

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)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Методика измерения тока при контактной сварке»

Студент

В.И. Ковальчук

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.С. Климов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

И.В. Краснопевцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

М.М. Бажутина

(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.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Сварочный ток является одним из основных технологических параметров контактной сварки. В связи с этим метод измерения тока и оценки его величины должен обеспечивать соответствие между величиной тока и результатами его действия при сварке. Основным параметром, характеризующим качество соединения, выполненного контактной точечной сваркой, является диаметр литого ядра, который определяет размеры области взаимного расплавления свариваемых деталей. Усилие разрушения сварного соединения мало зависит от наличия внутренних дефектов. Снижение диаметра ядра резко ухудшает эксплуатационные характеристики соединения. Поэтому основной задачей дефектоскопии контактной точечной сварки является определение диаметра литого ядра взаимного расплавления.

В работе поставлена цель – повышение эффективности измерения тока при контактной сварке.

Поставленная цель достигнута путём решения задач: 1) с использованием математического моделирования получение и наглядное представление зависимостей между параметрами контактной машины, параметрами фазового регулирования и величиной сварочного тока; 2) разработка и апробирование способа измерения сварочного тока контактных машинах; 3) произвести экспертизу предлагаемых технических решений на предмет обеспечения безопасности труда персонала; 4) произвести экономическую оценку эффективности внедрения предлагаемых технологических решений в производство.

Пояснительная записка состоит из 58 страниц, графическая часть включает в себя 7 листов формата А1.

ABSTRACT

The title of the bachelor's thesis is «Method of Measuring Current in Resistance Welding».

The welding current is one of the main technological parameters of resistance welding. In connection with this, the method of measuring current and estimating its magnitude should provide the correspondence between the magnitude of the current and the results of its action in welding. The main parameter characterizing the quality of the joint made by contact spot welding is the diameter of the cast core, which determines the dimensions of the region of mutual melting of the welded parts. The failure force of the welded joint depends little on the presence of internal defects. Reduce the core diameter dramatically worsens the performance of the connection. therefore, the main task of spot welding is to determine the diameter of the cast core of mutual melting.

The aim is to improve the efficiency of current measurement in contact welding.

The aim has been was achieved by solving problems: 1) using mathematical modeling, obtaining and visualizing the dependencies between the parameters of the contract machine, the parameters of phase control and the value of the welding current; 2) development and testing of a method for measuring the welding current of contact machines; 3) to make an examination of the proposed technical solutions for ensuring the safety of personnel; 4) to make an economic assessment of the effectiveness of the introduction of the proposed technological solutions in production.

The explanatory note consists of 58 pages, the graphic part includes 7 sheets of the A1 format.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ДИАГНОСТИКИ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ И ИЗМЕРЕНИЯ СВАРОЧНОГО ТОКА	7
1.1 Описание базового процесса контактной сварки	7
1.1.1 Описание изделия	7
1.1.2 Технологический процесс сварки изделия	9
1.2 Анализ научных работ по тематике исследования	12
1.3 Анализ способов измерения тока при контактной сварке	14
1.4 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы	20
2 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ	22
2.1 Сведения о сварочном оборудовании	22
2.2 Методика экспериментального включения	24
2.3 Методика измерения тока при контактной сварке	30
2.4 Аппаратное обеспечение способа измерения тока	33
3 ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	35
3.1 Составление технологической характеристики объекта	35
3.2 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта	38
3.3 Экологическая безопасность технологического объекта	39
3.4 Заключение по экологическому разделу	40
4 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЁННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	42
4.1 Расчёт трудоемкости каждого этапа научно-исследовательских работ	42
4.2 Расчётное определение текущих, капитальных и общих затрат на проведение научно-исследовательских работ	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	56

ВВЕДЕНИЕ

Основным параметром, характеризующим качество соединения, выполненного контактной точечной сваркой, является диаметр литого ядра, который определяет размеры области взаимного расплавления свариваемых деталей. Усилие разрушения сварного соединения мало зависит от наличия внутренних дефектов. Снижение диаметра ядра резко ухудшает эксплуатационные характеристики соединения. Поэтому основной задачей дефектоскопии контактной точечной сварки является определение диаметра литого ядра взаимного расплавления.

Уменьшение диаметра литого ядра точки может происходить из-за отклонения параметров режима сварки от заданных значений (снижения силы сварочного тока и времени его протекания, увеличения усилия сжатия), а также от некачественно подготовленной поверхности свариваемых деталей, загрязнения электродов, увеличения их рабочей поверхности и других причин [1, 2].

Условно методы контроля качества контактной точечной сварки можно разделить на две группы – методы приемочного контроля, позволяющие контролировать уже готовое изделие, и активные методы, позволяющие производить контроль в процессе сварки [3].

Активный контроль осуществляют по параметрам процесса сварки. При этом имеется использование отрицательной обратной связи по регулируемой величине, которая обеспечивает стабилизацию параметра регулирования. К параметрам, по которым осуществляется контроль, относятся: сварочный ток, падение напряжения на электродах, сопротивление участка цепи между электродами, мощность, энергия [4].

Сварочный ток является одним из основных технологических параметров контактной сварки. В связи с этим метод измерения тока и оценки его величины должен обеспечивать соответствие между величиной

тока и результатами его действия при сварке. Возникают следующие вопросы, связанные с особенностями измерения тока при точечной и роликовой сварке [10]:

- 1) Какая из известных в электротехнике форм оценки тока – действующее, среднее или амплитудное значение – лучше подходит для фиксирования режима сварки?
- 2) Какое значение сварочного тока следует указывать в технических заданиях на новое оборудование, при аттестации действующего оборудования и т.д.?
- 3) Можно ли с целью перенесения режима сравнивать токи машин, имеющих (резко различные типы источников питания (например, ток однофазной машины и низкочастотной), и какое значение тока следует при этом измерять?
- 4) В какой степени влияет величина и форма импульса тока на количество тепла, выделяющегося в месте сварки, и на конечные размеры литой зоны, а также насколько отражает это влияние принятая форма оценки тока?

Ответ на поставленные вопросы, разработка методик и аппаратной части для проведения измерений тока в процессе контактной сварки остаются актуальными.

Таким образом актуальна и поставленная в работе цель – повышение эффективности измерения тока при контактной сварке.

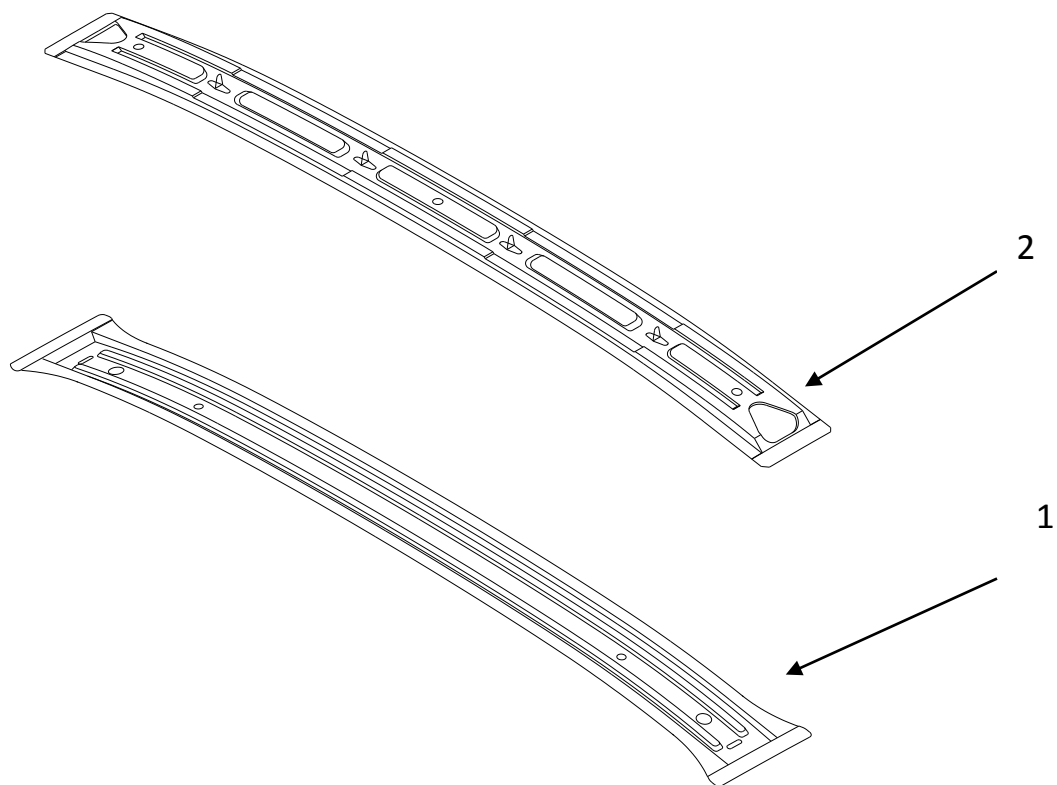
1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ДИАГНОСТИКИ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ И ИЗМЕРЕНИЯ СВАРОЧНОГО ТОКА

1.1 Описание базового процесса контактной сварки

1.1.1 Описание изделия

Поперечина крыши в сборе автомобиля ВАЗ 1118 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 (рис. 1.1) имеет коробчатую форму и состоит из следующих деталей: поперечины крыши (1) и усилителя крыши переднего в сборе (2). Общая длина изделия составляет 993 мм. На изделии проставляется 20 сварных точек контактной точечной сваркой. Шаг между точками 100 мм. Толщина заготовок 0,8 мм. Размеры сварных точек лимитированы ГОСТ 15878-79 (рис. 1.3).

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.



- 1 – поперечина крыши (деталь 1119-5701054);
- 2 – усилитель крыши передний (деталь 1119-5701112)

Рисунок 1.1 – Состав поперечина крыши ВАЗ 1119 в сборе

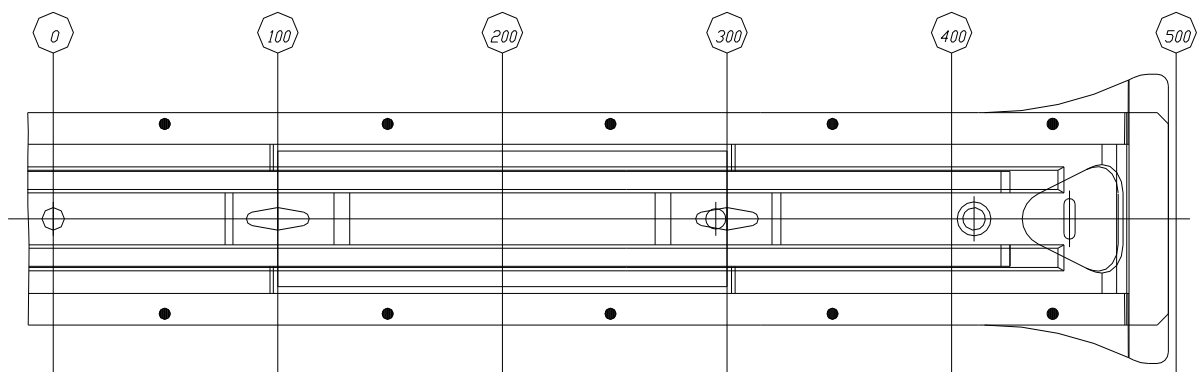


Рисунок 1.2 – Поперечина крыши в сборе (деталь 1119-5701054)

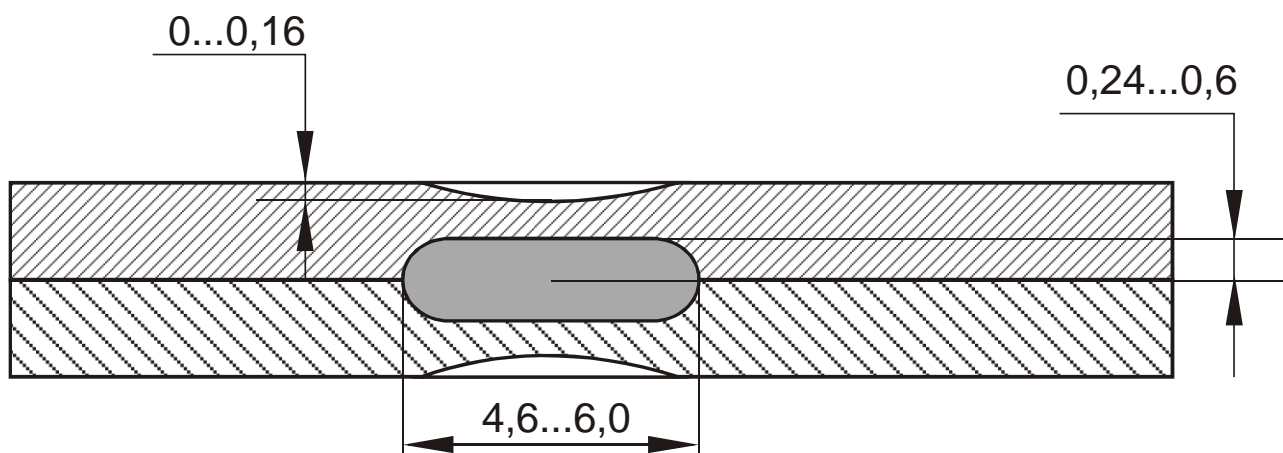


Рисунок 1.3 – Технические условия на геометрические размеры сварной точки согласно ГОСТ 15878-79 (толщина металла $0,8+0,8$ мм)

Для производства исходных заготовок, штампуемых на прессовом производстве, используется сталь марки 08кп, заготовки деталей имеют толщину 0,8 мм. Сталь 08кп относят к углеродистым сталям, нашедшим широкое применение при изготовлении конструкций машиностроения, различных строительных сооружений и других конструкций.

