

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 динамического сопротивления
при контактной сварке»

Студент	<u>В.В. Шокин</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

Активное сопротивление сварочной зоны состоит из сопротивления деталей, сопротивления контакта между деталями и сопротивлений контакта электродов с деталями. Изменение сопротивления сварочной зоны характеризует протекание металлургических процессов сварки, поэтому данный параметр обладает диагностической ценностью.

Целью бакалаврской работы является – повышение достоверности и производительности измерения сопротивления сварочной зоны при контактной сварке.

Проведенный обзор литературных источников позволил разработать методику измерения сопротивления между электродами при контактной сварке.

Апробация предложенной методики проводилась в лаборатории контактной сварки ТГУ. На основе полученных экспериментальных данных сделаны выводы о возможности ее применения на производстве.

Рассчитанная стоимость последующих исследований составляет 261 тыс. рублей.

Пояснительная записка состоит из 55 страниц, графическая часть включает в себя 6 листов формата А1.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДИАГНОСТИКИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ	
1.1 Характер сопротивления участка «электрод-электрод»	6
1.2 Обзор способы измерения сопротивления на участке между электродами	9
1.3 Постановка задач на выполнение бакалаврской работы	13
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ	
2.1 Математическая модель электрических процессов при контактной сварке	14
2.2 Экспериментальная база лаборатории контактной сварки ТГУ	23
2.3 Выводы по второй главе	31
3 ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	
3.1 Составление технологической характеристики объекта	33
3.2 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта	35
3.3 Экологическая безопасность технологического объекта	37
3.4 Заключение по экологическому разделу	39
4 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЁННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
4.1 Расчёт трудоемкости каждого этапа научно-исследовательских работ	40
4.2 Расчётное определение текущих, капитальных и общих затрат	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	53

ВВЕДЕНИЕ

Контактная сварка используется при производстве массовых сварных конструкций из-за высоких технико-экономических показателей. Популярность контактной сварки остается уже долгое время на стабильно высоком уровне. Так, например, доля контактной сварки в автомобильной промышленности составляет около 90 % [1, 2].

Во всем мире при производстве автомобилей ежегодно выполняются с помощью контактной миллиарды точечных сварок. При этом в среднем на один автомобиль приходится порядка 5000 сварных точек. Из-за низкой стабильности качества получаемых сварных точек производители автомобилей вынуждены их количество увеличивать на 30 %, чтобы компенсировать последствия возникновения некачественных соединений в сварных конструкциях [3].

Причиной нестабильности качества сварных соединений является влияние большого числа возмущений, к которым относятся: деградация электродов, наличие тока шунтирования, нагрев токоведущих частей сварочного контура, внесение в зону сварки ферромагнитных масс.

Для компенсации данных возмущений необходимо использование современных систем стабилизации и управления процессом сварки. Разработкой таких систем занимаются различные компании по всему миру. Среди них такие компании, как WeldTechnology Corp. (Америка), Электрик-Микс (Российская Федерация), Selma (Украина), Dengensha America (Америка) WocshRexroth (Германия), Spotron (Япония).

Активное сопротивление участка между электродами состоит из сопротивления деталей, сопротивления контакта между деталями и сопротивлений контакта электродов с деталями. Изменение сопротивления сварочной зоны характеризует протекание металлургических процессов сварки, поэтому данный параметр обладает диагностической ценностью

[4...10]. С помощью относительно простых математических моделей можно описать изменение сопротивления между электродами с высокой точностью [11].

Системы управления сваркой, основанные на анализе кривой изменения сопротивления между электродами, обладает следующим недостатком – снижение точности работы при отсутствии ярко выраженного максимума кривой.

Также недостатком таких систем является их низкая эффективность при сварке сталей с покрытиями из металла с низким электрическим сопротивлением, так как это приводит к снижению стабильности формы кривой изменения сопротивления между электродами [12].

Необходимо также отметить, что для получения кривой изменения сопротивления между электродами необходимо в процессе сварки измерять напряжение на электродах. При этом измерение напряжения проводится на удалении от торцов электродов, что вносит в измерения значительную погрешность.

Возникающие в процессе сварки электромагнитные помехи также вносят погрешность в измерение напряжения на электродах.

На основе выше сказанного можно заключить, что актуальной является цель бакалаврской работы – повышение достоверности и производительности измерения сопротивления сварочной зоны при контактной сварке.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДИАГНОСТИКИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

1.1 Характер сопротивления участка «электрод-электрод»

Активное сопротивление на участке между электродами при сварке 2 деталей одинаковой толщины складывается из следующих компонентов:

$$r_{\text{ээ}} = 2r_{\text{д}} + 2r_{\text{эд}} + r_{\text{дд}}, \quad (1.1)$$

где $r_{\text{д}}$ - сопротивление деталей; $r_{\text{эд}}$ - сопротивление контакта детали и электрода; $r_{\text{дд}}$ - сопротивление контакта деталей.

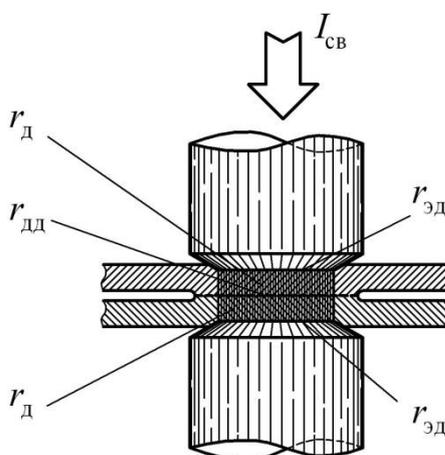


Рисунок 1.1 – Компоненты сопротивления $r_{\text{ээ}}$

При выполнении контактной сварки с точки зрения диагностики и управления процессом наибольший интерес представляют изменения активного сопротивления $r_{\text{ээ}}$ на участке между электродами на этапах образования контакта и зарождения литого ядра.

Этап образования контакта характеризуется снижением суммы сопротивлений $r_{\text{дд}} + 2r_{\text{эд}}$ и увеличением сопротивления деталей $r_{\text{д}}$ вследствие их нагрева, это показано на рисунке 1.2.

На этапе образования литого ядра вследствие увеличения площади контакта за счет расплавления металла происходит уменьшение сопротивления $r_{\text{ээ}}$ в несколько раз.

Форма графика изменения сопротивления $r_{\text{ээ}}$ между электродами зависит от многих факторов, таких как марка материала, толщина металла, характеристики импульса тока, геометрических характеристик наконечника электрода и т.д.

В большинстве случаев график изменения сопротивления $r_{\text{ээ}}$ на участке между электродами носит падающий характер. На рисунке 1.3 представлены примеры графиков $r_{\text{ээ}}$ для различных свариваемых материалов и при разных формах электродов.

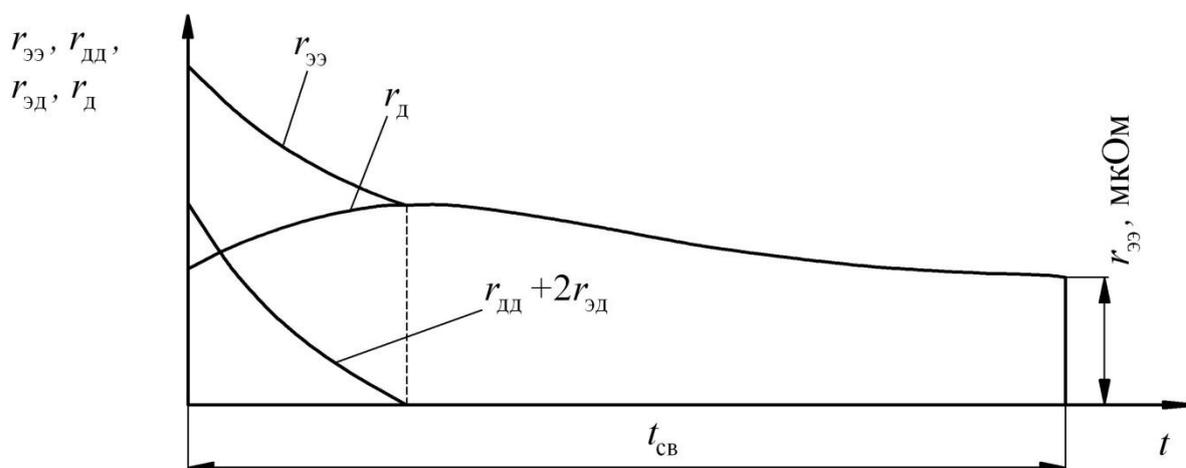


Рисунок 1.2 – Изменение в процессе сварки соотношения компонентов $r_{\text{ээ}}$

Кривую изменения в процессе сварки активного сопротивления на участке между электродами принято делить на следующие временные этапы (рисунок 1.4):

1. на первом этапе неровности поверхностей деталей пластически деформируются. Это увеличивает площадь контакта, что приводит к снижению сопротивления $r_{\text{ээ}}$;
2. На втором этапе продолжается деформация неровностей, но здесь также происходит и интенсивный нагрев деталей, который является причиной увеличения сопротивления $r_{\text{ээ}}$. С течением времени эффект от нагрева деталей усиливается, а от смятия неровностей уменьшается, что в общем итоге приводит к росту сопротивления $r_{\text{ээ}}$.

3. На третьем этапе интенсивный нагрев основного металла приводит к росту сопротивления $r_{\text{эз}}$.

4. На четвертом этапе основной металл деталей подвергается плавлению, общая литая зона деталей начинает расти. В момент времени, когда снижение сопротивления в результате роста расплавленной зоны уравнивается ростом сопротивления из-за нагрева – значение активного сопротивления на участке между электродами достигает локального максимума.

