участок контактной сварки	Подготовка деталей, сборка под сварку, сварка, контроль качества	-	-	Бумажная и полиэтиленовая упаковка от вспомогательных материалов; бытовой мусор, преимущественно стальной металлолом .

Таблица 3.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Рассматриваемый технический объект в рамках проектной технологии	Лаборатория контактной сварки
Мероприятия, позволяющие достигнуть уменьшения негативного антропогенного воздействия на литосферу	Следует предусмотреть установку контейнеров, позволяющих проводить селективный сбор производственных отходов и бытового мусора. Необходима установка отдельного контейнера для сбора металлолома. На контейнеры следует нанести соответствующие надписи. Необходимо проведение инструктажа среди рабочих сварочного участка по вопросу правильного складывания мусора и отходов в контейнеры.

### 3.4 Заключение по экологическому разделу

В ходе выполнения экологического раздела было произведено выявление опасных и вредных производственных факторов, появление которых возможно при проведении научно-исследовательских работ. Проведён анализ возможности и мер по устранению и уменьшению опасных и вредных производственных факторов. В результате проведения этого анализа установлено, опасные и вредные производственные факторы могут быть устранены или уменьшены до необходимого уровня с применением стандартных средств безопасности и санитарии производства. Отсутствует необходимость в разработке дополнительных средств защиты. Внедрение проектной технологии в производство сопровождается угрозами экологической безопасности. Для устранения этих угроз необходимо соблюдение технологического регламента и производственной санитарии.

## 4 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЁННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Расчёт трудоемкости каждого этапа научно-исследовательских работ

В данном разделе выпускной квалификационной работе необходимо провести экономическое обоснование проведенных научно-исследовательских работ. Это предусматривает проведение следующих работ: расчёт трудоёмкости и длительности проводимых научно-исследовательских работ, составление линейного плана-графика выполнения работ при проведении исследовательских работ и расчёт текущих затрат, сопровождающих проведение исследовательских работ.

Таблица 4.1 – Стадии и этапы выполнения научно-исследовательских работ

Наименование стадии НИР	Содержание этапов работы
1	2
1. Ознакомление с особенностями контактной точечной сварки алюминиевых сплавов, методиками контроля контактных сопротивлений и моделирования электрических процессов	1.1. Обзор алюминиевых сплавов, свариваемых контактной точечной сваркой 1.2. Анализ особенностей контактной сварки алюминиевых сплавов 1.3. Обзор и критический анализ методов контроля контактных сопротивлений 1.4. Обзор и критический анализ методов моделирования тепловых процессов
2. Разработка способа контроля межэлектродного сопротивления при точечной сварке алюминиевых сплавов	2.1. Составление принципиальной электрической схемы способа 2.2. Вывод основных формул и расчётного алгоритма. 2.3. Реализация способа.

Продолжение таблицы 4.1

1	2
<p>3. Разработка аппаратной части для реализации способа контроля межэлектродного сопротивления при точечной сварке алюминиевых сплавов</p>	<p>3.1. Составление пневматической схемы установки                      3.2. Составление электрической схемы установки                      3.3. Составление компоновочной схемы установки                      3.4. Проверка работоспособности установки</p>
<p>4. Оформление результатов проведенной научно-исследовательской работы.</p>	<p>4.1. Отчёта, который отражает этапы работ.                      4.2. Выводов по результатам научной работы.                      4.3. Рекомендаций по внедрению результатов в производство и направления проведения дальнейшего исследования.                      4.4. Фактического графика выполнения научной работы и причины, по которым произошло отклонение от планового графика.                      4.5. Фактически произведённых материальных затрат (калькуляция).</p>

Расчёт трудоёмкости выполнения этапов научно-исследовательской работы производим с использованием формулы:

$$T_{\text{ож}} = \frac{3T_{\text{min}} + 2T_{\text{max}}}{5} \text{ (дней)} \quad (4.1)$$

где  $T_{\text{min}}$  – величина оптимистической трудоёмкости;

$T_{\text{max}}$  – величина пессимистической трудоёмкости.