Механические свойства стали определяются содержанием в них углерода. Увеличение содержания углерода в составе приводит к повышению прочности стали.

1.1.2 Технологический процесс сварки изделия

Производят перемещение заготовок со склада на сварочный участок. Заготовки помещают в оборотную 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: поперечину крыши (деталь 1118-5701054) и укладывает ее в ложементы первого поста. Затем берет из оснастки усилитель крыши передний (деталь 1118-5701112) и укладывает его в ложементы нижней оснастки первого поста машины. По окончании

загрузки свариваемых деталей оператор укладывает в пазы усилителя крыши переднего прокладку противозвучную (деталь 2103-5701020). Затем вручную загибает лепестки крепления прокладки на усилителе.

Производят фиксирование собранных узлов с использованием пневмоприжимов. Фиксацию осуществляют нажатием кнопок двуручного включения. Далее визуально контролируют геометрию собранных деталей, после чего сварщик производит нажатие кнопки «Пуск» двуручного включения. Производится сварка собранных изделий на первом посту. Машина поднимает нижнюю оснастку в зону сварки, происходит сжатие пистолетов и клещей и сварка 10 точек. Сила тока при сварке принимается 15000 ампер, время импульса прохождения сварочного тока 0,1 секунды, давление сжатия 250 килограмм, напряжение на вторичной обмотке трансформатора 5 вольт. Во время сварки съемник перемещается в положение «назад». По окончании сварки 10-ти точек, пистолеты разжимаются, перемещаются и производится сварка еще 10-ти точек. Затем, оснастка нижнего поста опускается и сваренные узлы укладываются на ложементы съемника. Съемник перемещается в положение «вперед», деталь попадает на склиз. По склизу готовые изделия попадают в оборотную тару, и по наполнении тары электропогрузчик увозит ее на последующие технологические операции.

Работа проектируемой сварочной машины происходит по заданной циклограмме. Вначале оператор производит загрузку деталей в сварочную оснастку стола. В ложементы оснастки укладываются поперечина крыши (деталь 1118-5701054) и усилитель крыши передний (деталь 1118-5701112). По окончании загрузки свариваемых деталей оператор укладывает в пазы усилителя крыши переднего прокладку противозвучную (деталь 2103-5701020). Затем вручную загибает лепестки крепления прокладки на усилителе. По окончании сборки оператор визуально контролирует геометрию собранного изделия, нажимает кнопку «пуск», от кнопки подается

сигнал на срабатывание прижимов первого поста. Прижимы после закрытия подают сигнал исполнительным механизмам на подъем стола.

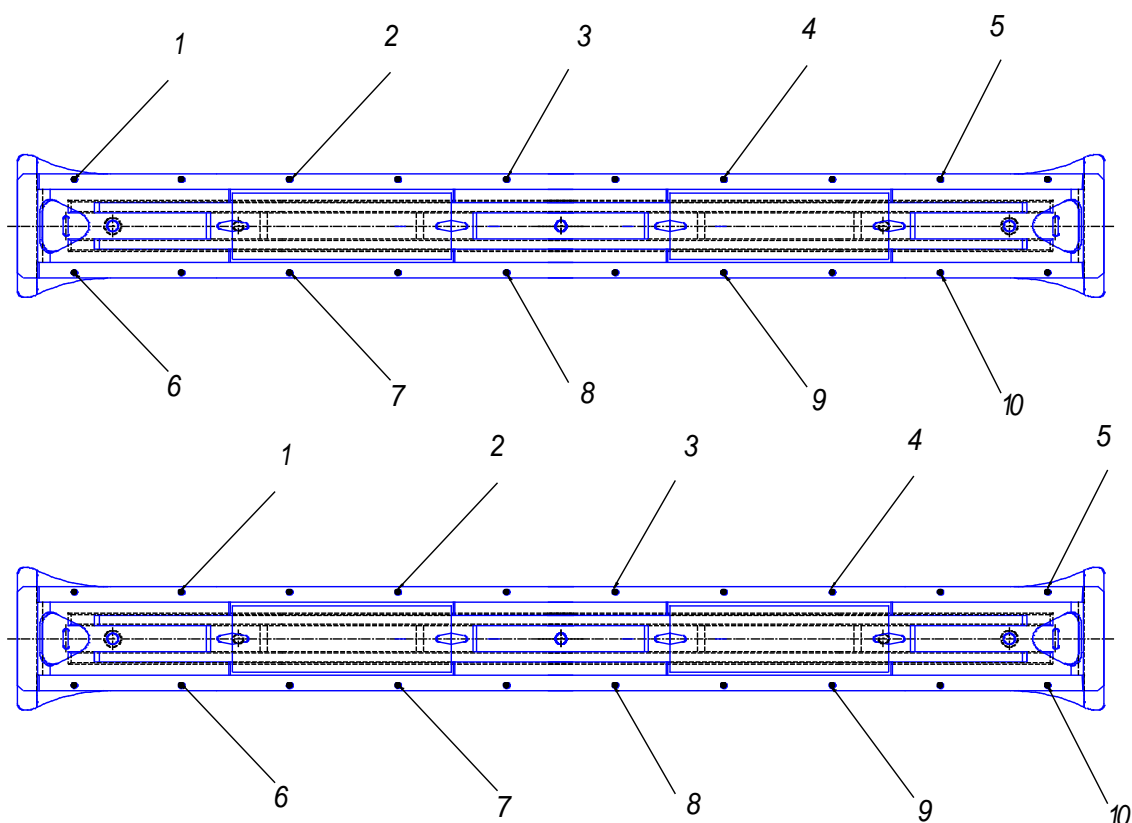


Рисунок 1.4 – Простановка сварных точек сварочными пистолетами на МТМ

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.

1.2 Анализ научных работ по тематике исследования

Контроль контактной сварки и диагностика качества выполняемых соединений требует измерения сварочного тока, от достоверности которой будет зависеть достоверность диагностики и стабильность качества контактной сварки. Для достижения поставленной цели необходимо провести ряд исследований, качество которых определяется глубиной анализа имеющихся научно-технических работ по данной тематике. Поиск вели в сети ИНТЕРНЕТ по ключевым словам «контактная сварка», «автоматическое управление», «измерение тока», «диссертация», «Автоматическая сварка журнал», «Сварочное производство журнал».

В первой работе [5] разработана автоматическая система, позволяющая управлять временем контактной точечной сварки по величине энергии, затрачиваемой на расплавление ядра. С помощью разработанной математической модели процесса сварки исследовано влияние параметров её режима и вводимой энергии на диаметр литого ядра. Результаты этой работы будут использованы при анализе состояния вопроса и обосновании актуальности исследований.

Во второй работе [7] 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.

В третьей работе [8] проведён анализ преобразователей частоты, обеспечивающих равномерную загрузку трехфазной сети, существующих мощных контактных машин, сварочные трансформаторы которых рассчитаны на питание от однофазной сети 50 Гц. Результаты этой работы будут использованы при анализе состояния вопроса.

В четвёртой работе [9] предложена математическую модель, описывающая тепловые процессы при контактной сварке. Также произведён синтез параметров регуляторов, позволяющих управлять температурным полем при контактной сварке. Результаты пятой работы будут использованы при анализе состояния вопроса.

В пятой работе [10] рассмотрены вопросы измерения тока при контактной точечной и роликовой сварки, на основании проведённых экспериментов предложено измерять максимальное действующее значение тока в процессе сварки. Результаты этой работы будут использованы при анализе состояния вопроса.

Как показали исследования авторов, сопротивление гээ между электродами изменяется в течение всего цикла сварки и может быть использовано как параметр обратной связи при управлении процессом сварки [20, 23].

1.3 Обзор способов измерения сварочного тока на контактных машинах

Проведение измерения сварочного тока на контактных машинах возможно при использовании следующих датчиков [24]:

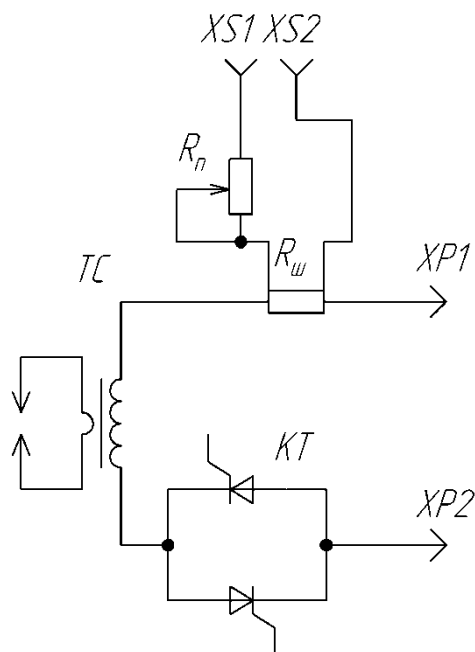
- стандартного шунта, устанавливаемого со стороны первичного контура контактной машины;
- шунта, устанавливаемого во вторичный контур контактной машины;
- трансформатор тока, располагаемый со стороны первичного контура контактной машины;
- трансформатор тока, устанавливаемый во вторичном контуре контактной машины;
- воздушного трансформатора (пояса Роговского), устанавливаемого во вторичном контуре контактной машины;
- датчика Холла, устанавливаемого как в первичном, так и во вторичном контуре контактной машины.

В качестве простейшего датчика тока *может быть использован стандартный шунт*. При включении шунта со стороны первичной обмотки трансформатора (рис. 1.5) не происходит изменений измеряемых параметров. Обладая низкой индуктивностью и отсутствием влияния нагрева шунта на его активное сопротивление делает возможным получение информации о напряжении, которое строго пропорционально величине измеряемого первичного тока. В качестве недостатков измерения тока с использованием шунта в первичном контуре следует отметить:

- 1) зависимость между значениями первичного и вторичного токов носит нелинейный характер, намагничивающий ток в первичной цепи контактной машины выступает как элемент первичного тока, однако во вторичную обмотку он не трансформируется;
- 2) шунт в первичной обмотке сварочной машины имеет гальваническую связь с высоким первичным напряжением, что существенно повышает опасность измерений;

3) установка шунта в первичной цепи контактной машины невозможна для целых классов контактных машин, например, имеющих трехфазное выпрямление или низкочастотных машин.

По этим причинам измерение тока при помощи шунта в первичном контуре контактной машины не находит промышленного применения, и используется, в основном, при проведении лабораторных исследований, требует строгого соблюдения техники безопасности.

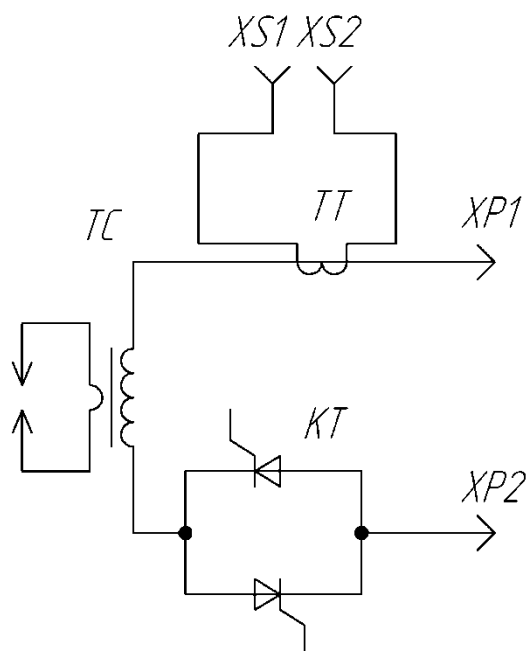


ТС – сварочный трансформатор; КТ – тиристорный контактор; $R_{ш}$ – шунт; $R_{п}$ – резистор подстроечный; XP1, XP2 – подключение к сети 380 В; XS1, XS2 – подключение осциллографа

Рисунок 1.5 – Схема для измерения тока шунтом в первичной цепи контактной машины

При измерении тока в первичной цепи контактной машины используют *трансформатор тока* (рис. 1.6), гальванически развязанный от токоведущих элементов машины. Это повышает безопасность измерений. Однако остаётся в силе главный недостаток измерений со стороны первичного контура – наличие погрешности, которая связана с намагничивающим током. Кроме этого, трансформатор тока необходимо нагружать малым активным

сопротивлением, например, стандартным амперметром переменного тока на 5 А. Иначе возможно нарушение пропорциональности между значениями измеряемого тока и тока обмотки трансформатора тока.