5. На пятом этапе размягченный металл продавливаются электродами, снижается путь прохождения сварочного тока. Результатом является снижение значения сопротивления $r_{\text{эз}}$.

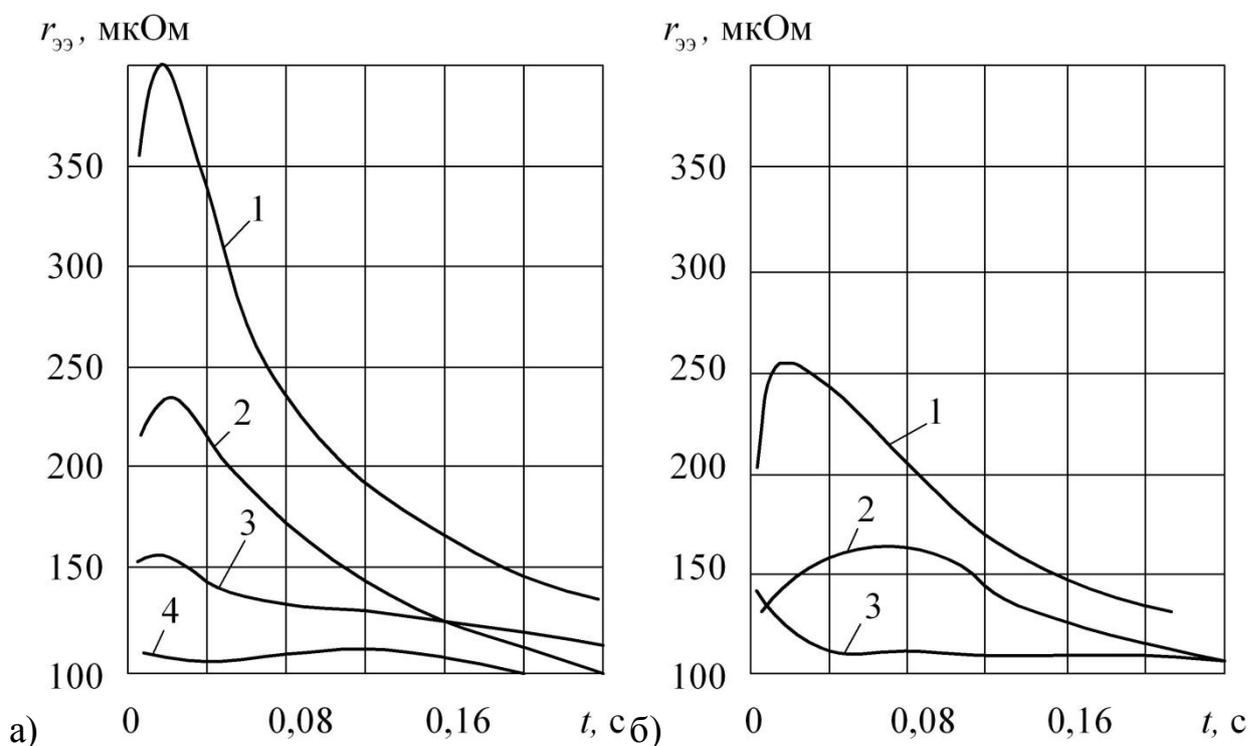


Рисунок 1.3 – Графики изменения $r_{\text{эз}}$ при сварке пакета заготовок толщиной 1,5+1,5 мм, из сплава ОТ4-1 (1), сталей ВНС2 (2), Х18Н9Т (3) и 08кп (4) толщиной 1.5+1.5 миллиметров: а) электродами со сферическим наконечником радиусом 75 мм; б) электродами с плоским наконечником диаметром 7 мм

Существующие системы управления процессом контактной сварки, основанные на наблюдении за изменением сопротивления между

электродами, работают следующим образом. В каждом полупериоде сетевого напряжения измеряется значение активного сопротивления $r_{эз}$, затем полученные значения сравниваются с кривой сопротивления $r_{эз}$, соответствующее качественной сварке. На основании отклонения от необходимого значения сопротивления система автоматического управления принимает корректирующие воздействия для следующих полупериодов сетевого напряжения. Если значение сопротивления $r_{эз}$ отклоняется от идеальных значений сильнее, чем это предусмотрено – сварка считается дефектной [14,15].

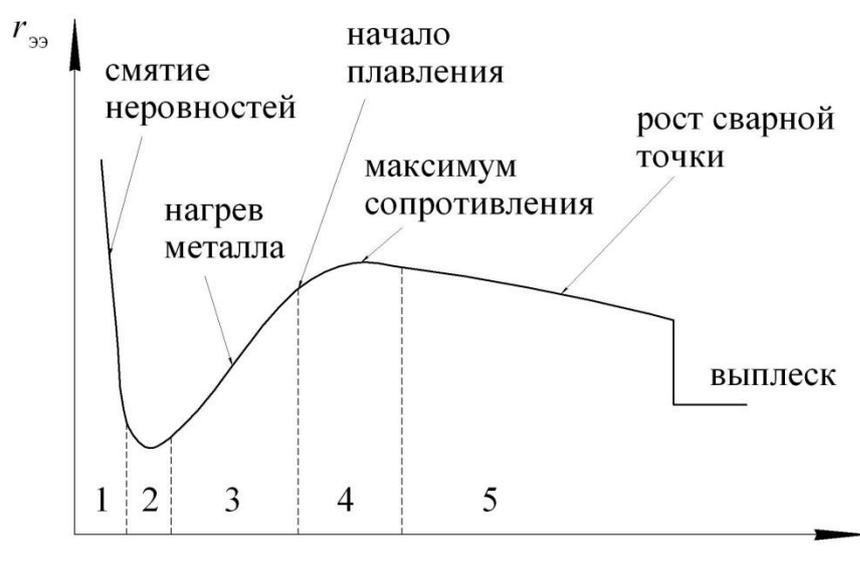


Рисунок 1.4 – Металлургические процессы, связанные с изменением сопротивления между электродами $r_{эз}$

1.2 Обзор способы измерения сопротивления на участке между электродами

При точечной контактной сварке измерение активного сопротивления на участке между электродами производится с использованием следующих способов [16]:

- по схеме (рисунок 1.5) с использованием микроомметра;
- по схеме (рисунок 1.6) «амперметра-вольтметра»;

- по схеме (рисунок 1.7) на сварочной машине.

Для выполнения измерения активного сопротивления на участке между электродами по схеме микрометра применяется логометр. Он состоит из пары рамок L_1 и L_2 , которая управляет стрелкой измерителя.

Сопротивление R_x , которое измеряет прибор, подключено к источнику E построенного тока. При этом в цепи также присутствует ограничительное сопротивление R_d и сопротивление измерительного шунта $R_{ш}$.

Для измерения сопротивления на участке между электродами прибор подключается к электродом при посредством двух щупов. Основными проблемами применения данного способа на практике является наличие погрешности в измерениях вызванных колебанием питания источника E , а также сложность обеспечения приемлемого для измерения контакта щупов и электродов. Также погрешность в измеряемые значения активного сопротивления вносит наличие сопротивления электродов.

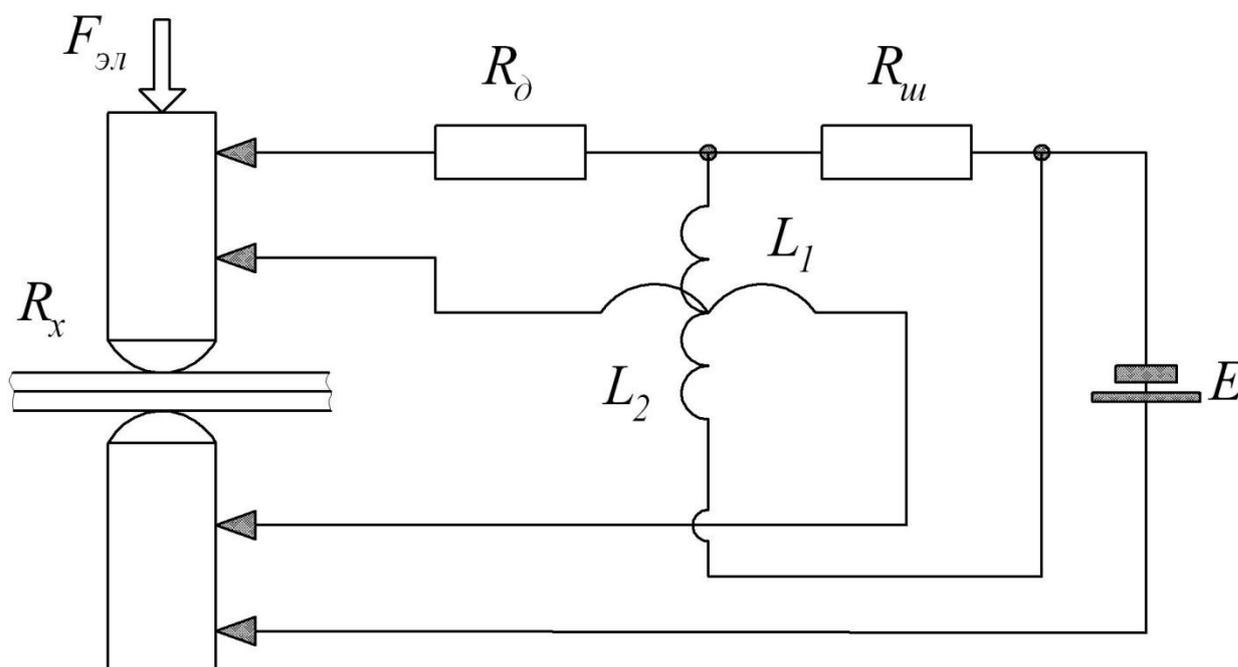


Рисунок 1.5 – Схема для измерения сопротивления на участке между электродами с использованием микроамметра

Для осуществления схемы «амперметр-вольтметр» измерения сопротивления участка между электродами R_x применяет источник

постоянного тока E , который подключается к электродам так, как это показано на схеме.