Таблица 4.2 – Значение трудоёмкости каждого этапа научно-исследовательских работ

Трудо- ёмкость в челове- коднях	№ этапа работ															
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
T <sub>min</sub>	4	2	4	6	8	14	4	24	8	4	2	6	20	4	2	8
T <sub>max</sub>	8	6	6	12	10	18	10	34	14	10	10	12	26	8	6	10

Результаты по расчету величины Тож сведём в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Величина ожидаемой трудоёмкости

Тож, в челове- коднях	№ этапа работ															
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
	6	4	5	8	9	16	6	28	10	6	5	8	22	6	4	9

Расчётное определение длительности каждого этапа научно-исследовательских работ и суммарной длительности научно-исследовательских работ произведём по формуле:

$$T_{\text{ЭТ}} = \frac{T_{\text{ОЖ}}}{\text{Ч}} \text{ (чел/дн.)}, \quad (4.2)$$

Ч – принятое для каждого этапа число исполнителей.

$$T_{\text{НИР}} = \sum T_{\text{ЭТ}}$$

После проведения расчётов длительности каждого этапа научно-исследовательской работы, произведём задание количества исполнителей для каждого этапа научно-исследовательской работы.

Таблица 4.4 – Количество исполнителей для каждого этапа работы

№ этапа работ	Численность занятых в научной работе исполнителей			
	Инженерный работник	Вспомогательный рабочий	Технический работник	Всего исполнителей
1.1.	1	–	1	2
1.2.	1	–	1	2
1.3.	1	–	1	2
1.4.	1	–	1	2
2.1.	–	–	1	1
2.2.	1	–	–	1
2.3.	–	–	1	1
3.1.	1	1	1	3
3.2.	1	1	1	3
3.3.	1	–	1	2
3.4.	1	–	1	2
4.1.	1	–	1	2
4.2.	1	–	1	2
4.3.	1	–	1	2
4.4.	1	–	1	2
4.5.	1	–	1	2

Результаты вычисления значения  $T_{эт}$  сведём в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Продолжительность каждого этапа научно-исследовательской работы

Тэт, в челове- коднях	№ этапа															
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
	3	2	3	4	9	16	6	10	4	3	3	4	11	3	2	5

При расчёте суммарной длительности научно-исследовательской работы получено:  $T_{нир} = \sum T_{эт}$ ;  $T_{нир} = 88$  дней.

Величину удельного значения каждого этапа работы определим с использованием зависимости:

$$U_{д_{эт}} = \frac{T_{эт}}{T_{нир}} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

Расчёт нарастания технической готовности производим путём последовательного сложения удельных значений каждого этапа научно-исследовательской работы.

Таблица 4.6 – Расчётное определение удельных значений каждого этапа научно-исследовательской работы

Уд.эт, %	№ этапа работ											
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3		
	3,03	4,54	3,03	1,52	6,06	21,19	15,15	4,55	4,55	7,58		
Уд.эт, %	№ этапа работ											
	3.4		4.1		4.2		4.3		4.4		4.5	
	4,55		4,55		12,12		1,52		3,03		3,03	

#### 4.2 Расчётное определение текущих, капитальных и общих затрат

Расчётное определение текущих затрат произведём с использованием следующей зависимости:

$$K_{\text{тек}} = \Phi\text{ЗП} + \text{Ос.с.} + \text{ЗМ} + \text{Зтех.эн.} + \text{Зоб.} + \text{Зплощ.} + \text{Нр} + \text{РП пр} \quad (4.4)$$

где Ос.с. – размер отчислений на социальное страхование;

Нр – размер общих накладных расходов;

ФЗП – объемы фонда заработной платы;

ЗМ – величина затрат на материалы;

Зтех.эн. – размер затрат на электрическую энергию;

Зоб. – размер затрат на эксплуатацию оборудования;

Зплощ. – размер затрат на обслуживание производственных площадей;

РП пр – размер прочих прямых расходов, связанных со спецификой проводимого исследования.

Расчётное определение заработной платы задействованного в работах персонала и величины отчисления на социальное страхование произведём по формуле:

$$\Phi\text{ЗП} = \text{ЗПЛ оснв.} + \text{ЗПЛ доплн.} \quad (4.5)$$

Расчётное определение затрат на основную заработную плату произведём с использованием зависимости:

$$\text{ЗПЛ оснв.} = \sum \text{Траб} \cdot \text{Сд} \cdot \text{К пр} \cdot \text{И} \quad (4.6)$$

где Траб – величина суммарного времени работы каждого участника научно-исследовательских работ по каждому этапу;

Сд – величина средней дневной ставки каждого участника НИР;

К пр – значение коэффициента премиальных доплат, равный 1,4;

И – принятое количество исполнителей для каждого этапа научно-исследовательских работ.