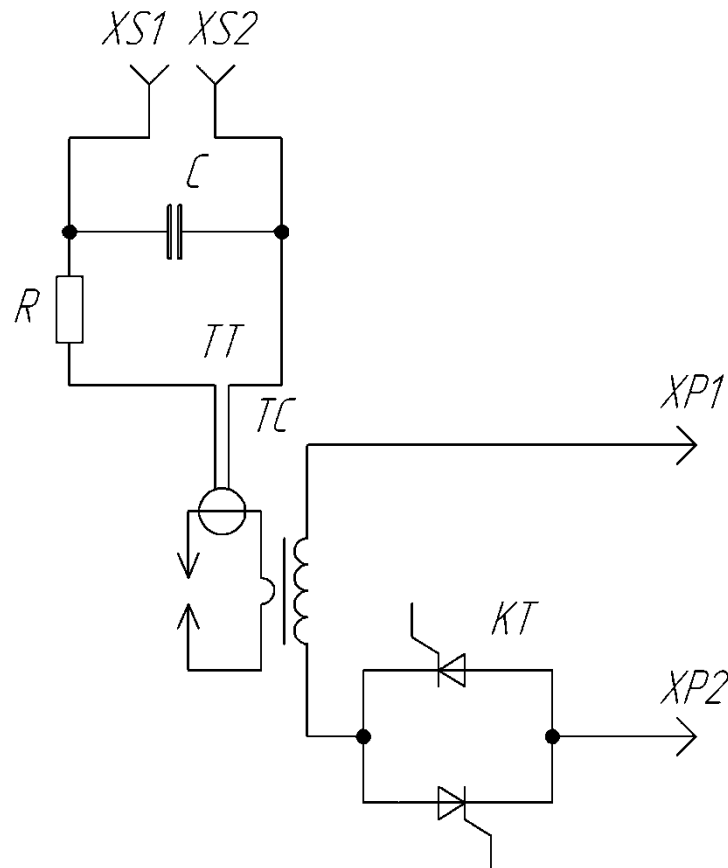
ТС – сварочный трансформатор; КТ – тиристорный контактор; ТТ – трансформатор тока; ХР1, ХР2 – подключение к сети 380 В; ХС1, ХС2 – подключение осциллографа

Рисунок 1.5 – Схема при измерении тока трансформатором тока, устанавливаемым в первичной цепи контактной машины

Широко применяется для измерения сварочного тока *воздушный трансформатор* (пояс Роговского), представляющий из себя замкнутую основу, которая несёт обмотку. При этом воздушный трансформатор надевают на токоведущий элемент во вторичном контуре контактной машины. Для этого датчик выполняют разъемным. Благодаря отсутствию стального магнитопровода обеспечивается линейность характеристики датчика, существует возможность его применения при больших величинах измеряемого тока.

В качестве главного достоинства воздушного трансформатора можно выделить практическую независимость величины выходного напряжения от

геометрических параметров датчика и места его расположения на элементе вторичного контура. Это позволяет применение датчиков на машинах разного типа без проведения перестройки и градуировки.



ТС – сварочный трансформатор; КТ – тиристорный контактор; ТТ – воздушный трансформатор тока; XP1, XP2 – подключение к сети 380 В; XS1, XS2 – подключение осциллографа; R и C – резистор и конденсатор интегрирующего контура

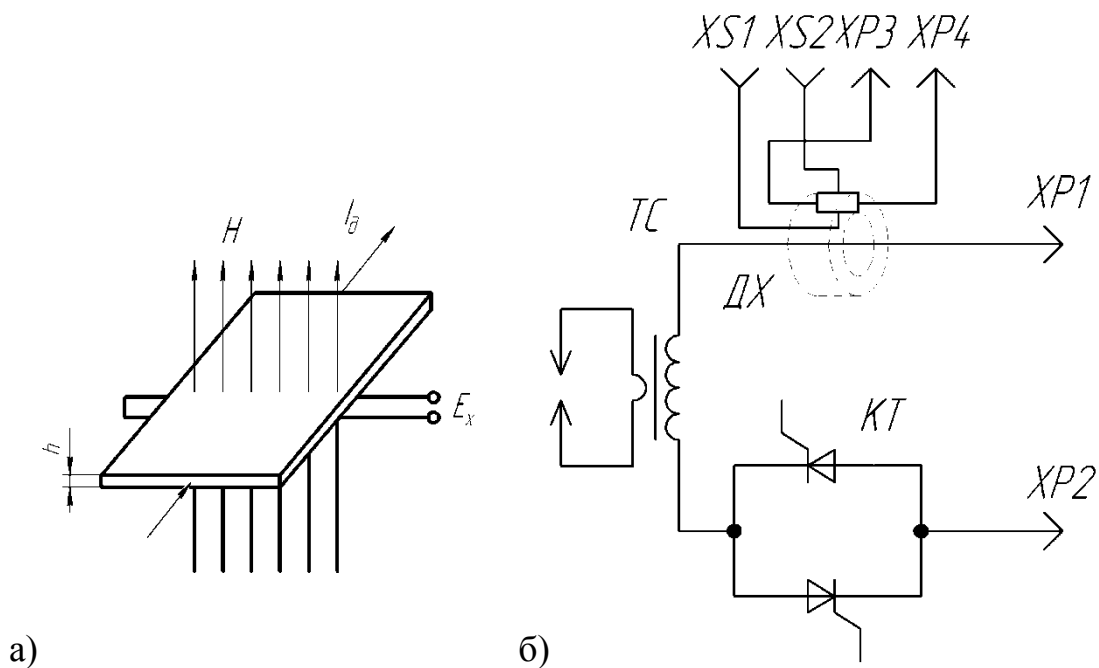
Рисунок 1.6 – Схема при измерении тока воздушным трансформатором для вторичной цепи сварочной машины

При применении датчиков на основах эффекта Холла не требуется осуществлять последующее включение, ввиду пропорциональности величины напряжения на выходе с датчика величине измеряемого тока. Сущность рассматриваемого выше эффекта Холла - возникновение ЭДС E_x в поперечном сечении торца полупроводниковой пластинки, по которой течет

ток I . Также через нее идут силовые линии магнитного поля H (рис. 1.7 а). ЭДС Холла рассчитывают по формуле:

$$E_x = k_x I H ,$$

где k_x – коэффициент, который зависит от исходного материала и размера полупроводниковой пластинки.



ТС – сварочный трансформатор; КТ – тиристорный контактор; ДХ – датчик Холла; XP1, XP2 – подключение к сети 380 В; XS1, XS2 – подключение осциллографа; XP3 и XP4 – подключение питания датчика Холла

Рисунок 1.7 – Схема при измерении тока датчиком Холла для вторичной цепи сварочной машины

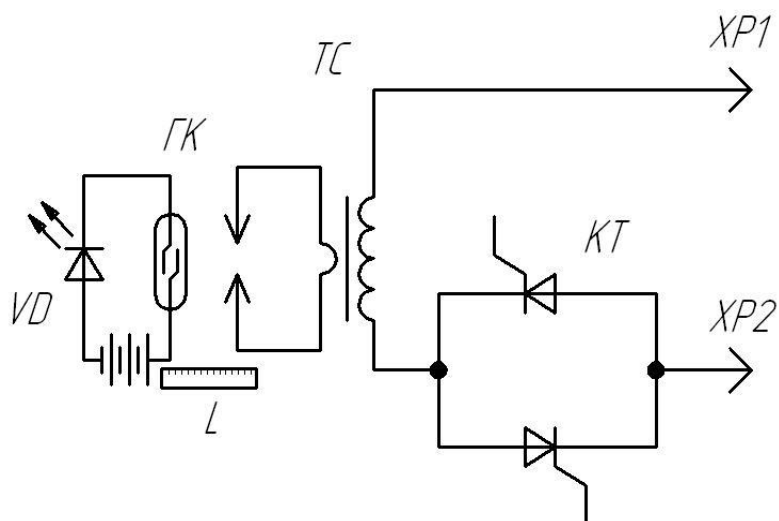
Увеличение k_x может быть достигнуто при применении пластинки из германия или мышьяковистого индия, которые необходимо изготавливать с как можно меньшей толщиной. Например, для изготовления датчика регистратора ДСТ-используется пластинка с размерами 5x3 мм, толщина которой всего 0,2 мм.

В качестве недостатка датчика Холла следует отметить зависимость выходного значения ЭДС от расположения датчика на контактной машине и от конфигурации токоведущих частей контактной машины. Поэтому

необходимо проводить градуировку датчика Холла всякий раз, когда меняется его положение на сварочной машине.

В качестве датчика тока при проведении оценочных исследований может быть использован *геркон* – устройство, которое срабатывает под действием заданной напряжённости магнитного поля. В качестве мерительного инструмента может быть использована линейка, которая градуирована в амперах. Возможность измерения сварочного тока (рис. 1.8) с использованием геркона в качестве датчика исследовалась в Тольяттинском государственном университете в 1990...1993 гг. Преимуществами геркона в качестве датчика сварочного является: простота измерений, возможность проведения измерений на всех типах контактных машин, безопасность и дешевизна способа.

Главным и критическим недостатком применения геркона в качестве датчика сварочного тока является чрезвычайно высокая погрешность, ввиду отсутствия чётких связей между действующими значениями тока и напряжённостью магнитного поля в условии фазового регулирования.



ТС – сварочный трансформатор; КТ – тиристорный контактор;
ДХ – датчик Холла; XP1, XP2 – подключение к сети 380 В; L – линейка;
ГК – геркон; VD - светодиод

Рисунок 1.8 – Схема при измерении тока сварки с применением геркона в качестве датчика

С целью установления соответствия между величиной тока и размерами литой зоны сварного соединения следует измерять амплитуду тока при сварке на машинах конденсаторных, низкочастотных и постоянного тока; действующее значение наибольшего полупериода — на однофазных машинах переменного тока. Одновременно при всех случаях сварки необходимо измерять общую длительность протекания тока, а также его нарастание и спад.

Сварочный ток может измеряться во вторичном контуре контактной машины или в её первичном контуре, при измерении тока в первичном контуре производится перерасчёт на вторичный ток с учётом коэффициента трансформации и намагничивающей составляющей [25, 26].

1.4 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

Проведённый анализ научно-исследовательских в области измерения параметров контактной сварки позволяет указать два возможных направления, по которым будет проходить совершенствование датчиков сварочного тока: в первом направлении предусматривается проведение измерений со стороны первичного контура контактной машины, во втором направлении предусматривается установка датчиков тока во вторичном контуре контактной машины.

При проведении измерений со стороны первичного контура контактной машины удаётся получить:

- уменьшение габаритов и стоимости датчиков тока;
- снижение погрешности от электромагнитных помех;
- экономить полезное пространство во вторичном контуре контактной машины.

Однако измерение со стороны первичного контура контактной машины обладает недостатками:

- нет учёта тока намагничивания, что приводит к появлению системной погрешности способа измерения.

При проведении измерений во вторичном контуре контактной машины удаётся получить:

- устранение систематической погрешности измерений от наличия намагничивающей составляющей.

Однако измерение со стороны вторичного контура контактной машины обладает недостатками:

- загромождает пространство во вторичном контуре;
- повышает стоимость и сложность датчиков;
- подвержено электромагнитным помехам.

Таким образом, достижение цели выпускной квалификационной работы будет достигнуто в результате решения следующих задач:

1) с использованием математического моделирования получение и наглядное представление зависимостей между параметрами контактной машины, параметрами фазового регулирования и величиной сварочного тока;

2) разработка и апробирование способа измерения сварочного тока контактных машинах;

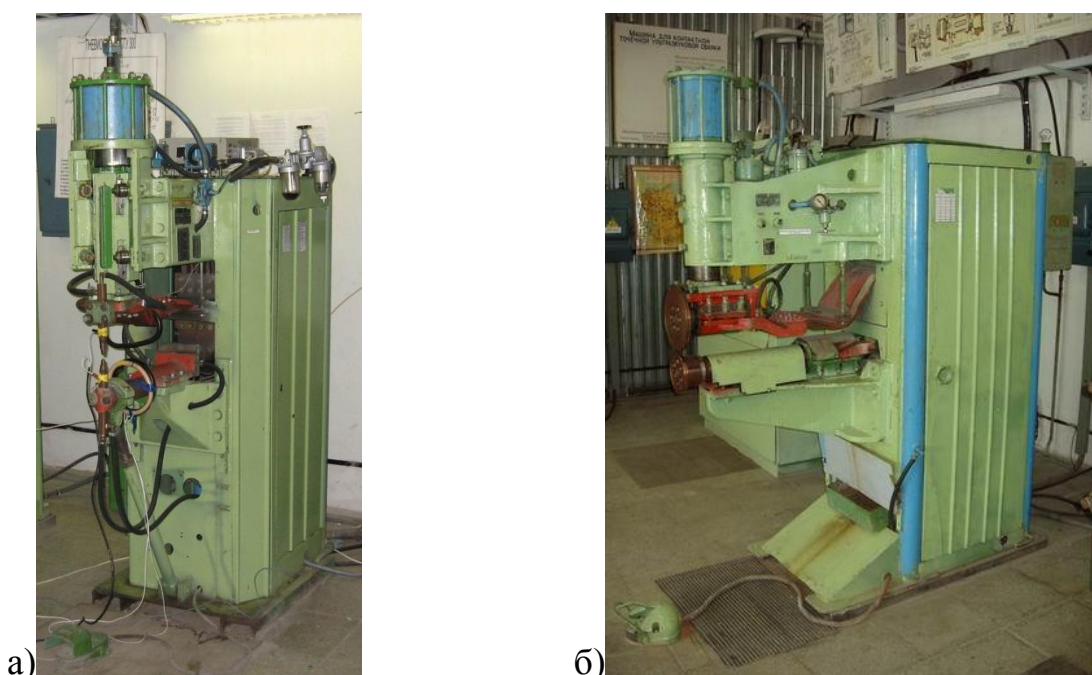
3) произвести экспертизу предлагаемых технических решений на предмет обеспечения безопасности труда персонала;

4) произвести экономическую оценку эффективности внедрения предлагаемых технологических решений в производство.