На основе показаний вольтметра и амперметра, используя закон Ома сопротивление R_x (напряжение делить на ток).

Преимуществом данной схемы измерения является независимость результатов измерений R_x от колебаний характеристик источника E . Данный способ не требует применения двойных щупов, что упрощает техническую реализацию данного способа.

При выполнении измерений необходимо правильно выбирать ток, выдаваемый источником E , так как большие значения тока приводят к быстрому нагреву сопротивления $R_{ш}$, а малые значения приводят к снижению точности измерений.

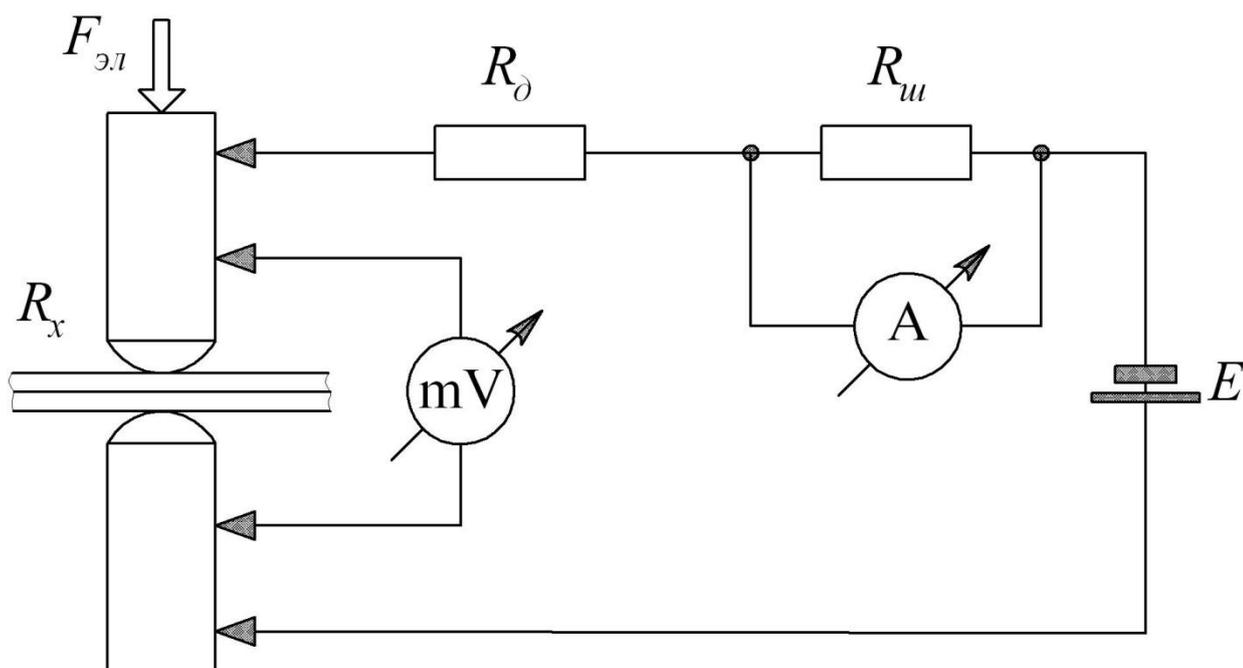


Рисунок 1.6 – Схема «амперметра-вольтметра» для измерения сопротивления на участке между электродами

Измерение активного сопротивления на участке между электродами на сварочном аппарате позволяет получить важное преимущество – возможность сквозного контроля всех сварных точек.

Схема измерения в данном случае основана на использовании дополнительного трансформатора с обмоткой, состоящей из нескольких

витков. На схеме данная обмотка обозначена, как ω_∂ , обмотка подключена через два сопротивления: ограничительное R_∂ и измерительное $R_{из}$.

Напряжение между электродами, снимается с помощью вольтметра, подключённого ко вторичному контура так, как это показано на схеме.

Недостатком данной схемы измерения сопротивления на участке между электродами является зависимость показаний от точности определения сопротивления вторичного контура. Другим недостатком данной схемы является усложнение конструкции сварочной машины из-за установки требуемых датчиков.

Метод непосредственного измерения на сварочной машине выбран за основу, в процессе проектирования планируется упростить сложность измерений и повысить их точность.

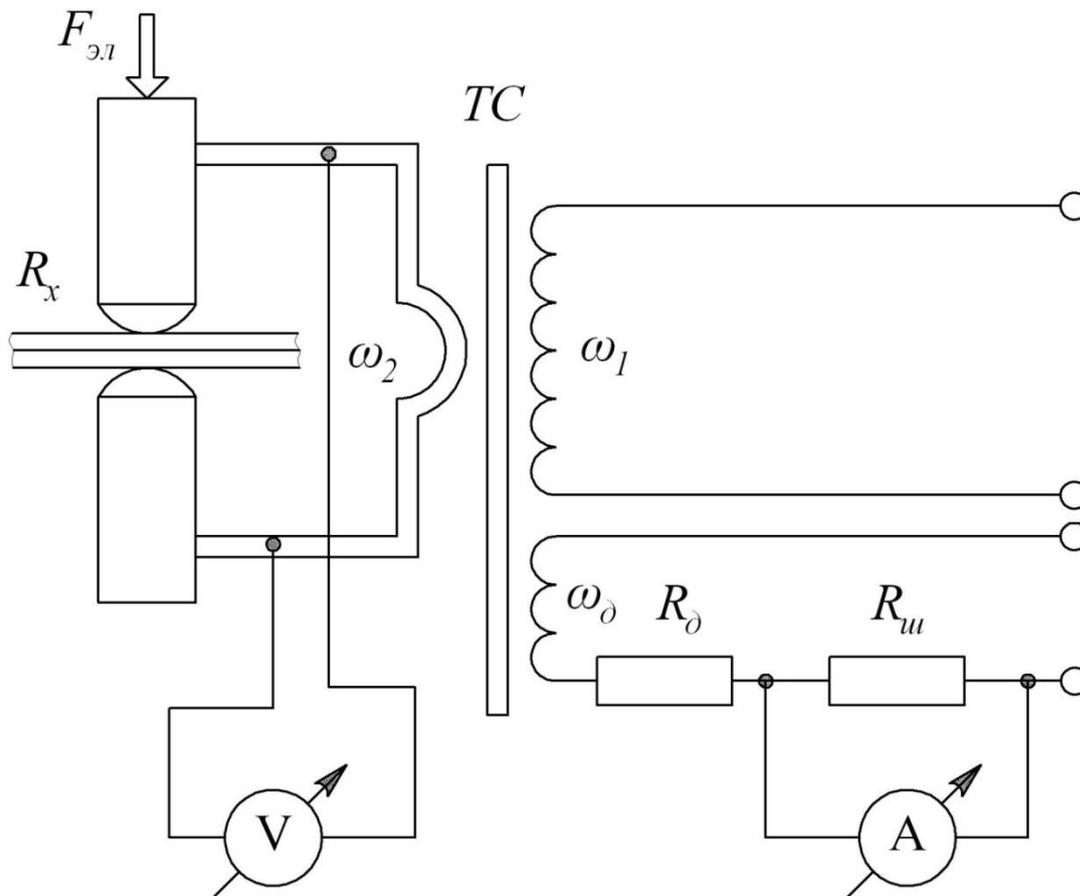


Рисунок 1.7 – Схема измерения сопротивления на участке между электродами на сварочной машине

1.3 Постановка задач на выполнение бакалаврской работы

Проведенный обзор литературных источников по теме измерения сопротивления на участке между электродами при контактной сварке позволил сделать следующие выводы:

- 1) Решены не все проблемы измерения сопротивления на участке «электрод-электрод», поэтому исследование данного вопроса в настоящее время является актуальной задачей;
- 2) Способ определения сопротивления на участке «электрод-электрод» на основе измеренных значений тока в сварочном контуре и напряжения на электродах сопряжен с рядом недостатком, которые в настоящее время не устранены.
- 3) Наблюдая за изменением коэффициента мощности $\cos \varphi$ в процессе сварки можно оценивать изменение сопротивления на участке между электродами, но точность такого подхода снижается из-за изменения индуктивного сопротивления при сварке (что также является причиной изменения $\cos \varphi$).
- 4) известные способы расчета сопротивления на участке между электродами по аналитическим зависимостям не учитывают изменение диаметра сварного ядра и глубины проплавления.

С учетом данных, полученных при анализе литературных источников, были сформулированы задачи, решение которых необходимо для достижения цели бакалаврской работы:

- 1) Исследовать возможность расчёта сопротивления на участке между электродами через активное сопротивление контура как в режиме короткого замыкания $R_{2к}$, так и в режиме сварки $R_{св}$
- 2) обосновать возможность проведения необходимых экспериментов на оборудовании лаборатории контактной сварки;
- 3) разработать метод измерения сопротивления r_{33} на участке между электродами и апробировать его в лаборатории контактной сварки.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ

2.1 Математическая модель электрических процессов при контактной сварке

Известной моделью электрической схемы сварочной машины является схема, основанная на результирующем активном сопротивлении $R_{2к}$ и результирующем индуктивном сопротивлении $X_{2к}$, которые учитывают в себе все компоненты сопротивлений сварочной машины (сопротивления контуров, трансформатора). Результирующие сопротивления приводятся ко вторичному контуру сварочной машины. Приведенная электрическая схема показана на рисунке 2.1 [17].