Таблица 4.7 – Величина заработной платы занятого в работах персонала

№ п/п	Должность задействованного персонала	Размер месячного оклада в рублях	Размер средней дневной ставки Сд в рублях
1	Инженерный работник	25140	1047,6
2	Технический работник	15750	656,4
3	Вспомогательный рабочий	14160	590,1

Подставив значения в (4.6), получим:

$\text{ЗПЛ оснв.} = (88 \cdot 1047,6 \cdot 1,4 \cdot 1) + (88 \cdot 656,4 \cdot 1,4 \cdot 1) + (14 \cdot 590,1 \cdot 1,4 \cdot 1) = 221498,76$  рублей.

Расчёт дополнительной заработной платы произведём с использованием зависимости:

$$\text{ЗПЛ допл.} = 10\% \text{ от ЗПЛ оснв.} \quad (4.7)$$

$\text{ЗПЛ допл.} = 221498,76 \cdot 0,1 = 22149,87$  рублей.

Размер фонда заработной платы на проведение научных работ рассчитываем по формуле (4.5):

$\text{ФЗП} = 221498,76 + 22149,87 \approx 243648$  руб.

Размер отчислений на социальное страхование определяем с использованием формулы:

$$\text{Ос.с.} = 34\% \text{ от ФЗП} \quad (4.8)$$

$\text{О с.с.} = 0,34 \cdot 243648 \approx 82840$  рублей.

Размер затрат на материалы определяем исходя из финансовых потребностей на покупку канцелярских товаров, которые расходуются в процессе исследований:

$$ЗМ = ЗМ \text{ расх.} \quad (4.9)$$

где ЗМ расх.– размер затрат, учитывающих приобретение расходных материалов, которые будут использованы при исследованиях.

Таблица 4.8 – Затраты на приобретение расходных материалов

№ п/п	Приобретение расходного материала	Единицы измерения	Количество расходного материала	Стоимость расходного материала, руб.
1.	Принтерная бумага	пачка	1	140
2.	Принтерные чернила	шутка	1	400
3.	Гелевая ручка	шутка	2	50
4.	Простой карандаш	шутка	2	30
5.	Ластик стирательный	шутка	1	30
6.	Линейки пластмассовая	шутка	1	30
7.	Степлер офисный	шутка	1	320
ИТОГО				1000

Таким образом, величина затрат на материалы составит:  $ЗМ = 1000$  руб.

Работы по проведению эксперимента производим с применением персонального компьютера, размер затрат на амортизацию, текущий ремонт и обслуживание оборудования произведём с использованием формулы:

$$A_{об} = \sum \Pi_{об} \cdot \frac{N_a \cdot T_{раб.}}{\Phi_{об} \cdot 100} \quad (4.10)$$

где  $A_{об}$  – размер амортизационных отчислений на оборудование, рублей;

$N_a$  – принятое значение нормы амортизации применительно к оборудованию, для персонального компьютера величина  $N_a = 26\%$ ;

$\sum \Pi_{об}$  – цена оборудования, привлекаемого для проведения научно-исследовательских работ;

$\Phi_{об}$  – размер режимного фонда работы используемого оборудования;

Траб. – время, затрачиваемое на выполнение научно-исследовательских работ, принимаемое приблизительно 704 часа.

$$D_{\text{о.д.}} = \frac{\sum C_{\hat{\text{а}}} \cdot N_{\text{о.д.}} \cdot k_{\zeta} \cdot T_{\text{д\text{а}а.}}}{100 \cdot \hat{O}_{\text{д}}} \quad (4.11)$$

где  $P_{\text{т.р.}}$  – размер затрат на проведение текущего ремонта и обслуживания оборудования, рублей

$N_{\text{т.р.}}$  – принятое значение нормы отчислений на проведение текущего ремонта оборудования,  $\approx 35\%$ .