2 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ

2.1 Сведения о сварочном оборудовании

Экспериментальная контактная точечная сварка проводилась на машине МТПУ-300 (рис. 2.1 а) а контактная шовная сварка на машине МШП-200 (рис. 2.1 б), которые размещены в лаборатории контактной сварки кафедры «СОМДиРП».



а) машина контактной точечной сварки МТПУ-300; б) машина контактной шовной сварки МШП-200

Рисунок 2.1 – Контактные машины, используемые при экспериментальной сварке

Машина МТПУ-300 (рис. 2.2) общего назначения с вертикальным ходом верхнего электрода и пневматическим приводом. Благодаря глубокому регулированию вторичного напряжения (1:4) машина обладает большим диапазоном значений сварочного тока, что позволяет сваривать, кроме легких и цветных сплавов, также специальные стали, титан и др. При сварке легких сплавов используется верхний диапазон ступеней включения

трансформатора (9...16 ступени). На ступени 15 ток достигает 32 кА при номинальном растворе 220 мм. На той же ступени уменьшение раствора до 140 мм приводит к увеличению тока до 45 кА при потреблении из сети 400 кВА.

Переход от F_{CB} к $F_{КОВ}$ осуществляется путем выпуска воздуха из нижней камеры. Для ускорения выпуска воздуха между цилиндром и клапаном, управляющим подачей воздуха, установлен клапан, который не препятствует поступлению воздуха в цилиндр, но весьма быстро выбрасывает сжатый воздух из цилиндра в атмосферу, как только клапан прекращает подачу воздуха. Благодаря этому усилие нарастает за очень короткий промежуток времени (0,01...0,02 сек в зависимости от объема камеры).

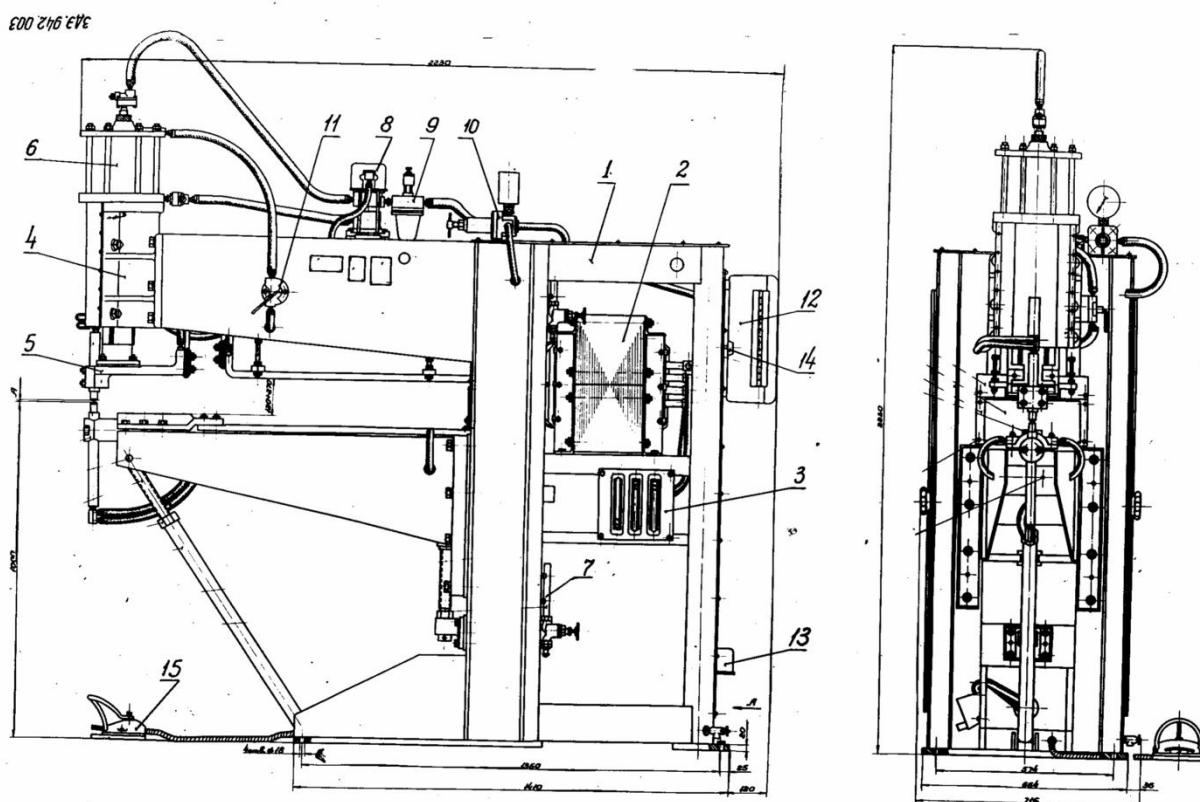


Рисунок 2.2 – Конструкция машины для контактной сварки МТПУ-300

Таблица 2.1 – Техническая характеристика машины контактной сварки МТПУ-300

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Напряжение сети, В	380
2	Частота питающей сети. Гц	50
3	Действующее значение номинального первичного тока, А	800
4	Величина номинальной полной мощности, кВА	300
5	Величина номинальной продолжительности включения, %	8
6	Действующее значение номинального вторичного тока, кА	32
7	Ступень сварочного трансформатора, принятая за номинальную	15
8	Вес машины, кг	850

2.2 Методика экспериментального включения

Особенности электрических процессов в ходе контактной сварки определяли путём экспериментальной сварки и измерения сварочного тока, которое проводили со стороны первичного и вторичного контура контактной сварочной машины (рис. 2.3).

Измерение тока I_2 во вторичном контуре контактной машины производили с использованием датчика тока (пояса Роговского), который размещали на хоботе во вторичном контуре. Выходные разъёмы датчика тока подключали к каналу «1» регистратора РКДП-0401.

Измерение тока I_1 в первичном контуре контактной машины производили с использованием датчика тока (датчика Холла), который размещали на токоведущем проводе, Выходные разъёмы датчика тока подключали к каналу «2» регистратора РКДП-0401.

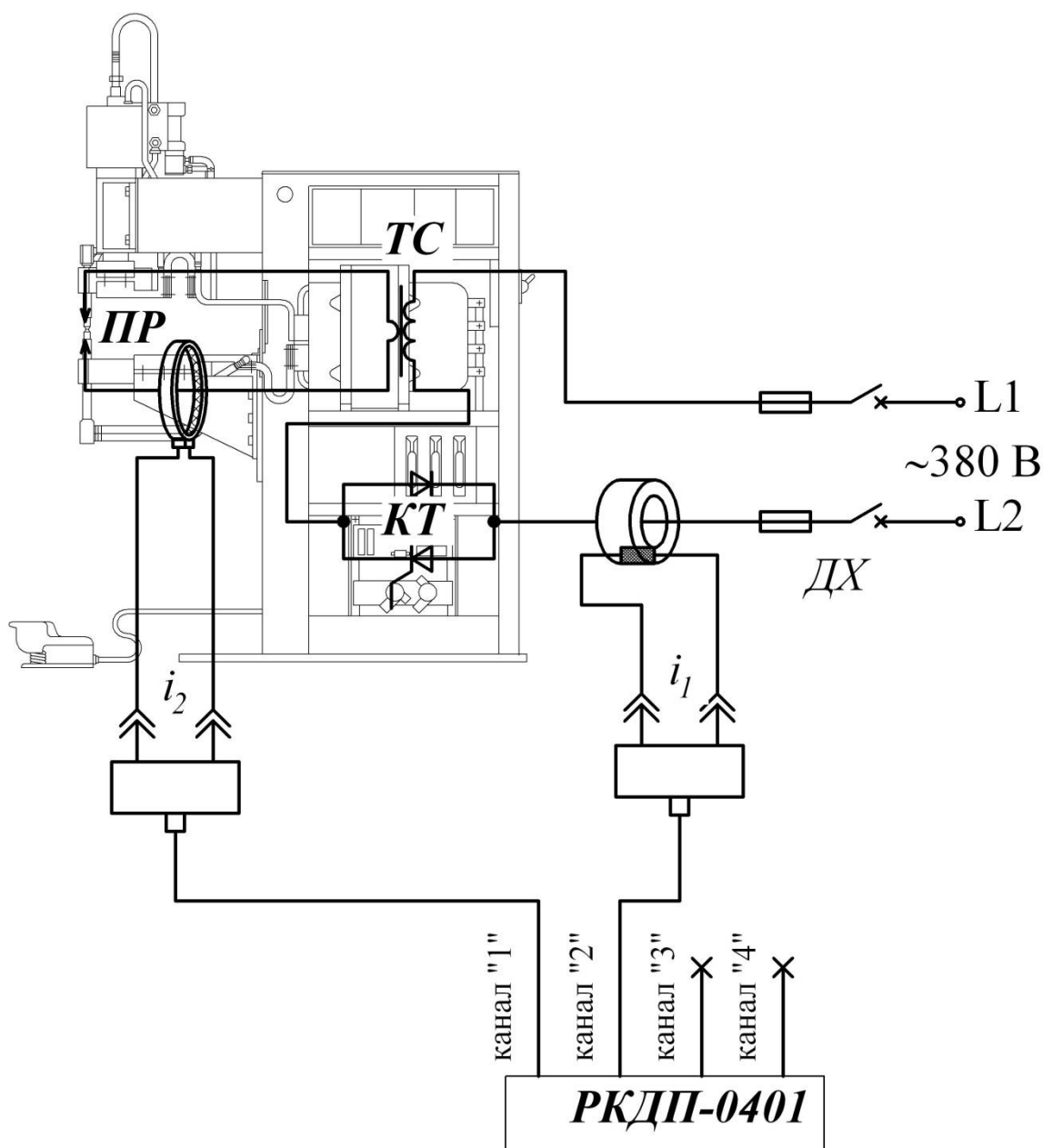


Рисунок 2.3 – Получение осциллограмм первичного и вторичного тока в ходе экспериментальной сварки на машине МТПУ-300

Были проведены эксперименты, результаты которых можно использовать при ответе на поставленные выше вопросы, а в ряде случаев и в качестве основания для разработки метода измерений тока. При проведении экспериментов ограничились временем измерений отрезком, соответствующим времени формирования отдельной сварной точки (как при точечной, так и при роликовой сварке). Было принято также, что тождественность режимов сварки можно установить с помощью макрошлифов по размерам литой зоны,

которые отражают прочность соединения. Очевидно, что для измерения тока проще было бы использовать амплитудное, среднее или действующее его значение. Однако анализ показывает, что их применение без дополнительных измерений других параметров не отвечает полностью задаче измерений.

Контактную машину готовили к экспериментальной сварке следующим образом:

1) Подключали датчик тока со стороны вторичного витка (рис. 2.4 а)

1.1 Размыкали кольцо воздушного трансформатора

1.2. Надевали датчик на нижний хобот

1.3. Замыкали кольцо воздушного трансформатора

1.4. Подключали выходы датчика тока к каналу "1" на РКДП-0401

2) Подключали датчик тока со стороны первичной контура контактной машины (рис. 2.4 б)

2.1 Расфиксировали крепление подводящего кабеля, идущего до силовых тиристорov контактной машины

2.2 Пропускали расфиксированный конец кабеля через кольцо датчика тока

2.3. Фиксировали крепление кабеля на панели силовых тиристорov

2.4. Подключали выходы датчика тока к каналу "2" на РКДП-0401.

3) Устанавливали необходимую ступень трансформатора (рис. 2.4 в)

3.1 Задавали необходимую ступень сварочного трансформатора

3.2 Устанавливали переключатель ступени в соответствии для выбранной ступени сварочного трансформатора

3.3 Запоминали коэффициент трансформации для выбранной ступени трансформатора

4) Устанавливали режим включения сварочной машины (рис. 2.4 г)

4.1 Руководствуясь показаниями манометра поворотом рукояти редукционного клапана устанавливали давление в пневматической системе контактной машины 5 атм;

4.2 Устанавливали требуемое значение угла открытия тиристорov и длительности импульса тока (0,12...0,20 секунды);

4.3 Задавали параметры режима при экспериментальном включении контактной машины в соответствии с табл. 2.2.

5) Размещали между сварочными электродами эталонное сопротивление (рис. 2.4 д)

5.1 Помещали между двумя пластинами из меди МЗ толщиной 10 мм лист из низкоуглеродистой стали толщиной 8 мм;

5.2 Размещали полученный блок между сварочными электродами

б) Производили включение машины и измерение токов в первичном и вторичном контуре (рис. 2.4 е)

6.1 Производили включение машины путём нажатия на педаль пуска

6.2 Снимали показания о действующем значении тока в первичном и вторичном контуре с использованием регистратора РКДП-0401.