При этом свариваемые детали учитываются в приведенной схеме в виде изменяющегося во времени сопротивления r_s ,

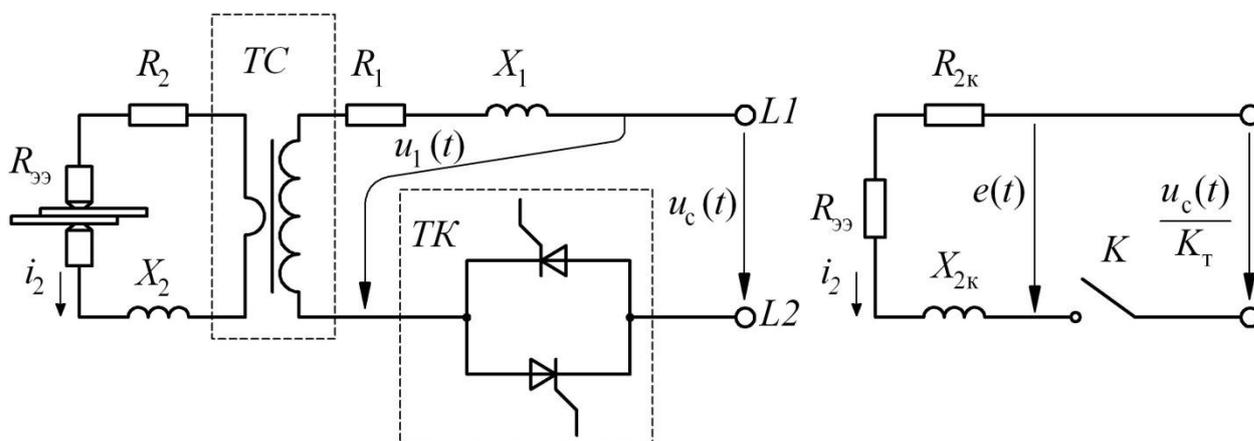


Рисунок 2.1 – Схема электрической части сварочной машины

В процессе сварки во вторичном контуре возникает напряжение u_2 , которое связано с сетевым напряжением u_c через коэффициент трансформации:

$$u_2 = \frac{u_c}{K_\delta} \quad (2.1)$$

где K_T – коэффициент трансформации, который зависит от выбранной ступени.

Работа персистерного контактора на схеме представленной выше моделируется с помощью ключа **К**. Ключ замыкается с задержкой α , относительно нулевого мгновенного значения напряжения u_c .

Таким образом, управление процессом сварки носит дискретный характер, так как задание значение α возможно один раз в период сетевого напряжения.

Длительность периода сетевого напряжения при частоте напряжения 50 герц составляет 0,02 секунды.

При пропуске импульсов тока со сжатыми электродами без расположения между ними деталей сварочная машина работает в режиме короткого замыкания. В этом режиме электрическую схему сварочной машины можно представить в виде соединённых друг за другом сопротивлений $R_{2к}$ и $X_{2к}$. Данная схема представлена на рисунке 2.2.

При этом значение сопротивления $R_{2к}$ выражается из треугольника сопротивлений (представленном на рисунок 2.2) так:

$$R_{2к} = Z_{2к} \cdot \cos \varphi_k \quad (2.1)$$

где, $Z_{2к}$ – полное сопротивление контура в режиме короткого замыкания, а $\cos \varphi_k$ – коэффициент мощности в режиме короткого замыкания.

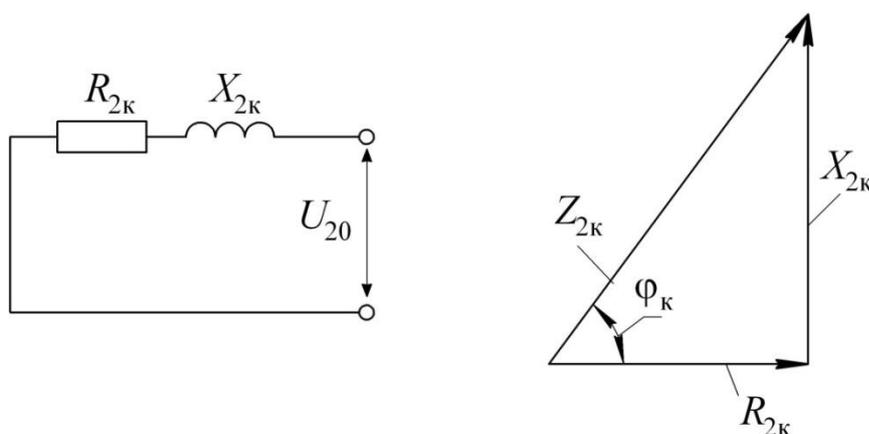


Рисунок 2.2 – Связь полного $Z_{2к}$, активного $R_{2к}$, индуктивного $X_{2к}$ сопротивлений и коэффициента мощности $\cos \varphi_k$

При сварке деталей треугольник сопротивлений меняется – один катет треугольника состоит из суммы сопротивлений $R_{2к}$, $r_{ээ}$, другой катет состоит из сопротивления $X_{2к}$, что показано на рисунке 2.3.

При этом сумма активных сопротивлений $R_{2к}$, $r_{ээ}$ и индуктивное сопротивление $X_{2к}$ связаны через полное сопротивление $Z_{2св}$ и коэффициент мощности в режиме сварки $\cos \varphi$ таким образом:

$$R_{2св} = R_{2к} + r_{ээ} = Z_{2} \cdot \cos \varphi. \quad (2.2)$$

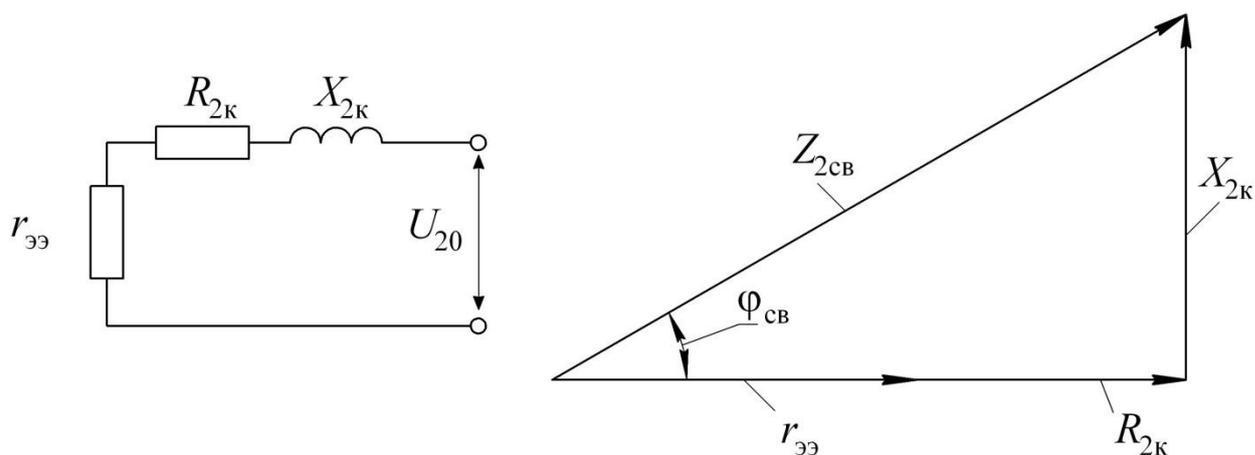


Рисунок 2.3 – Связь полного $Z_{2св}$, активного $R_{2к}$, индуктивного $X_{2к}$ сопротивлений и коэффициента мощности $\cos \varphi$

Определить значение коэффициента мощности $\cos \varphi$ в каждом периоде сетевого напряжения можно, зная значения α и λ , можно путем решения равенства относительно φ :

$$\sin(\lambda + \alpha - \varphi) / \sin(\alpha - \varphi) = \exp(-\lambda \operatorname{ctg} \varphi), \quad (2.3)$$

где α - угол фазовой задержки;

λ - длительность сварочного импульса (рисунок 2.4) [12].