Режимный фонд времени работы используемого оборудования ( $\Phi_{\text{об}}$ ) рассчитаем по формуле:

$$\Phi_{\text{об}} = (D_{\text{к}} - D_{\text{вых.}} - D_{\text{пр}}) \cdot T_{\text{см}} \cdot S \cdot (1 - k_{\text{р.п.}}) \quad (4.12)$$

где  $D_{\text{к}}$  – количество календарных дней в году, принятое равным 365;

$D_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году, принятое равным 106;

$D_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году, принятое равным 8;

$T_{\text{см.}}$  – значение продолжительности рабочей смены, принятое равным 8 час;

$S$  – количество рабочих смен, принятое равным 1;

$k_{\text{р.п.}}$  – потери времени на проведение технического обслуживания и переналадки применяемого оборудования, принятое равным 0,09.

$$\Phi_{\text{р}} = (365 - 106 - 8) \cdot 8 \cdot 1 \cdot (1 - 0,09) = 1827 \text{ часов}$$

$$\hat{A}_{\hat{\text{а}}} = \frac{41960 \cdot 26 \cdot 704}{100 \cdot 1827} = 4203 \text{ руб.}$$

$$D_{\text{о.д.}} = \frac{41960 \cdot 35 \cdot 0,4 \cdot 704}{100 \cdot 1827} = 2253 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об.}} + P_{\text{т.р.}} \quad (4.13)$$

$$Z_{\text{об}} = 4203 + 2253 = 6456 \text{ руб.}$$

Таблица 4.9 – Принятое значение стоимости оборудования

№ п/п	Применяемое оборудование	Принятое количество оборудования, (штук)	Стоимость единицы оборудования, (руб.)
1	Монитор «Самсунг»	1	12000
2	Компьютерный системный блок	1	15000
3	Лазерный принтер HP LaserJet 1300	1	11000
4	Сканер BenQ S2W 5250U	1	3300
5	Компьютерная мышь	1	360
6	Компьютерная клавиатура	1	300
Итого: стоимость всего используемого оборудования составляет 41960 руб.			

Размер затрат на технологическую энергию определим с учётом мощности и времени работы применяемого оборудования.

При использовании персонального компьютера:

$$Z_{\text{тех.эн.}} = \frac{M_{\text{об}} \cdot T_{\text{раб.}} \cdot C_{\text{эл.эн.}}}{\text{КПД}} \quad (4.14)$$

где  $M_{\text{об}}$  – мощность, которое имеет применяемое оборудование;

$C_{\text{эл-эн}}$  – стоимость одного кВт·часа электрической энергии;

КПД – значение коэффициента полезного действия применяемого оборудования;

$T_{\text{раб}}$  – время работы применяемого оборудования, в часах.

Составим сводную таблицу, которая содержит необходимые для работы применяемого оборудования параметры (табл. 4.10).

$$Z_{\text{тех.эн.}} = P_{\text{тех.эн.}}^{\text{монитор.}} + P_{\text{тех.эн.}}^{\text{сист.блок}} + P_{\text{тех.эн.}}^{\text{принт.}} + P_{\text{тех.эн.}}^{\text{скан.}} \quad (4.15)$$

$$P_{\text{тех.эн.}}^{\text{монитор.}} = \frac{0,1 \cdot 704 \cdot 1,1}{0,8} = 96,3 \text{ рублей.}$$

$$P_{\text{тех.эн.}}^{\text{сист.блок}} = \frac{0,3 \cdot 704 \cdot 1,1}{0,8} = 152,7 \text{ рублей.}$$

$$D_{\text{оао.уі}}^{\text{і дєі о.}} = \frac{0,15 \cdot 704 \cdot 1,1}{0,8} = 144,4 \text{ рублей.}$$

$$D_{\text{оао.уі}}^{\text{пєаі.}} = \frac{0,1 \cdot 704 \cdot 1,1}{0,85} = 90,6 \text{ рублей.}$$

Таблица 4.10 – Исходные данные, применяющиеся для проведения расчёта затрат на электрическую энергию