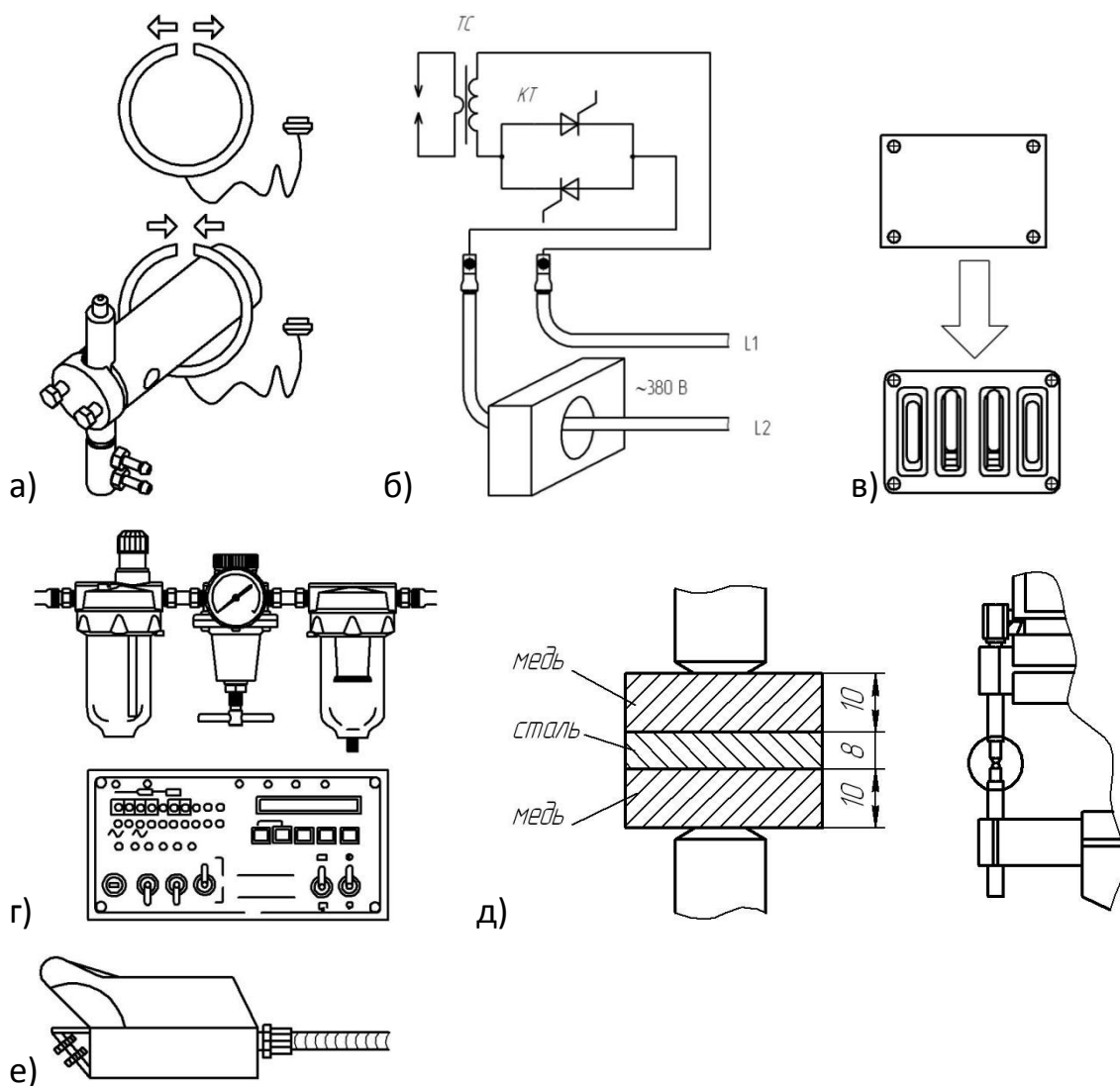


Рисунок 2.4 – Этапы подготовки машины МТПУ-300 к измерению токов

Таблица 2.2 – Параметры экспериментальной сварки и результаты измерения тока в первичном и вторичном контуре на машине МТПУ-300

Величина активного сопротивления участка «электрод-электрод»	Значение коэффициента трансформации на выбранной ступени трансформатора	Принятое значение угла открытия сварочных тириستоров	Величина измеренного действующего значения тока в первичном контуре	Измеренная длительность протекания импульса тока во вторичном контуре	Величина тока в первичной обмотке в момент окончания импульса тока во вторичном контуре	Измеренное действующее значение тока во вторичном контуре	Вычисленное через коэффициент трансформации и действующий первичный ток действующего вторичного тока
$R_{эз}$	K_m	α	I_1	t_λ	$i_1(t_\lambda)$	$I_{2\text{ изм}}$	$I_1 \cdot K_T$
мкОм	-	град	А	град	А	А	А
0	140	70	73	168	9,4	9000	10200
		100	44	130	5,1	5600	61000
		130	18	87	1,7	2400	2500
	80	70	208	166	9,7	15900	16600
		100	127	129	5,2	9900	10100
		130	152	86	1,8	4000	4200
100	140	70	56	153	11	6500	7800
		100	35	119	6,5	4300	4900
		130	15	81	2,3	1900	2100
	80	70	115	152	11,7	11600	12400
		100	99	118	6,6	7600	7900
		130	43	80	2,6	3300	3500

По результатам измерений производили построение диаграмм (рис. 2.5 и 2.6), на которых для наглядности мгновенные значения вторичного тока i_2 совмещали с мгновенными значениями первичного тока i_1 , масштабированного с учетом коэффициента трансформации на выбранной ступени.

Длительность протекания импульса вторичного тока i_2 меньше, чем длительность протекания первичного тока i_1 . Масштабированная величина первичного тока $I_1 \cdot K$ несколько превышает величину вторичного тока I_2 (рис. 2.5).

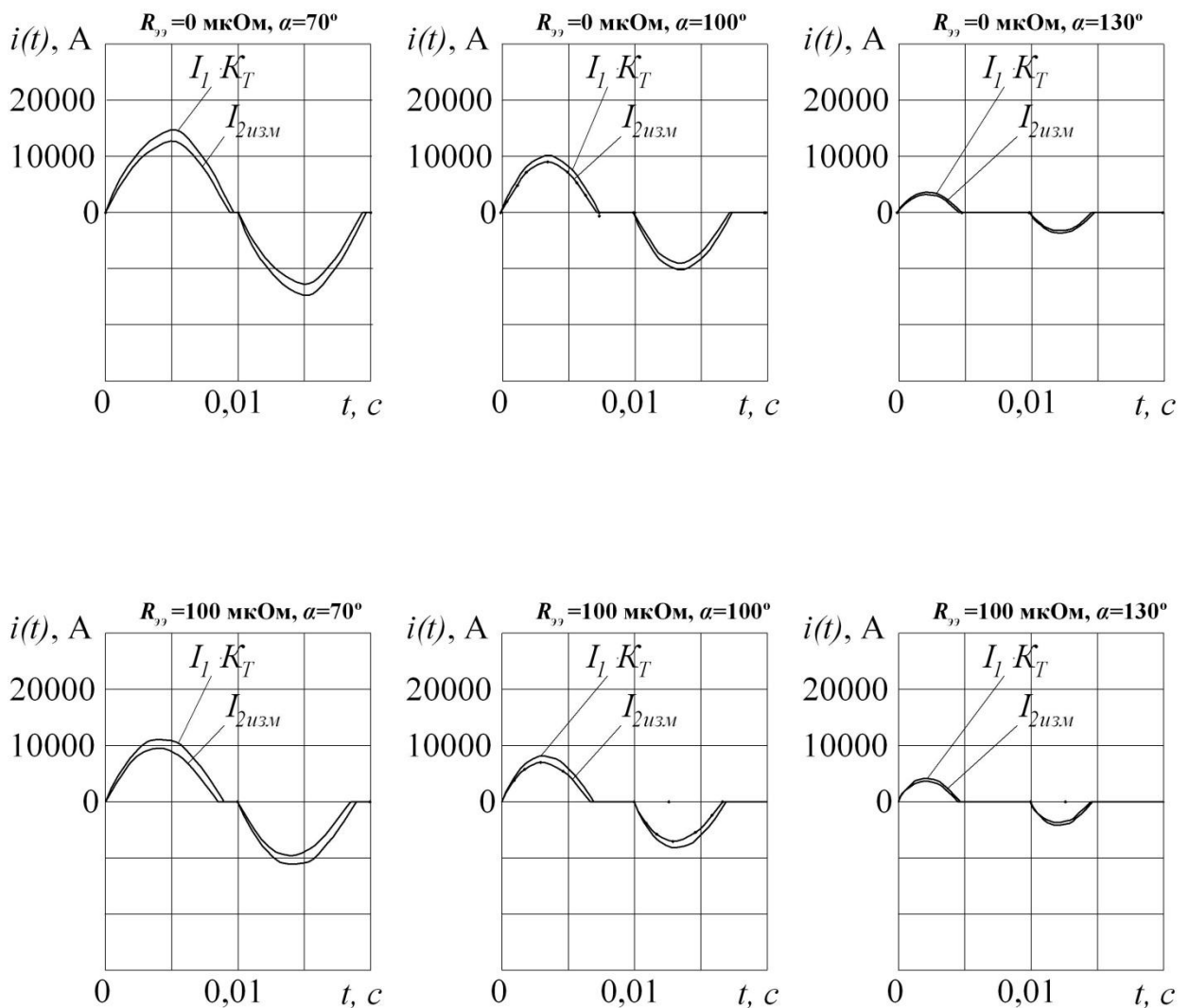


Рисунок 2.5 – Мгновенные значения вторичного тока контуре на I ступени сварочного трансформатора ($K_m=140$) измеренного $I_{2изм}$ и рассчитанного по току в первичном контуре $I_1 \cdot K_T$

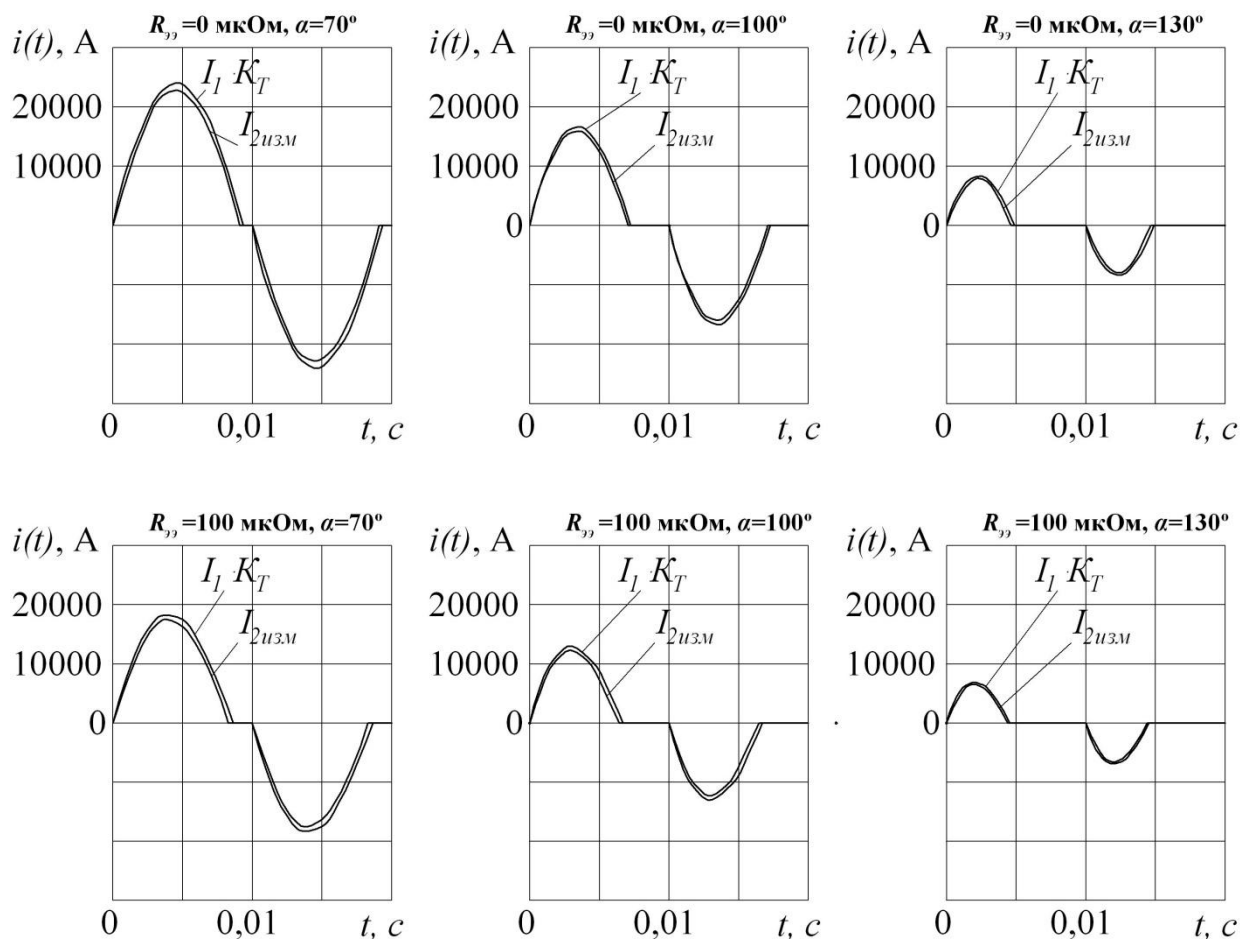


Рисунок 2.6 – Мгновенные значения вторичного тока на V ступени сварочного трансформатора ($K_m=100$) измеренного $I_{2изм}$ и рассчитанного по току в первичном контуре $I_1 \cdot K_T$

2.3 Методика измерения тока при контактной сварке

Контактная сварочная машина была представлена в виде Т-образной схемы замещения (рис. 2.7) [18, 19]. На этой схеме первичная обмотка сварочного трансформатора обладает индуктивностью L_1 и активным сопротивлением r_1 . В свою очередь, вторичный виток сварочного трансформатора обладает индуктивностью L_2 и активным сопротивлением r_2 . Было произведено приведение этих величин к первичной обмотке, в результате чего получены приведённая индуктивность L_2' и приведённое активное сопротивление r_2' . Вторичный контур контактной машины обладает индуктивностью $L_{2к}$ и активным сопротивлением $r_{2к}$. Было произведено приведение этих величин к первичной обмотке, в результате чего получены

приведённая индуктивность $L_{2к}'$ и приведённое активное сопротивление $r_{2к}'$. Участок «электрод-электрод» обладает активным сопротивлением $r_{ээ}$. Было произведено приведение к первичной обмотке этих величин, в результате чего получено приведённое активное сопротивление $r_{ээ}'$. При вычислениях также следует учесть, что сварочный трансформатор обладает индуктивностью намагничивания L_0 .