С использованием выражения (2.3) могут быть графики $\cos \varphi$ для различных значений α и λ . Полученный рисунок 2.5 может быть использован для определения значения коэффициента мощности при известных значениях α и λ

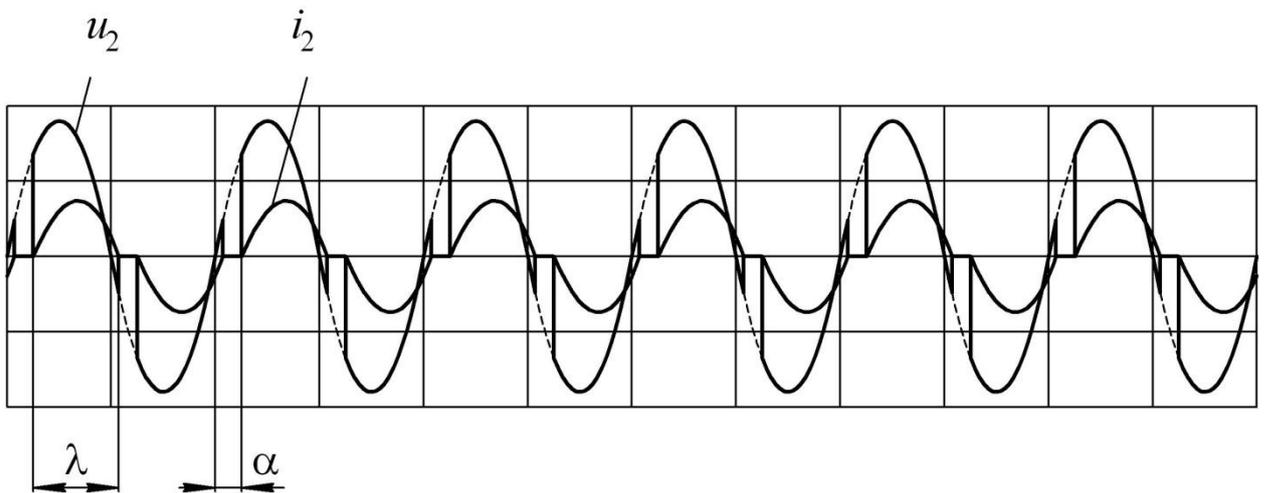


Рисунок 2.4 – Угол фазовой задержки α и длительность сварочного импульса λ на осциллограммах тока i_2 и напряжения u_2

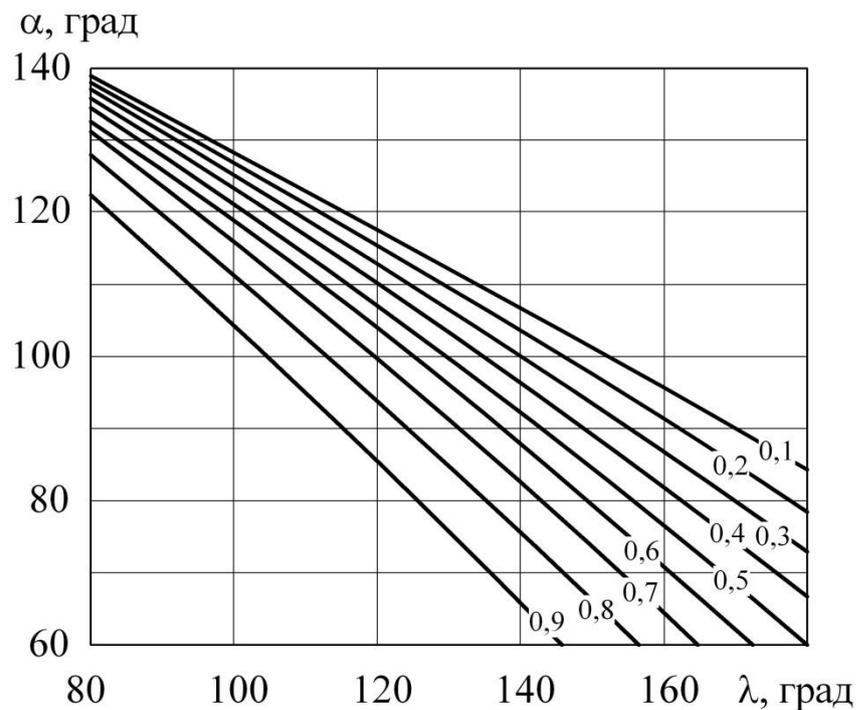


Рисунок 2.5 – Графики $\cos \varphi$ для различных значений α и λ

Сопротивление Z_k вторичного контура в режиме короткого замыкания и сопротивление $Z_{2св}$ контура в режиме сварки можно выразить через напряжение, коэффициент K_T трансформации, ток во вторичном контуре $I_{2к}$ и I_2 коэффициент регулирования k_i следующим образом:

$$Z_{2\hat{\epsilon}} = \frac{U_{\hat{n}}}{K_{\hat{\delta}} \cdot I_{2\hat{\epsilon}} / k_i}, \quad (2.4)$$

$$Z_{2\hat{n}\hat{a}} = \frac{U_{\hat{n}}}{K_{\hat{\delta}} \cdot I_2 / k_i}. \quad (2.5)$$

Расчет k_i осуществляется в соответствии с выражением [12]

$$k_i = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi} - \frac{\sin \lambda}{\pi \cos \varphi} \cos(2\alpha + \varphi + \lambda)}. \quad (2.6)$$

На основе равенства (2.6) были построены графики для определения k_i при различных значений α и λ (рисунок 2.6).

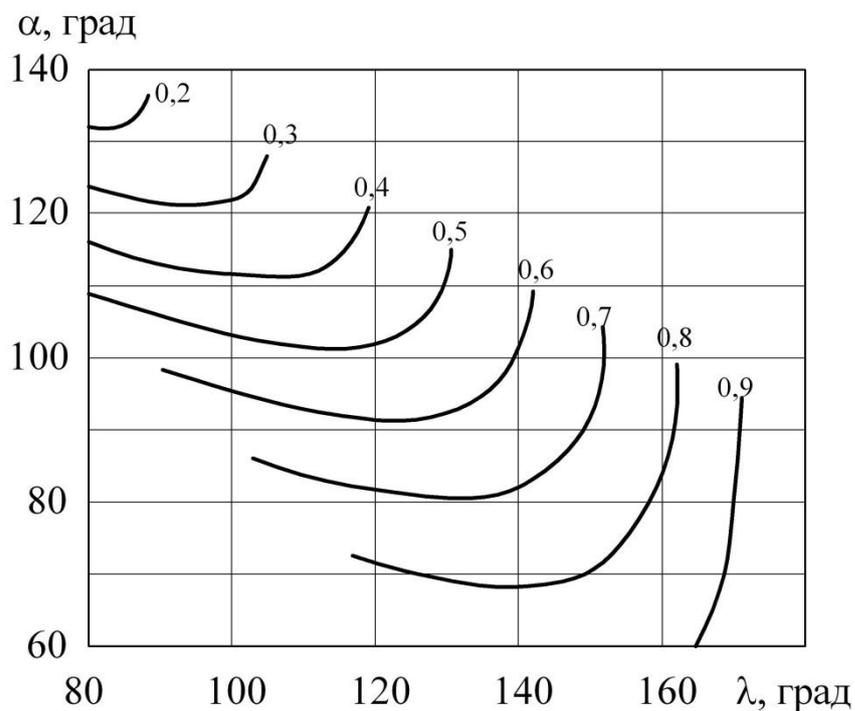


Рисунок 2.6 – Графики k_i для различных значений α и λ

На основе выражений (2.4) и (2.1), получаем формулу:

$$R_{2\hat{\epsilon}} = \frac{U_{\hat{n}}}{K_{\hat{\delta}} \cdot I_{2\hat{\epsilon}}} \cdot \cos \varphi_{\hat{\epsilon}} \cdot k_i. \quad (2.7)$$

На основе выражений (2.5) и (2.2), получаем формулу:

$$R_{2\hat{n}\hat{a}} = \frac{U_{\hat{n}}}{K_{\hat{\delta}} \cdot I_2} \cdot \cos \varphi_{\hat{n}\hat{a}} \cdot k_i. \quad (2.8)$$

Произведение $\cos \varphi$ и коэффициента k_i с использованием выражений (2.6) и (2.3) можно представить следующим образом:

$$p(\alpha, \lambda) = \cos \varphi \cdot k_i = \cos \varphi \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{\pi} - \frac{\sin \lambda}{\pi \cos \varphi} \cos(2\alpha + \varphi + \lambda)} \cdot \frac{\sin(\lambda + \alpha - \varphi)}{\sin(\alpha - \varphi)} = \exp(-\lambda ctg \varphi) \quad (2.9)$$

С использованием системы равенств (2.9) были построены графики для определения значения $p(\alpha, \lambda)$ в зависимости от величин α и λ (рисунок 2.7)

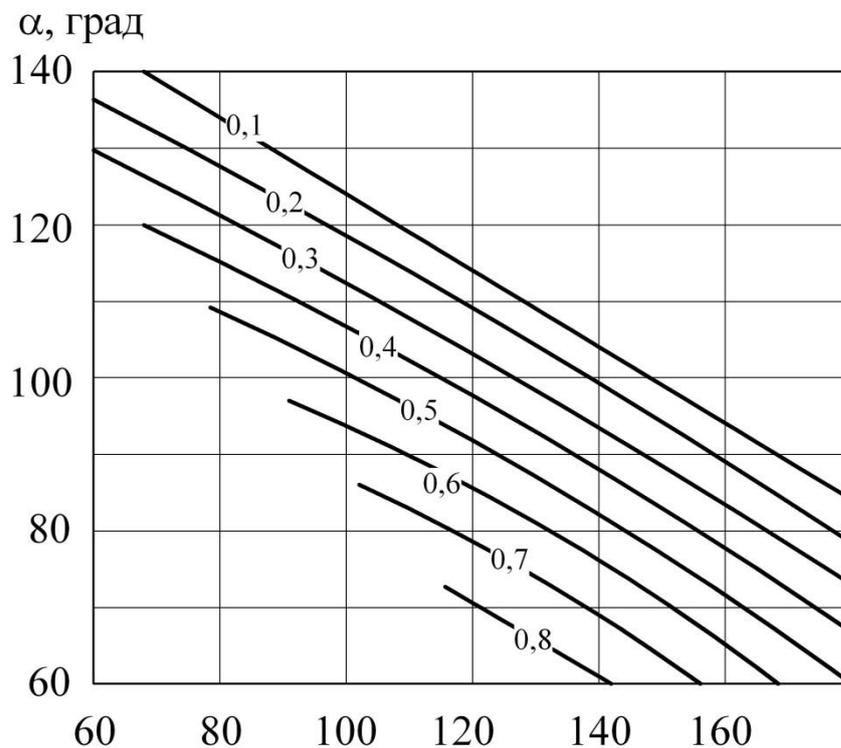


Рисунок 2.7 – Графики, для определения значения $p(\alpha, \lambda)$ в зависимости от величин α и λ

По результатам вычисления были построены графики, представленные на рисунке 2.8.