№ п/п	Применяемое оборудование	Мощность Применяемого оборудования, (кВт)	Значение коэффициента полезного действия оборудования	Время работы оборудования, (час)
1	Монитор «Самсунг»	0,1	0,8	70
5	Компьютерный системный блок	0,3	0,8	70
2	Лазерный принтер HP LaserJet 1300	0,15	0,8	70
3	Сканер BenQ S2W 5250U	0,1	0,85	70

$$3 \text{ тех.эн.} = 96,3 + 152,7 + 144,4 + 90,6 = 484 \text{ руб.}$$

Размер затрат на содержание и эксплуатацию производственных площадей определим по зависимости:

$$Z_{\text{плоч.}} = \frac{C_{\text{плоч.}} \cdot S_{\text{плоч.}} \cdot N_{\text{плоч.}} \cdot t_{\text{шт}}}{100 \cdot \Phi_p} \quad (4.16)$$

где  $N_{\text{а плоч.}}$  – принятое значение нормы амортизационных отчислений на здания, %;

$C_{\text{плоч.}}$  – принятая цена одного м<sup>2</sup> производственной площади, рублей;

$S_{\text{плоч.}}$  – общая площадь, которая занята оборудованием, применяемым для проведения научно-исследовательских работ, м<sup>2</sup>;

$t_{\text{шт}}$  – время выполнения научно-исследовательской работы на производственной площади, в часах.

$$Z_{\text{плоч.}} = \frac{30000 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 704}{100 \cdot 1827} = 1380 \text{ руб.}$$

Размер общих накладных расходов может быть задан как:

$$N_p = 55\% \text{ ФЗП} \quad (4.17)$$

Подставив в (4.17) данные, получим:

$$Нр = 0,55 \cdot 243648 = 134006 \text{ руб.}$$

Размер прочих прямых расходов может быть задан как:

$$РП \text{ пр} = 5\% \text{ ФЗП} \quad (4.18)$$

Подставив в (4.18) данные, получим:

$$РП \text{ пр} = 0,05 \cdot 243648 = 12182 \text{ руб.}$$

Текущие расходы на проведение НИР составят:

$$К \text{ тек} = \text{ФЗП} + \text{Ос.с.} + \text{ЗМ} + \text{Зоб.} + \text{Зтех.эн.} + \text{Зплощ.} + \text{Нр} + \text{РП пр} \quad (4.19)$$

Подставив в (4.19) данные, получим:

$$К \text{ тек} = 243648 + 82840 + 1000 + 6456 + 484 + 1380 + 67003,38 + 6091,22 = 207543,50 \text{ руб.}$$