Когда на входы схемы осуществляют подачу первичного напряжения u_1 , в схеме начинают протекать токи. При этом в каждой ветви схемы протекает свой ток. Приведённый вторичный ток i_2' будет протекать через приведённые индуктивности вторичного витка и вторичного контура L_2' и $L_{2к}'$, приведённые активные сопротивления вторичного витка и вторичного контура r_2' и $r_{2к}'$ и приведённое сопротивление участка «электрод-электрод» $r_{ээ}'$. Ток намагничивания i_0 будет протекать через индуктивность намагничивания L_0 . Первичный ток i_1 будет протекать через индуктивность L_1 и активное сопротивление r_1 первичной обмотки трансформатора. Мгновенное значение тока i_2' может быть вычислено как разность токов i_1 и i_0 (рис. 2.8):

$$i_2' = i_1 - i_0. \quad (2.1)$$

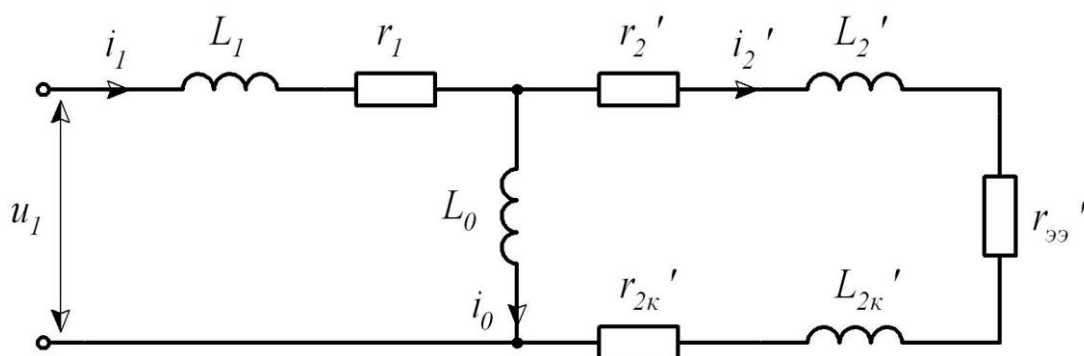


Рисунок 2.7 – Т-образная схема для замещения сварочного трансформатора, которую приняли в данной работе

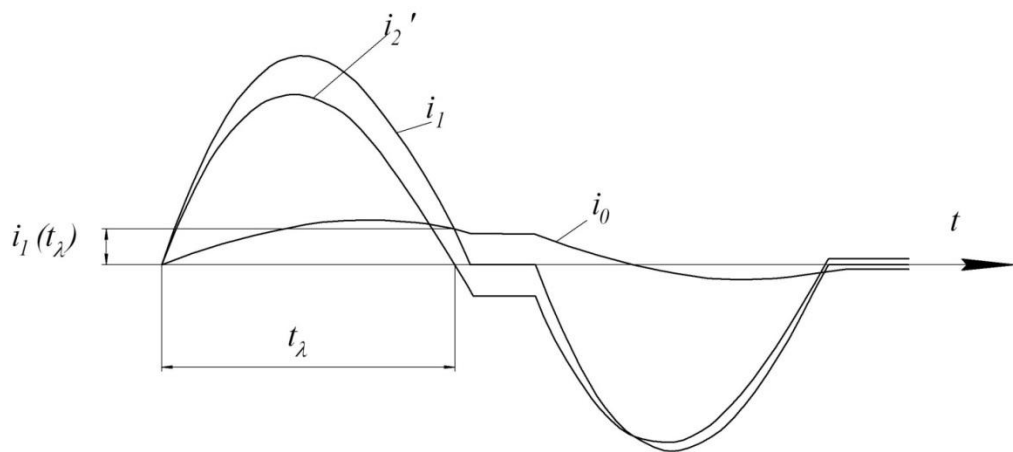


Рисунок 2.8 – Первичный и вторичный ток для контактной сварки

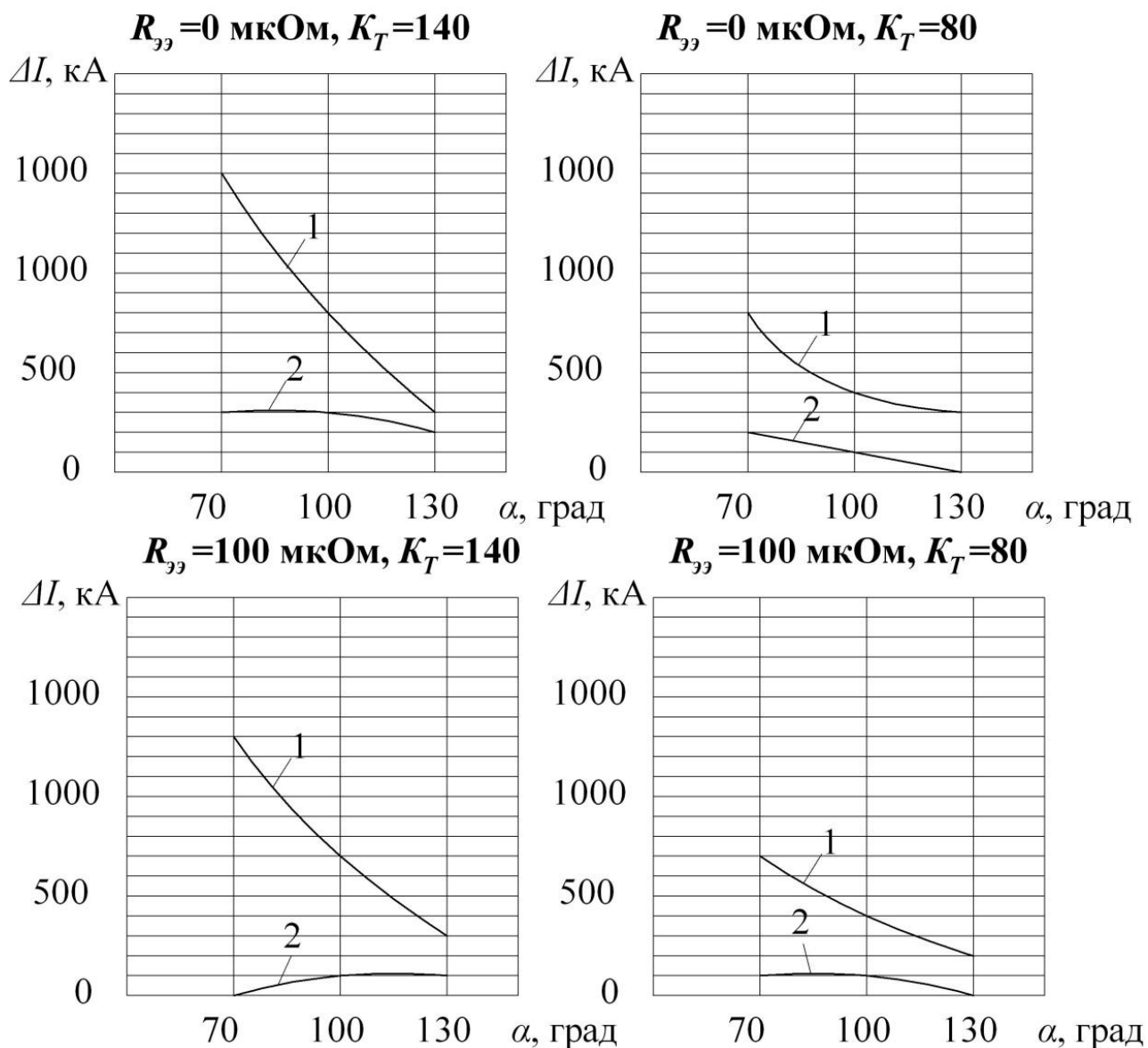


Рисунок 2.9 – Абсолютные значения погрешности при определении тока для контактной сварки через значения первичного тока и коэффициент трансформации – 1; по формуле (2.4) – 2

Действующее значение приведённого вторичного тока может быть вычислено с использованием выражения

$$I_2' = \sqrt{\frac{1}{0,5T} \int_0^{t_\lambda} (i_1 - i_0)^2 dt}, \quad (2.2)$$

в котором T – период сетевого напряжения, с.

В результате анализа формул (2.1) и (2.2), диаграмм токов i_0 , i_1 и i_2' (рис. 2.5, 2.6 и 2.8) можно сделать вывод, что величину действующего значения приведённого вторичного тока можно приближённо рассчитать по формуле

$$I_2' = I_1 - i_1(t_\lambda) \frac{t_\lambda}{0,5T}. \quad (2.3)$$

Формула (2.3) с учётом коэффициента трансформации K_T может быть преобразована как

$$I_2 = K_D \left[I_1 - i_1(t_\lambda) \frac{t_\lambda}{0,5T} \right], \quad (2.4)$$

где $0,5T$ – половина периода сетевого напряжения;

K_T – величина коэффициента трансформации на заданной ступени.

Погрешность вычислений по формуле (2.4) намного меньше, чем в случае обычного пересчёта первичного тока с учётом величины коэффициента трансформации (рис. 2.9).

2.4 Аппаратное обеспечение способа измерения тока

Предлагаемый способ измерения сварочного тока может быть реализован на стандартном оборудовании для контактной сварки, которое предусматривает наличие сварочного трансформатора $ТС$, тиристорного контактора $КТ$ (рис. 2.10). Аппаратное обеспечение способа измерения тока производится посредством датчика тока 1 , функционального блока 2 , формирователя действующего значения тока 3 , блока вычисления сварочного

тока 4, блока памяти 5, датчика длительности импульса 6 и функционального блока 2.

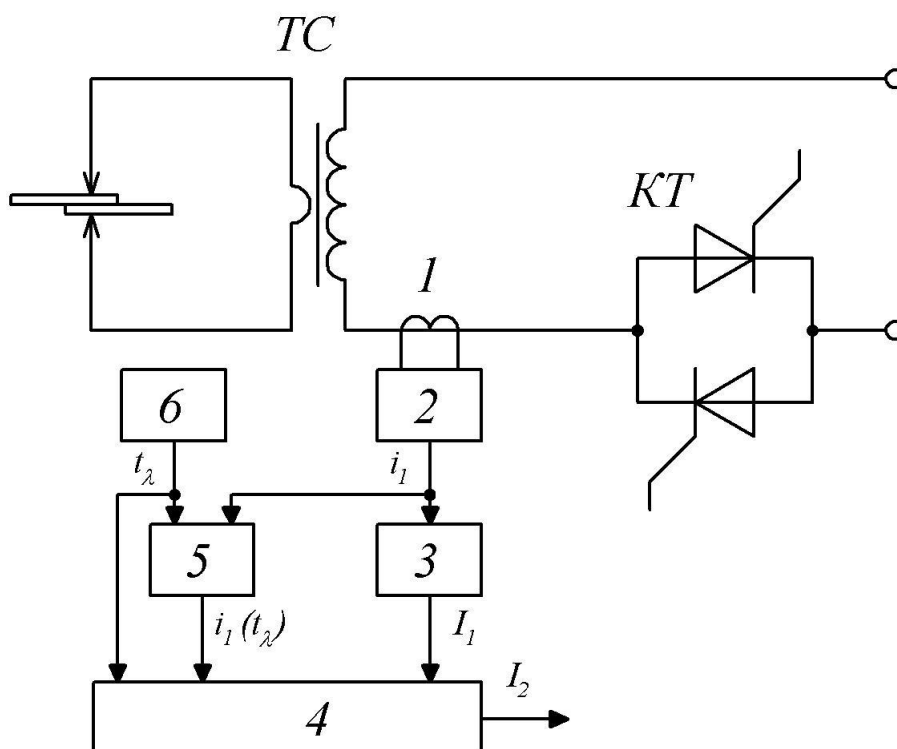


Рисунок 2.10 - Аппаратное обеспечение способа измерения сварочного тока

В момент появления сигнала о наличии первичного тока с датчика 1 происходит подача напряжения с его выхода на вход функционального блока 2. На выходе из функционального блока 2 величина напряжения становится пропорциональной значению первичного тока i_1 . Далее напряжение поступает на вход блока памяти 5 и вход формирователя действующего значения тока 3. В формирователе 3 вычисляется действующее значение первичного тока I_1 , которое передаётся в блок вычисления сварочного тока 4. Момент t_λ окончания протекания вторичного тока i_2 определяется датчиком 6, который подаёт сигнал в блок вычисления 4 и блок памяти 5. Блок памяти 5 осуществляет запоминание значения первичного тока i_1 в момент t_λ и передачу этого значения в блок вычисления 4. В блоке вычисления 4 производится расчёт сварочного тока по формуле (2.4). Реализация предложенного способа измерения тока произведена с использованием микропроцессорной схемы на базе микроконтроллера Atmel.