Анализ графиков, представленных на рисунке 2.8 позволяет сделать вывод, что функция $p(\alpha, \lambda)$ при фиксированных значениях α близка является линейной, а графики $p(\alpha, \lambda)$ при разных α расположены

параллельно. Это означает, что линейный коэффициент в зависимости от α не изменяется, а зависимость $p(\alpha, \lambda)$ можно представить в следующем виде:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + B_0, \quad (2.10)$$

где B_0 зависит от α , а A_λ можно принять за const для всех значений α .

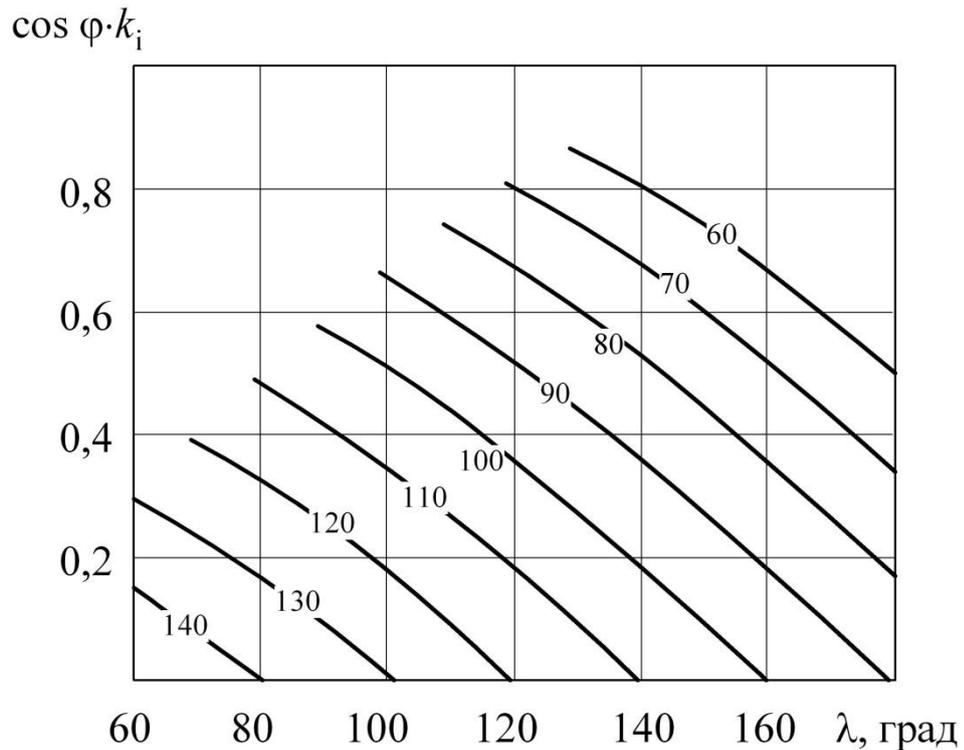


Рисунок 2.8 - Значения $p(\alpha, \lambda)$ в зависимости от величин α и λ (при фиксированных значениях α)

Для значений, α лежащих в диапазоне от 60 до 120 электрических градусов и значений $\cos \varphi$, лежащих в диапазоне 0,4 до 0,9, рассчитанные значения A_λ и B_0 представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения B_0 и A_λ для $p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + B_0$

α , эл. град	60	80	100	120	140
B_0	1,897	1,619	1,303	0,963	0,626
A_λ	-0,450				

Представленные в таблице 2.1 данные позволяют сделать вывод, о линейной зависимости B_0 от α (рисунок 2.9). Поэтому данная зависимость может быть аппроксимирована линейной функцией:

$$B_0(\alpha) = A_\alpha \cdot \alpha + A_0. \quad (2.11)$$

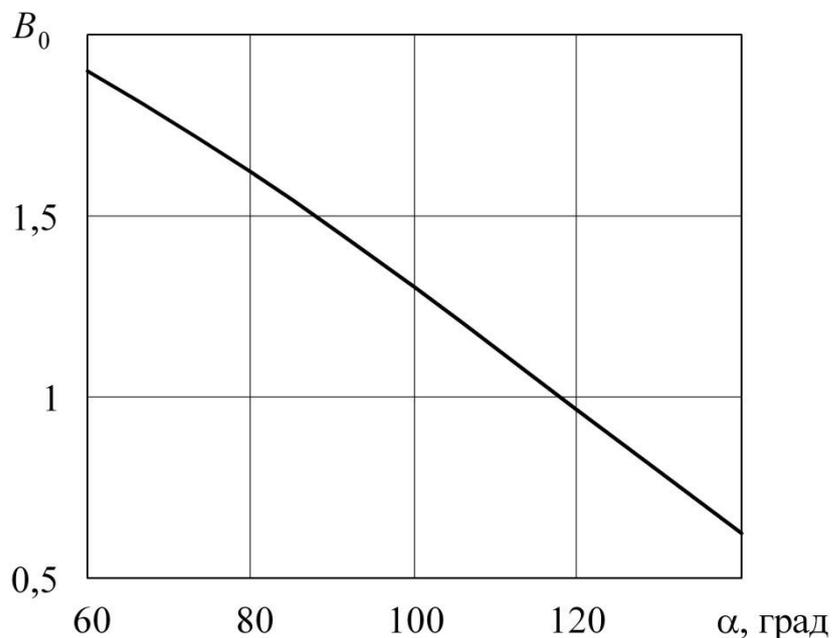


Рисунок 2.9 – График зависимости B_0 от α с учетом (2.10)

Коэффициенты A_α и A_0 для диапазона значений α от 60 до 140° эл. можно определить с учетом необходимости наименьшей погрешности. Полученные значения: $A_\alpha = -0,94$ и $A_0 = 2,93$.

На основе выражений (2.11) и (2.10), получаем:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0, \quad (2.12)$$

где коэффициенты A_λ , A_α и A_0 могут быть заданы как $A_\lambda = -0,45$, $A_\alpha = -0,94$ и $A_0 = 2,93$. Установлено, что погрешность вычисления $p(\alpha, \lambda)$ с учетом полученных коэффициентов составляет не более 4 % (рис. 2.10).

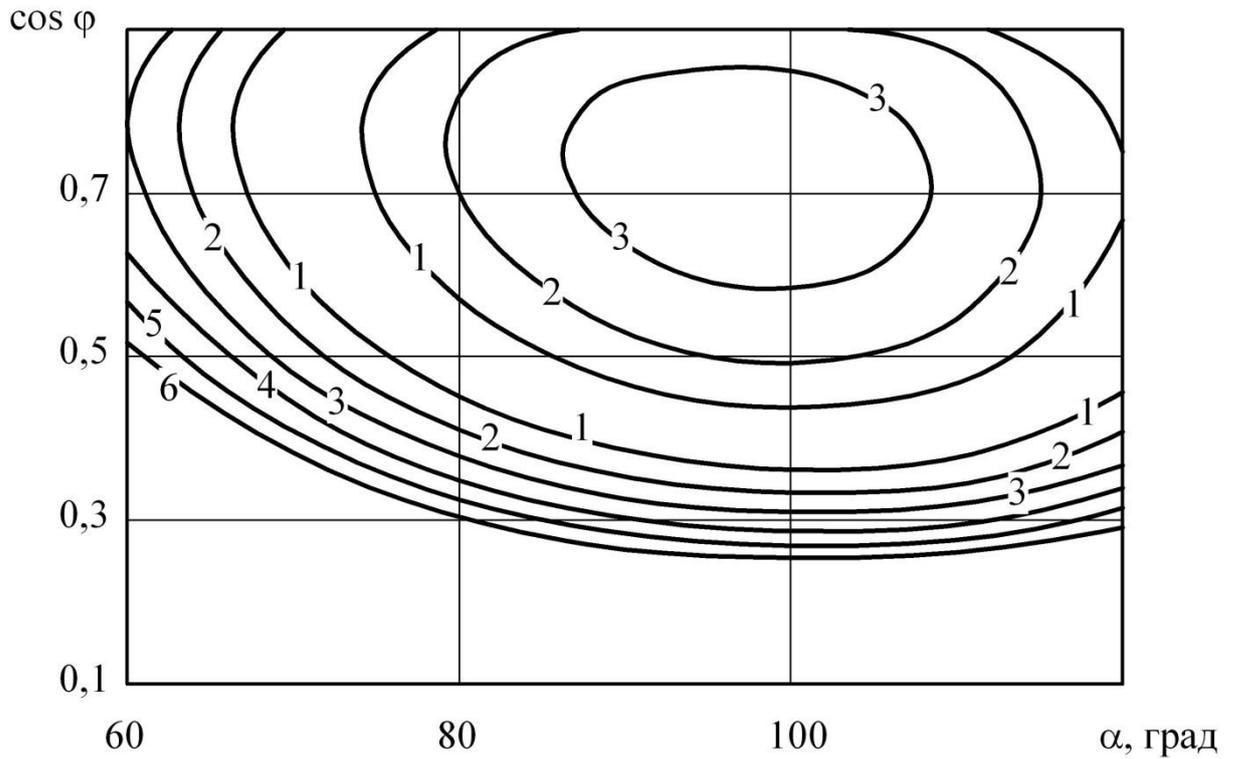


Рисунок 2.10 – Для значений α , лежащий в диапазоне от 60 до 120 ° эл. и $\cos \varphi$, лежащий в диапазоне от 0,4 до 0,9 – относительная погрешность вычисления r_{33} .