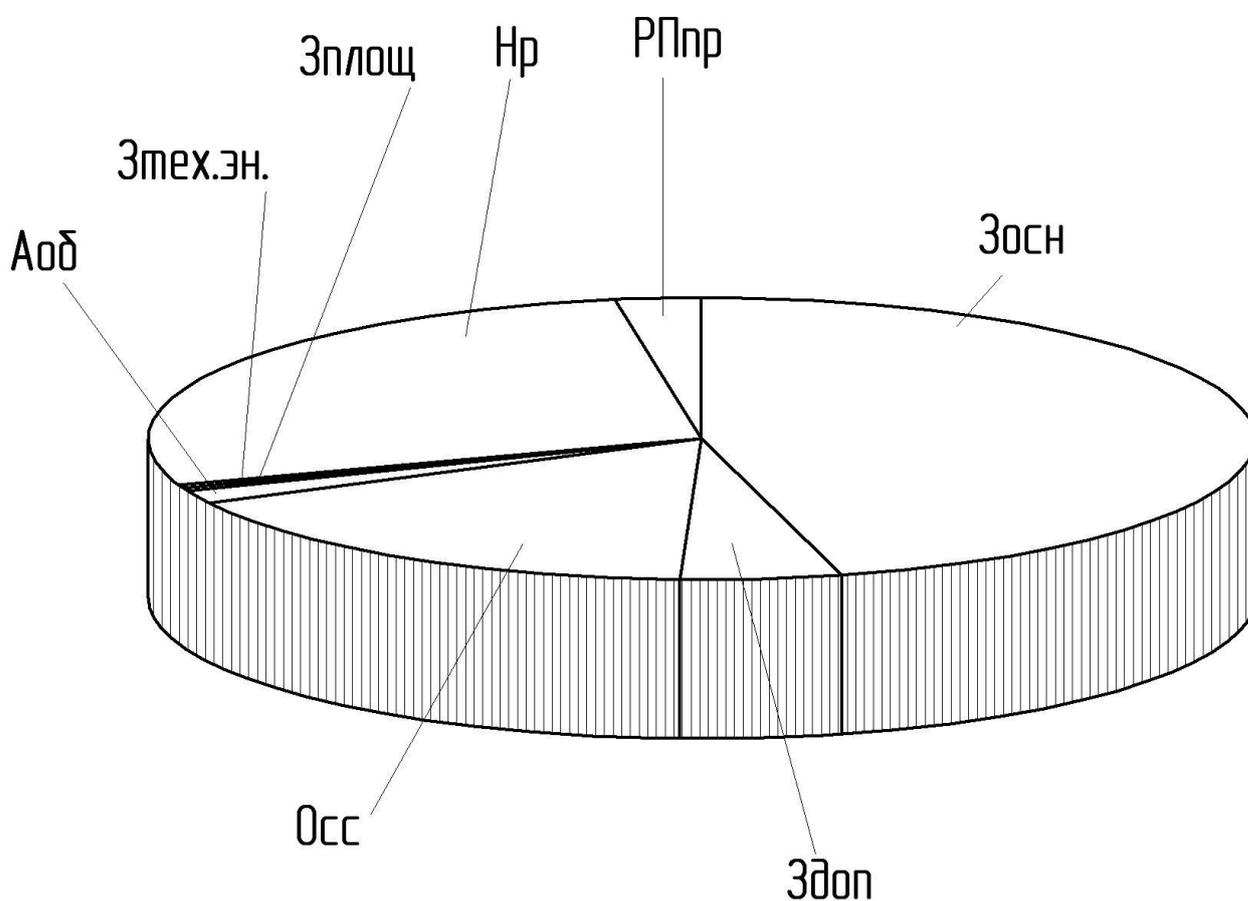


Рисунок 4.1 – Структура расходов на проведение НИР

Таблица 4.11 – Себестоимость проведения научно-исследовательских работ

№	СТАТЬИ ЗАТРАТ	Условные обозначения	Величина затрат (руб.)
1	Размер основной заработной платы персонала	Зосн	221498
2	Размер дополнительной заработной платы персонала	Здоп	22149
3	Затраты на отчисления на социальные нужды	Осс	82840
4	Размер затрат на оборудование	Аоб	6456
5	Размер затрат на технологическую энергию	З тех. эн.	484
6	Размер затрат на материалы	ЗМ	1000
7	Размер затрат на производственные площади	Зплоч.	1380
9	Размер общих накладных расходов	Нр	134006
10	Размер прочих прямых расходов	РП пр	12182
	Себестоимость проведения НИР (текущие расходы)	$C_{НИР} = K_{ТЕК}$	481995

Расчёт общих затрат на проведение научно-исследовательских работ:  
 $K_{общ.} = K_{тек.} = 481995$  руб. Таким образом, объём затрат на проведение научно-исследовательских работ составляет 481995 руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе поставлена цель – повышение стабильности качества контактной точечной сварки алюминиевых сплавов за счёт исследований межэлектродного сопротивления и выработки на их основе технологических рекомендаций.

При анализе состояния вопроса была рассмотрена типовая деталь кузова легкового автомобиля и технология её изготовления в случае использования низкоуглеродистой стали. Обоснована замена стали на алюминиевый сплав АМгбМ.

В рамках данной выпускной квалификационной работы разработаны мероприятия по повышению качества сварки, основанные на измерении электрического сопротивления на участке «электрод-электрод» при контактной точечной сварке деталей из алюминиевых сплавов.

Решены следующие задачи работы:

- 1) разработка методики экспериментального определения динамического сопротивления при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов;
- 2) разработка методики определения динамического сопротивления при контактной сварке деталей из алюминиевых сплавов;
- 3) произвести оценку безопасности и экологичности предлагаемых технических решений;
- 4) выполнить экономическое обоснование предлагаемых технических решений.

В ходе выполнения экологического раздела было произведено выявление опасных и вредных производственных факторов, появление которых возможно при проведении исследований. Проведён анализ возможности и мер по устранению и уменьшению опасных и вредных производственных факторов.

Экономические расчёты позволили установить, что для проведения полноценных исследований потребуется 482 тысячи рублей, что заставляет

обратиться к руководству вуза с просьбой о заключении договора с ПАО «АВТОВАЗ» на научно-исследовательские работы.