3 ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

3.1 Составление технологической характеристики объекта

В выпускной квалификационной работе были предложены мероприятия, предусматривающие расчётное определение величины сварочного тока 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 опасных или вредных производственных факторов
1	2	3
1. Подготовительная операция	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека 	Острые края образцов, сварочное оборудование
2. Сборка измерительного комплекса	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека; - повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне 	Машинка сварочная, измерительный комплекс

Продолжение таблицы 3.1

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

Таблица 3.2 - Выбор методов и средств по снижению воздействия каждого опасного и вредного производственного фактора

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. Острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;	Проведение периодического инструктажа, разъясняющего работникам вопросы техники безопасности	Перчатки, спецодежда.
2. Подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин	Наносить предупреждающие надписи, выполнять соответствующую окраску, применять ограждения	-
3. Высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов	Проведение периодического инструктажа, разъясняющего работникам вопросы техники безопасности	Спецодежда, перчатки
4. Риск замыкания через тело человека электрической цепи, имеющей повышенное значение напряжения	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-
5. Повышенное значение в рабочей зоне уровня инфракрасной радиации	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	-
6. Повышенное значение в рабочей зоне напряжённости магнитного поля	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	

3.2 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта

Таблица 3.3 - Выявление класса и формулирование опасных факторов возможного 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 изделей высокого напряжения; термохимическое действие используемых при пожаре огнетушащих веществ, на предметы и людей

Таблица 3.5 - Технические средства, обеспечивающие пожарную безопасность технологического объекта

Перечень первичных средств для проведения тушения возгорания	Перечень мобильных средств для проведения тушения возгорания	Перечень стационарных систем и установок для проведения	Пожарная автоматика для проведения тушения возгорания	Перечень пожарного оборудования, для проведения	Перечень средств индивидуальной защиты и спасения людей, применяющихся при пожаре	Перечень пожарного инструмента для проведения тушения	Перечень пожарной сигнализации, связи и систем оповещения
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-10	Пожарные машины (вызываются)	-	-	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка оповещения о факте возникновения пожара

Таблица 3.6 – Перечень организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Наименование технологического процесса	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности
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 – Выявление и анализ вредных экологических факторов, сопровождающих внедрение проектной технологии

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 – Проведение организационно-технических мероприятий, направленных на снижение отрицательного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Рассматриваемый технический объект в рамках проектной технологии	Лаборатория контактной сварки
Мероприятия, позволяющие снизить негативное антропогенное воздействие на литосферу	Необходимо предусмотреть установку контейнеров, позволяющих селективный сбор бытового мусора и производственных отходов. Необходима установка отдельного контейнера для сбора металлолома. На контейнеры следует нанести соответствующие надписи. Необходимо проведение инструктажа среди производственного персонала по вопросу правильного складывания в контейнеры мусора и отходов.

3.4 Оценка напряженности магнитного поля как опасного фактора при контактной сварке

В настоящее время контактная электросварка нашла широкое применение в отдельных отраслях промышленности России и является одним из ведущих технологических процессов современного производства. Имеется большой парк электрооборудования и машин различных типов и назначения мощностью от нескольких до сотен киловольт на ампер, в основном это машины переменного тока частотой 50 Гц.

При эксплуатации этих машин генерируются магнитные поля значительной напряженности, превышающей значение, которое регламентируется старыми санитарными нормами, в несколько раз [22]. Магнитное поле такой интенсивности может влиять на здоровье обслуживающего персонала, обуславливая определенные негативные функциональные изменения в организме из-за воздействия на сердечно-сосудистую, нервную, мочеполовую, эндокринную и другие системы. В связи с этим возникла необходимость в контроле электромагнитной

обстановки на рабочих местах сварщиков и обеспечении безопасных условий их труда. Актуальность этой задачи возросла с введением в Российской Федерации в действие новых нормативов , регламентирующих условия безопасности при работе с источниками электромагнитных полей и учитывающих современные медицинские исследования.

При контактной электросварке в рабочей зоне создаются импульсные МП. На рабочих местах сварщиков основными источниками данных полей являются не полностью экранированный корпусом машины сварочный трансформатор и, как правило, неэкранированные силовые элементы сварочного контура (электроды, свечи, консоли, шины), а также токоведущие кабели и свариваемые изделия сложной формы. МП, образующиеся при контактной электросварке в различных частотных диапазонах, и общая методика определения их уровней описаны в работе [22].

Разработка средств защиты сварщиков от электромагнитного излучения при обслуживании машин контактной точечной сварки в ручном режиме, должна предусматривать использование всех возможных способов снижения магнитного излучения до регламентируемого уровня, а именно: защиту расстоянием; защиту временем; защиту оптимизацией режимов сварки; использование новых способов сварки с более приемлемыми физическими параметрами электрического тока с санитарной точки зрения и новыми принципами регулирования тепловложения при выполнении сварного соединения; экранирование токоведущих элементов сварочного контура с сохранением максимально возможного рабочего пространства; применение индивидуальных экранирующих средств; мониторинг магнитной обстановки на рабочем месте самим сварщиком с помощью сигнализатора уровня магнитного поля.

3.5 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. Сбор информации о применяемых в настоящее время при изготовлении сварочного оборудования прерывателях электрического тока.	1.1. Проведение анализа и изучения принципов работы различных видов прерывателей электрического тока. 1.2. Проведение анализа преимуществ и недостатков использования тиристорных контакторов на однофазных машинах переменного тока. 1.3. Проведение анализа характеристик выпускаемых промышленностью тиристорных контакторов. 1.4. Обоснование использования тиристорных контакторов при осуществлении фазового управления контактной сваркой.
2. Проведение математического моделирования электрических процессов	2.1. Начальные упрощения, входные и выходные параметры модели. 2.2. Математическое описание зависимостей в модели. Численная реализация в системе MathCAD.

Продолжение таблицы 4.1

1	2
3. Апробация предложенных методик и математической модели при расчете параметров работы контактной сварочной машины.	3.1. Формулировка расчётного алгоритма и методики вычислений. 3.2. Задание диагностических факторов и проведение вычислительного эксперимента. 3.3. Вычисление параметров комплексного сопротивления контактных сварочных машин при помощи аппроксимирующих зависимостей. 3.4. Структура системы автоматического управления оборудованием для контактной точечной сварки с использованием предложенных математических зависимостей.
4. Графическое и наглядное представление результатов научно-исследовательских работ.	4.1. Составление отчета, который отражает прохождение всех этапов научной работы. 4.2. Сформулировать выводы по проведенной работе. 4.3. Предложить рекомендации по использованию результатов научной работы и направления дальнейшего исследования. 4.4. Составить фактический график выполнения научных работ и проанализировать причины отклонения от принятого ранее плана проведения работ. 4.5. Рассчитать фактически произведённые материальные затраты (составление калькуляции).

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_{min} – величина оптимистической трудоёмкости;

T_{max} – величина пессимистической трудоёмкости.

Таблица 4.2 – Значение трудоёмкости каждого этапа научно-исследовательских работ

Трудо- емкость в челове- коднях	№ этапа научно-исследовательских 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 _{min}	2	1	2	3	4	7	2	12	4	2	1	3	10	2	1	4
T _{max.}	4	3	3	6	5	9	5	17	7	5	5	6	13	4	3	5

Результаты по расчету величины Тож сведём в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Величина ожидаемой трудоёмкости

Тож, в челове- коднях	№ этапа научно-исследовательских 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
	3	2	2,5	4	4,5	8	3	14	5	3	2,5	4	11	3	2	4,5

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

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

Ч – принятое для каждого этапа число исполнителей.

$$T_{НИР} = \sum T_{ЭТ}$$

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 научно-исследовательских работ

№ этапа	Численность исполнителей			
	Инженер	Рабочий	Техник	Всего исполнителей
1	2	3	4	5
1.1.	1	–	1	2
1.2.	1	–	1	2
1.3.	1	–	1	2
1.4.	1	–	1	2

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5
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 расчета величины Тэт сведём в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Продолжительность каждого этапа научно-исследовательской работы

Тэт, чел/дн.	№ этапа научно-исследовательских 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
	1,5	1	1,5	2	4,5	8	3	5	2	1,5	1,5	2	5,5	1,5	1	2,5

При расчёте суммарной длительности научно-исследовательской работы получено: $T_{\text{нир}} = \sum T_{\text{эт}}$; $T_{\text{нир}} = 44$ дня.

Величину удельного значения каждого этапа работы определим с использованием зависимости:

$$U_{\text{д}_{\text{эт}}} = \frac{T_{\text{эт}}}{T_{\text{нир}}} \cdot 100\%. \quad (4.3)$$

Расчёт нарастания технической готовности производим последовательным сложением удельных значений каждого этапа научно-исследовательской работы.

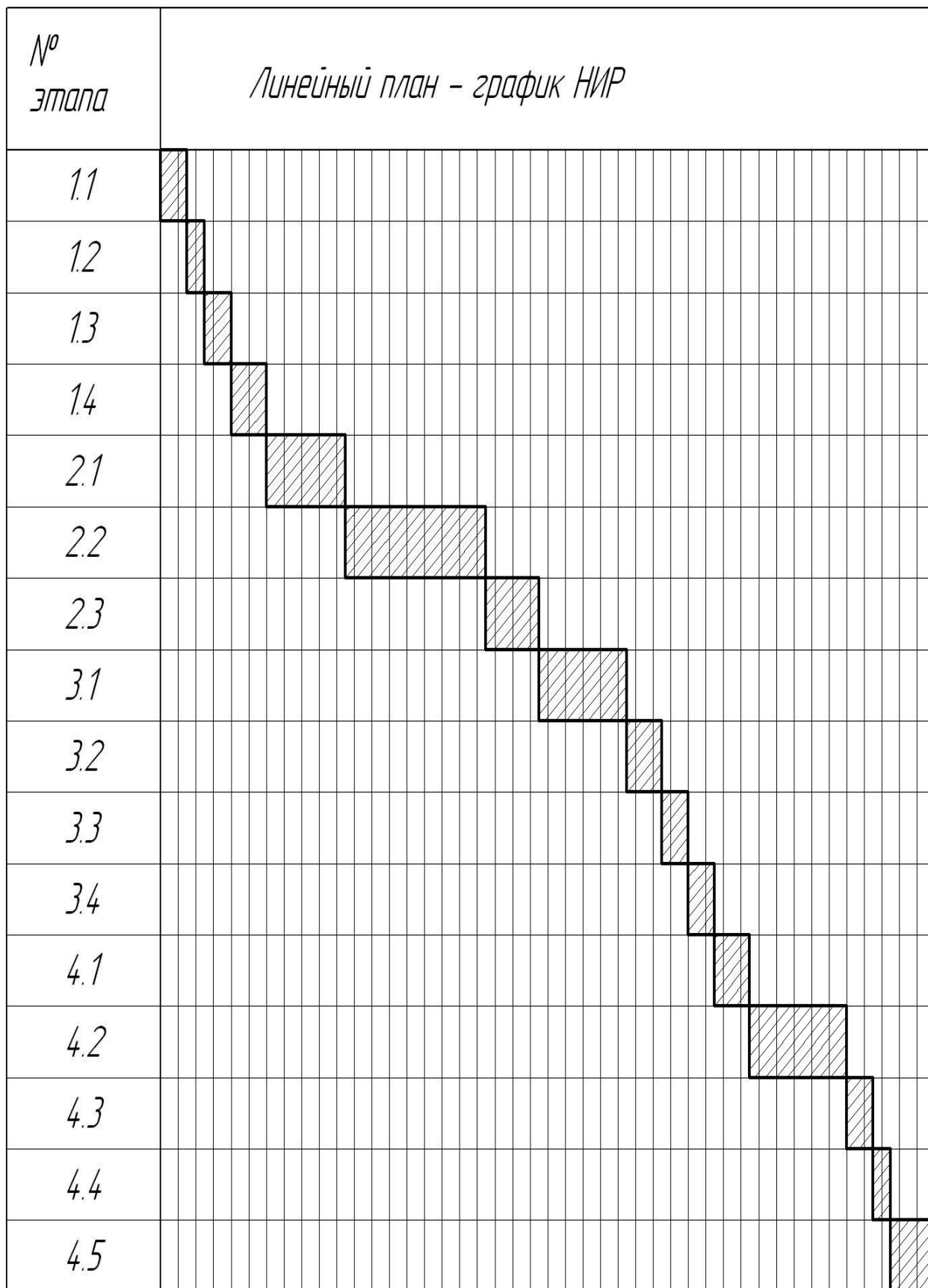


Рисунок 4.1 – Линейный план-график проведения научно-исследовательской работы

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

Уд.эт, %	№ этапа работы										
	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 работы										
	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 $\Phi\text{ЗП}$ – объемы фонда заработной платы;