Сопротивление участка «электрод-электрод» r_{33} можно выразить с использованием формул (2.7) и (2.8) так:

$$r_{33} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\delta} \cdot I_2} \cdot \cos \varphi \cdot k_i - \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\delta} \cdot I_{2\bar{\epsilon}}} \cdot \cos \varphi_{\bar{\epsilon}} \cdot k_i = R_{2\bar{n}\bar{a}} - R_{2\bar{\epsilon}}. \quad (2.13)$$

2.2 Экспериментальная база лаборатории контактной сварки ТГУ

Апробация предложенного способа определения сопротивления на участке «электрод-электрод» происходило с использованием оборудования лаборатории контактной сварки ТГУ (121 кабинет корпуса А). Фотографии лаборатории представлены на рисунки 2.11.



Рисунок 2.11 – Фотографии лаборатории ТГУ

При измерении электрических параметров процесса сварки использовался регистратор РКДП-401 (позиция 1 на рисунке 2.12), соединённый с ПК (позиция 2 рисунка 2.12). К регистратору были подключены следующие датчики:

- Для снятия осциллограммы сетевого напряжения – датчик напряжения до 400 вольт.
- Для снятия напряжения между электродами – датчик напряжения до 10 вольт.
- Для снятия осциллограммы тока со стороны первичной обмотки – датчик тока до 1 кА, основанный на эффекте Холла.
- Для снятия осциллограммы сварочного тока использовался датчик типа пояса Роговского (рисунок 2.13).



Рисунок 2.12 – Прибор для снятия осциллограмм электрических процессов сварки (1) и ПК (2)

Экспериментальная сварка проводилась на сварочной машине МТПУ-300 на деталях из стали 08кп. Конфигурация пакета заготовок – 2+2 мм. Испытания проводились на 7 ступени трансформатора, при котором коэффициент трансформации равен 80.

Усилие сжатия электродов при проведении экспериментов составляло $F_{св} = 6...7$ кН, диаметр используемых сварочных электродов $d_s = 7$ мм, длительность сварки $t_{св} = 0,16$ с.

Напряжение питающей сети при проведении экспериментов составляло $U_c = 380$ вольт, фазовая задержка α была равна 70° эл. Результаты экспериментов показаны в таблице 2.3 и на рисунке 2.15.

Таблица 2.3 – Показания, полученные при работе сварочной машины в режиме сварки

№ периода	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda, ^\circ$ эл.	151	152	153	153	154	154	154	153
I_2, A	11000	11000	11500	11500	11500	11500	11500	11500

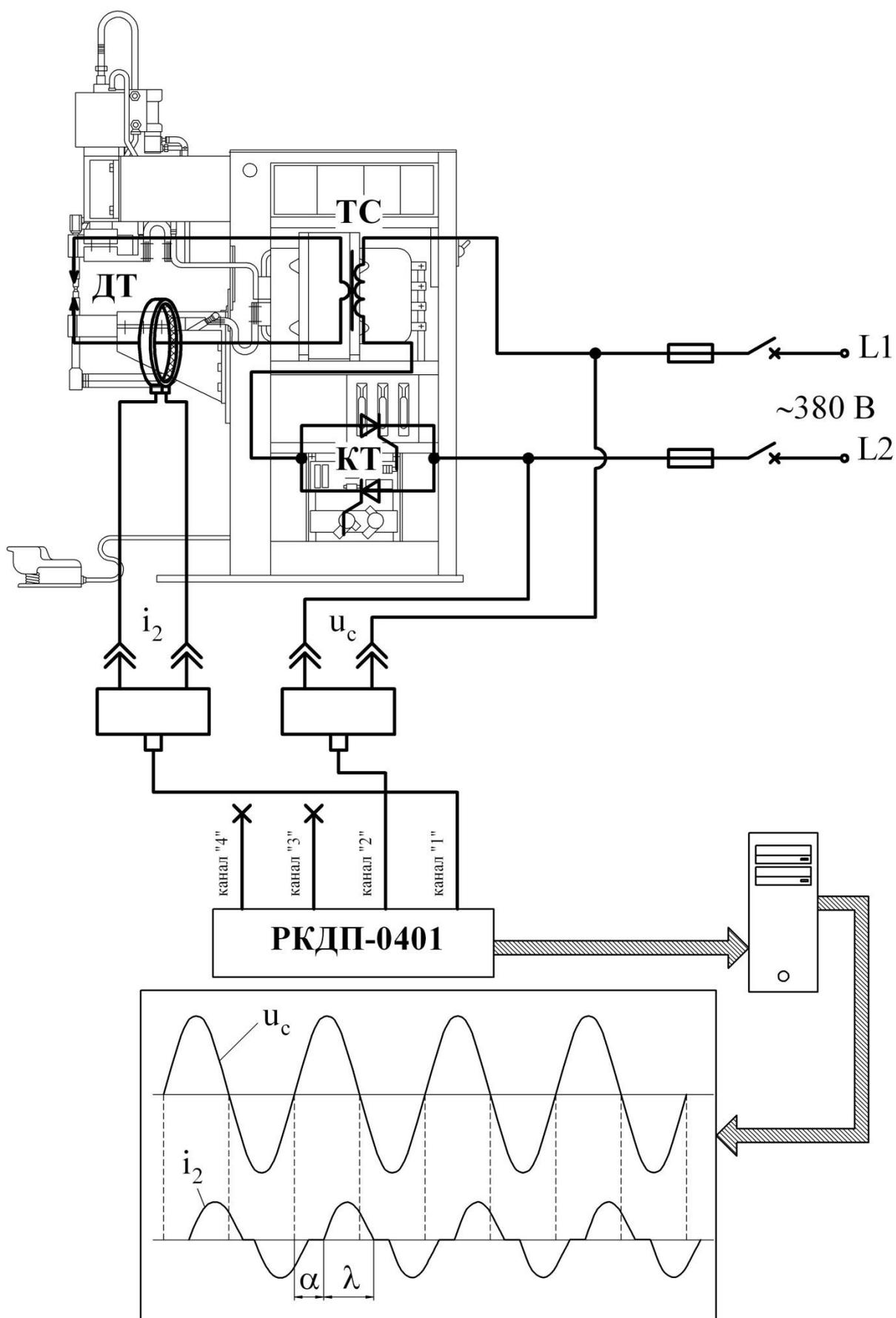


Рисунок 2.13 – Снятие осциллограмм тока во вторичном контуре и напряжения на электродах (на контактной сварочной машине МТПУ-300)

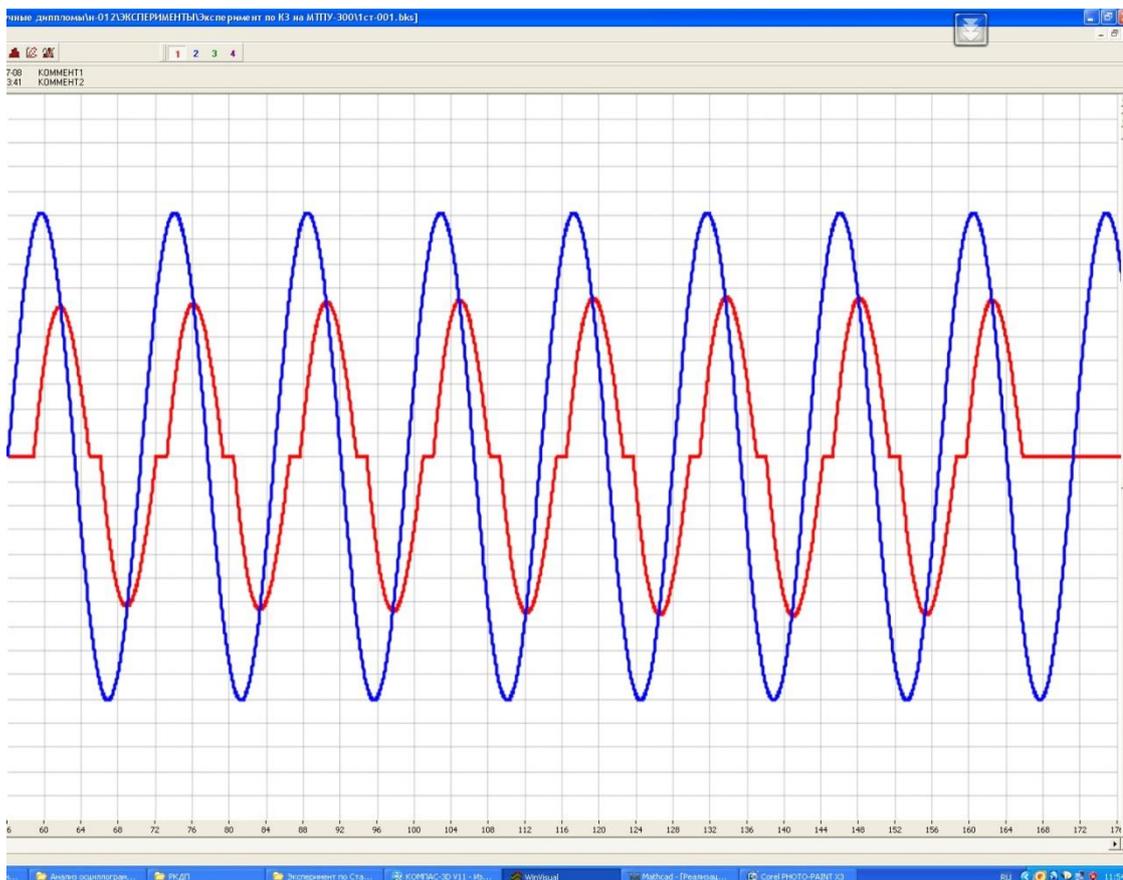


Рисунок 2.14 – Осциллограммы тока во вторичном контуре и напряжения на электродах

Экспериментальное включение сварочной машины МТПУ-300 в режиме короткого замыкания проводилось следующим образом. Испытания проводились на 7 ступени трансформатора, при котором коэффициент трансформации равен 80.