Цель проекта может считаться достигнутой.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Поднебенная, С.К. Автоматизированная система управления источником питания машины контактной сварки / С.К. Поднебенная, В.В. Бурлака, С.В. Гулаков // Вісник приазовського державного технічного університету. – 2016. – № 33. – С. 131–141.
- [2] Чулошников, П.Л. Некоторые особенности измерения тока при точечной и роликовой сварке / П.Л. Чулошников, В.Б. Берденский // Сварочное производство. – 1968. – № 2. – С. 13–15.
- [3] Подола, Н.В. Управление процессом контактной точечной сварки по сопротивлению между электродами / Н.В. Подола, В.С. Гавриш // Автоматическая сварка. – 1988. – № 3. – С. 39–42.
- [4] Скачков, О.В. Мониторинг качества контактной точечной сварки переменным током с применением вейвлет-анализа / О.В. Скачков // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2012. – № 3. – С. 43–47.
- [5] Антонов, В.Г. Исследование и разработка технологии точечной контактной сварки алюминиевых и титановых сплавов с использованием материалов-свидетелей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : МАТИ: Москва. – 2009.
- [6] Ланкин, Ю.Н. Автоматическое регулирование режима точечной сварки по электрическим параметрам // Автоматическая сварка. – 1963. - № 5. – С. 16-19.
- [7] Иоффе, Ю.Е. Новые разработки ЗАО «Электрик–МИКС» в области контроля и управления сварочными процессами / Иоффе Ю.Е., Жданов В.В., Котов А.В. [и др.] // Сварочное производство. – 2002. – № 4. – С. 39–43.
- [8] Шишмаков И.А. Аппаратура управления и контроля для контактной сварки / И.А. Шишмаков, М.Я. Левин, Д.К. Симо и др. // Сварочное производство. – 1998. – № 8. – С. 33–36.

- [9] Аксельрод Д.Ф. Микропроцессорные контроллеры для машин контактной сварки / Д.Ф. Аксельрод, Ю.Е. Иоффе, М.Н. Куперман и др. // Сварочное производство. – 1990. – № 8.
- [10] Чакалев, А.А. Саморегулирование процесса контактной сварки / А.А. Чакалев, С.М. Казаков, В.А. Ерофеев // Сварочное производство. – 1986. – № 8. – С. 1–3.
- [11] Антонов, В.Г. Исследование и разработка технологии точечной контактной сварки алюминиевых и титановых сплавов с использованием материалов-свидетелей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : МАТИ: Москва. – 2009.
- [12] Меньшиков, Г.А. Разработка технологических основ точечной контактной сварки крупногабаритных изделий ракетно-космической техники : автореф. дис. ... доктора техн. наук : МАТИ: Москва. – 2006.
- [13] Кочергин, К. А. Контактная сварка / К. А. Кочергин // Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1987. – 240 с.
- [14] Орлов, Б.Д. Технология и оборудование контактной сварки / Б.Д. Орлов, А.А. Чакалев, Ю.В. Дмитриев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
- [15] Козловский, С.Н. Разработка теоретических основ технологии программированных режимов контактной точечной сварки узлов летательных аппаратов: дис. ... докт. тех. наук: защищена 1.02.2007 / С.Н. Козловский. – М.: Изд-во «МАТИ», 2007. – 237 с.
- [16] Климов, А.С. Основы технологии и построения оборудования для контактной сварки: учебное пособие / А.С. Климов, И.В. Смирнов, А.В. Кудинов, Г.Э. Кудинова // Тольятти: ТГУ, 2008. – 313 с.
- [17] Рубанович, Б.Б. Контактная сварка тонкостенных алюминиевых конструкций / Б.Б. Рубанович // М.: Издательство литературы по строительству. – 1966. – 140 с.
- [18] Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л. Н. Горина. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68 с.

- [19] Краснопевцева, И. В. Экономическая часть дипломного проекта: метод. указания / И. В. Краснопевцева – Тольятти: ТГУ, 2008. – 38 с.
- [20] Егоров, А. Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие / А. Г. Егоров, В. Г. Виткалов, Г. Н. Уполовникова, И. А. Живоглядова – Тольятти, 2012. – 135 с.