Ос.с. – размер отчислений на социальное страхование;

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;

Нр – размер общих накладных расходов;

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:

$$\Phi\text{ЗП} = \text{ЗПЛ осн} + \text{ЗПЛ доп} \quad (4.5)$$

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

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

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.

$$\text{ЗПЛ осн} = (44 \cdot 349,2 \cdot 1,4 \cdot 1) + (44 \cdot 218,8 \cdot 1,4 \cdot 1) + (7 \cdot 196,7 \cdot 1,4 \cdot 1) = 36916,46 \text{ руб.}$$

Расчёт дополнительной заработной платы произведём с использованием зависимости:

$$\text{ЗПЛ доп} = 10\% \text{ от ЗПЛ осн} \quad (4.7)$$

$$\text{ЗПЛ доп} = 36916,46 \cdot 0,1 = 3691,65 \text{ руб.}$$

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	8380	349,2
2	Технический работник	5250	218,8
3	Вспомогательный рабочий	4720	196,7

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

$$\text{ФЗП} = 36916,46 + 3691,65 = 40608,11 \text{ рублей.}$$

Размер отчислений на социальное страхование определяем с использованием формулы:

$$\text{Ос.с.} = 40\% \text{ от ФЗП} \quad (4.8)$$

$$\text{О с.с.} = 0,4 \cdot 40608,11 = 16243,24 \text{ руб.}$$

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	Единица измерения	Количество расходных материалов	Стоимость расходных материалов, руб.
1.	Принтерная бумага	пачка	1/2	70
2.	Принтерные чернила	шутка	1	120
3.	Гелевая ручка	шутка	2	17
4.	Простой карандаш	шутка	2	12
5.	Ластика стирательный	шутка	1	4
6.	Линейки пластмассовая	шутка	1	3
7.	Стелер офисный	шутка	1	20
ИТОГО				246

ЗМ = 246 рублей.

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

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

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

N_a – принятое значение нормы амортизации применительно к оборудованию, для персонального компьютера величина $N_a = 54\%$;

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

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

$T_{раб.}$ – время, затрачиваемое на выполнение научно-исследовательских работ, принимаемое приблизительно 70 часов.

$$P_{\text{т.р.}} = \frac{\Sigma C_{\text{об}} \cdot N_{\text{т.р.}} \cdot k_3}{100 \cdot \Phi_p} \quad (4.11)$$

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, $\approx 35\%$.

Таблица 4.9 – Принятое значение стоимости оборудования

№ п/п	Применяемое оборудование	Принятое количество оборудования, (штук)	Стоимость единицы оборудования, (руб.)
1	Монитор LG «Flatron»	1	12000
2	Системный блок	1	15000
3	Принтер HP LaserJet 1300	1	11000
4	Сканер BenQ S2W 5250U	1	3300
5	Мышь	1	360
6	Клавиатура	1	300
Итого: суммарная стоимость применяемого оборудования 41960 руб.			

Размер режимного фонда времени работы оборудования ($\Phi_{\text{об}}$) определим путём расчёта по зависимости:

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

где $D_{\text{к}}$ – число календарных дней в году (365);

$D_{\text{вых.}}$ – число выходных дней в году (106);

$D_{\text{пр.}}$ – число праздничных дней в году (8);

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

S – принятое количество рабочих смен – 1;

$k_{\text{р.п.}}$ – принятое количество потерь времени на проведение технического обслуживания и переналадки применяемого оборудования (0,09).

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

$$A_{об} = \frac{41960 \cdot 54 \cdot 70}{100 \cdot 1827} = 868,14 \text{ руб.}$$

$$P_{т.р.} = \frac{41960 \cdot 35 \cdot 0,4}{100 \cdot 1827} = 3,2 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{об} = 868,14 + 3,2 = 871,34 \text{ руб.}$$

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

При использовании персонального компьютера:

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

где $M_{об}$ – мощность применяемого оборудования;

$Ц_{эл-эн}$ – стоимость одного кВт·часа электрической энергии;

КПД – значение коэффициента полезного действия оборудования;

$T_{раб}$ – время работы оборудования, (час).

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

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

$$P_{тех.эн.}^{монитор.} = \frac{0,1 \cdot 70 \cdot 1,1}{0,8} = 9,63 \text{ руб.}$$

$$P_{тех.эн.}^{сист.блок.} = \frac{0,3 \cdot 70 \cdot 1,1}{0,8} = 15,27 \text{ руб.}$$

$$P_{тех.эн.}^{принт.} = \frac{0,15 \cdot 70 \cdot 1,1}{0,8} = 14,44 \text{ руб.}$$

$$P_{тех.эн.}^{скан.} = \frac{0,1 \cdot 70 \cdot 1,1}{0,85} = 9,06 \text{ руб.}$$

Таблица 4.10 – Исходные данные, применяющиеся при расчёте затрат на электрическую энергию

№ п/п	Применяемое оборудование	Мощность Применяемого оборудования, (кВт)	Значение коэффициента полезного действия оборудования	Время работы оборудования, (час)
1	Монитор LG «Flatron»	0,1	0,8	70
5	Системный блок	0,3	0,8	70
2	Принтер HP LaserJet 1300	0,15	0,8	70
3	Сканер BenQ S2W	0,1	0,85	70

$$Z_{\text{тех.эн.}} = 9,63 + 15,27 + 14,44 + 9,06 = 48,4 \text{ руб.}$$

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

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

где $C_{\text{пл.}}$ – принятая цена одного м^2 производственной площади, рублей;

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

$S_{\text{пл.}}$ – общая площадь, которая занята оборудованием, применяемым для проведения научно-исследовательских работ, м^2 ;

$t_{\text{шт}}$ – время выполнения научно-исследовательской работы на производственной площади, (часов).

$$Z_{\text{пл.}} = \frac{3000 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 70}{100 \cdot 1827} = 13,79 \text{ руб.}$$

Размер общих накладных расходов составляет:

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

$$N_p = 0,55 \cdot 40608,11 = 22334,46 \text{ руб.}$$

Размер прочих прямых расходов составляет:

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

$$\text{РП пр} = 0,05 \cdot 40608,11 = 2030,41 \text{ руб.}$$

$$\text{К тек} = \text{ФЗП} + \text{Ос.с.} + \text{ЗМ} + \text{Зоб.} + \text{Зтех.эн.} + \text{Зплощ.} + \text{Нр} + \text{РП пр} \quad (5.19)$$

$$\begin{aligned} \text{К тек} &= 40608,11 + 16243,24 + 246 + 871,34 + 48,4 + 13,79 + 22334,46 + 2030,41 \\ &= 82395,75 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Таблица 4.11 – Себестоимость проведения научно-исследовательских работ

№	СТАТЬИ ЗАТРАТ	Условные обозначения	Величина затрат (руб.)
1	Размер основной заработной платы персонала	Зосн	36916,46
2	Размер дополнительной заработной платы персонала	Здоп	3691,65
3	Затраты на отчисления на социальные нужды	Осс	16243,24
4	Размер затрат на оборудование	Аоб	871,34
5	Размер затрат на технологическую энергию	З тех. эн.	48,4
6	Размер затрат на материалы	ЗМ	246
7	Размер затрат на производственные Площади	Зплощ.	13,79
9	Размер общих накладных расходов	Нр	22334,46
10	Размер прочих прямых расходов	РП пр	2030,41
	Себестоимость проведения НИР (текущие расходы)	$C_{\text{НИР}} = K_{\text{ТЕК}}$	82395,75

Расчёт общих затрат на проведение научно-исследовательских работ:

$$K_{\text{общ.}} = K_{\text{тек.}} = 82392,55 \text{ руб.}$$

Таким образом, объём затрат на проведение научно-исследовательских работ составляет 82392,55 руб.

Наибольшие расходы ожидаются по статье – фонд заработной платы персонала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении выпускной квалификационной работы проанализированы способы измерения сварочного тока на контактных машинах, сформулированы преимущества и недостатки, присущие каждому способу.

Предложенный способ измерения сварочного на контактных машинах предусматривает проведение измерений тока в первичном контуре контактной машины и измерение длительности импульса тока во вторичном контуре контактной машины. В ходе дальнейших вычислений определяется истинное значение вторичного тока. При применении этого способа упрощается измерительная аппаратура и повышается её помехозащищённость.

Экспериментальная сварка была проведена на машинах МТПУ-300 и МШП-200. Установлено, что применение предлагаемого способа измерения сварочного тока существенно повышает точность и помехозащищённость измерений по сравнению с ранее применяемыми способами измерений сварочного тока.

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 82 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. Кочергин, К. А. Контактная сварка / К. А. Кочергин // Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1987. – 240 с.
2. Орлов, Б.Д. Технология и оборудование контактной сварки / Б.Д. Орлов, А.А. Чакалев, Ю.В. Дмитриев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
3. Орлов, Б.Д. Контроль точечной и роликовой электросварки / Б.Д. Орлов, П.Л. Чулошников, В.Б. Верденский, А.Л. Марченко // М. : Машиностроение, 1973. – 304 с.
4. Оборудование для контактной сварки: Справочное пособие / Под ред. В.В. Смирнова. – СПб.: Энергоатомиздат, 2000. – 848 с.
5. Болотов, С.В. Управление размером литого ядра по величине энергии, выделяющейся в зоне контактной точечной сварки / С.В. Болотов, А.О. Воробьёв // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2008. – № 3. – С. 49–57.
6. Лашкари, М. Руководство по эксплуатации COSMOS / М. Лашкари. – Санта-Моника, 1989. – 326 с.
7. 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.
8. Руденко, П.М. Тиристорный преобразователь с непосредственной связью для питания контактных машин / П.М. Руденко, В.С. Гавриш // Автоматическая сварка. – 2013. – № 8. – С. 55–58.
9. Антонов, В.Ф. Системный анализ тепловых процессов при контактной сварке: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Пятигорск: Пятигорский государственный технологический университет. – 2011.

10. 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.
11. Лебедев, В.К. Системы питания машин для контактной сварки / В.К. Лебедев, А.А. Письменский // Автоматическая сварка. – 2001. – № 11. – С. 32–36.
12. Бердичевский А. Е. Многоэлектродные машины для контактной сварки. Л.: Энергоатомиздат, 1984. - 218 с.
13. Гуляев, А.Г. Технология точечной и роликовой сварки сталей в массовом производстве / А.Г. Гуляев // М.: Машиностроение. – 1987. – 246 с.
14. ГОСТ 297-80. Машины контактные. Общие технические условия. – Введ. 1983-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 27 с.
15. 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.
16. Банов, М.Д. Технология и оборудование контактной сварки: Учебник для студ. учреждений сред. проф. Образования / М.Д. Баннов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 224 с.
17. Гладков, Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке / Э.А. Гладков // М.: Академия. – 2005. – 430 с.
18. Рыськова З.А. Трансформаторы для электрической контактной сварки / З.А. Рыськова, П.Д. Фёдоров, В.И. Жемерева // Л.: Энергоатомиздат. – 1990. – 424 с.
19. 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.
20. Cho, Y. Primary Circuit Dynamic Resistance Monitoring and its Application on Quality Estimation during Resistance Spot Welding / Y. Cho, S. Rhee // Welding Journal. – June 2002. – P. 104–111.

21. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л. Н. Горина. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68 с.
22. Левченко, О.Г. Безопасный уровень напряженности электромагнитного поля при контактной сварке / О.Г. Левченко, В.К. Левчук // Автоматическая сварка. – 2008. – № 5. – С. 46–55.
23. Andrews, D.R. Quality assurance for resistance spot welding / D.R. Andrews, J. Broomhead // Welding Journal. – 1975. – № 5. – P. 158–162.
24. Gedeon, S.A. Measurement of dynamic electrical and mechanical properties of resistance spot welding / S.A. Gedeon, C.D. Sorensen, K.T. Ulrich, T.W. Eagar // Welding Journal. – 1987. – № 65 (12). – P. 378s–385s.
25. Патент № 59215285 Япония, МПК3 В 23 К 11/24. Method and device for controlling electric current for resistance welding machine / Koyakata Masato, Sakai Toyohiko; Заявл. 19.05.83, опубл. 05.12.84.
26. Патент № 5523541 США, МПК6 В 23 К 11/24. Method and apparatus for controlling constant current for resistance welding / Sakae Ishikawa; Заявл. 12.10.94, опубл. 04.06.96
27. Грачева, К. А. Экономика, организация и планирование сварочного производства: учебное пособие для студентов вызов, обучающихся по специальности "Оборудование и технология сварочного производства" / К. А. Грачева. – М. : Машиностроение, 1984. – 386 с.
28. Панащенко, Н. И. Нормирование расхода материалов и электроэнергии при контактной сварке / Н. И. Панащенко, Ю. В. Скульский, П. Л. Чулошников // Автоматическая сварка, 1996 – №1. – С 45–52.
29. Краснопевцева, И. В. Экономическая часть дипломного проекта: метод. указания / И. В. Краснопевцева – Тольятти: ТГУ, 2008. – 38 с.
30. 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.