Усилие сжатия электродов при проведении экспериментов составляло $F_{св} = 6...7$ кН, диаметр используемых сварочных электродов $d_s = 7$ мм, длительность сварки $t_{св} = 0,16$ с. Между электродами размещали пластину из меди М1 толщиной 8 мм.

Результаты эксперимента представлены в таблице 2.4

Таблица 2.4 – Показания, полученные при работе сварочной машины в режиме короткого замыкания

№ периода	1	2	3	4	5	6	7	8
λ , °эл.	160	163	165	166	166	166	166	166
I_2 , А	13000	14000	14500	15000	15000	15000	15000	15000

На основе выражений (2.7 – 2.8), (2.12) и с учетом проведенных измерений, представленных в таблицах 2.3 и 2.4, были рассчитаны:

- активное сопротивление машины в режиме сварки $R_{2св}$;
- активное сопротивление машины в режиме короткого замыкания

$R_{2к}$.

Полученные результаты графически представлены на рисунке 2.15. В результате расчётов получено, что активное сопротивление сварочной машины $R_{2к} = 151$ мкОм. С использованием выражения (2.13) рассчитаны значения сопротивления $r_{ээ}$ для каждого периода сетевого напряжения. Результаты представлены на рисунке 2.16.

Расчет сопротивления сварочной машины в режиме сварки $R_{2св}$

- период №1:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(151 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,596$$

$$R_{2н\bar{a}} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\bar{o}} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 11000} \cdot 0,596 = 257 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №2:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(152 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,588$$

$$R_{2н\bar{a}} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\bar{o}} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 11000} \cdot 0,588 = 254 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №3:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(153 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,580$$

$$R_{2\bar{n}\bar{a}} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\bar{o}} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 11500} \cdot 0,580 = 240 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №4:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(153 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,580$$

$$R_{2\bar{n}\bar{a}} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\bar{o}} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 11500} \cdot 0,580 = 240 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №5:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(154 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,572$$

$$R_{2\bar{n}\bar{a}} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\bar{o}} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 11500} \cdot 0,572 = 236 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №6:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(154 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,572$$

$$R_{2\bar{n}\bar{a}} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\bar{o}} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 11500} \cdot 0,572 = 236 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №7:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(154 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,572$$

$$R_{2\bar{n}\bar{a}} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\bar{o}} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 11500} \cdot 0,572 = 236 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №8:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(153 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,580$$

$$R_{2\bar{n}\bar{a}} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\bar{o}} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 11500} \cdot 0,580 = 240 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}.$$

Расчет сопротивления сварочной машины в режиме короткого замыкания $R_{2к}$

- период №1:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(160 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,525$$

$$R_{2\varepsilon} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\delta} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 13000} \cdot 0,525 = 192 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №2:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(163 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,501$$

$$R_{2\varepsilon} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\delta} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 14000} \cdot 0,501 = 170 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №3:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(165 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,486$$

$$R_{2\varepsilon} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\delta} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 14500} \cdot 0,486 = 159 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №4:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(166 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,478$$

$$R_{2\varepsilon} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\delta} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 15000} \cdot 0,478 = 151 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №5:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(166 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,478$$

$$R_{2\varepsilon} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\delta} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 15000} \cdot 0,478 = 151 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №6:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot \left(166 \cdot \frac{\pi}{180}\right) - 0,94 \cdot \left(70 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2,93 = 0,478$$

$$R_{2\varepsilon} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\delta} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 15000} \cdot 0,478 = 151 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №7:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot (166 \cdot \frac{\pi}{180}) - 0,94 \cdot (70 \cdot \frac{\pi}{180}) + 2,93 = 0,478$$

$$R_{2\varepsilon} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\delta} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 15000} \cdot 0,478 = 151 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

- период №8:

$$p(\alpha, \lambda) = A_\lambda \cdot \lambda + A_\alpha \cdot \alpha + A_0 = -0,45 \cdot (166 \cdot \frac{\pi}{180}) - 0,94 \cdot (70 \cdot \frac{\pi}{180}) + 2,93 = 0,478$$

$$R_{2\varepsilon} = \frac{U_{\bar{n}}}{K_{\delta} \cdot I_2} \cdot p(\alpha, \lambda) = \frac{380}{80 \cdot 15000} \cdot 0,478 = 151 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}.$$

$R_{2\text{св}}, R_{2\text{к}}, \text{ мкОм}$

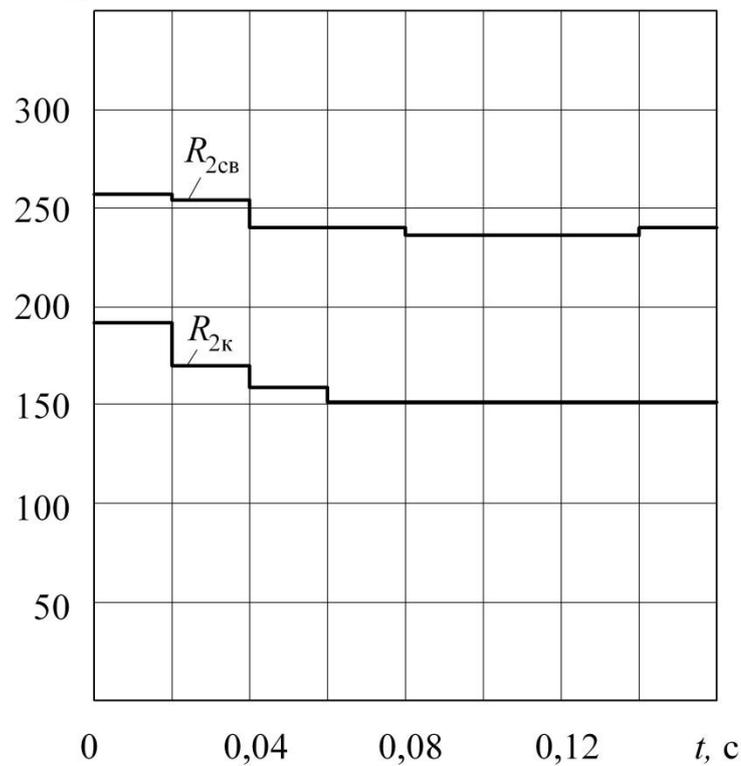


Рисунок 2.15 – Результаты расчета сопротивлений $R_{2\text{св}}$ и $R_{2\text{к}}$

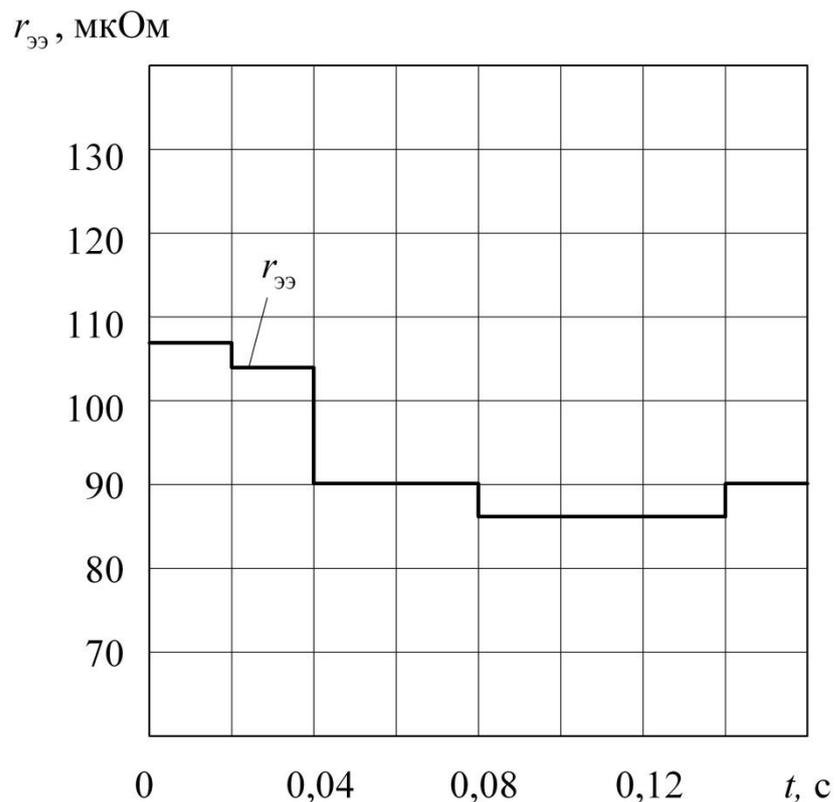


Рисунок 2.16 – Результаты расчета сопротивления на участке между электродами $r_{ээ}$

2.3 Выводы по второй главе

1) Разработанный способ определения сопротивления участка «электрод-электрод» позволяет избежать необходимости измерения осциллограммы напряжения между электродами и может быть реализован с помощью относительно простой аппаратуры. Предложенный способ обладает точностью не менее 90%, что позволяет его использовать в системах управления (стабилизации) процесса сварки или в системах диагностики качества сварки.

2) Проведена экспериментальная апробация предложенного способа определения сопротивления участка «электрод-электрод» в лаборатории контактной сварки. На основе полученных результатов сделан вывод о возможности его использования в производстве.

3) На имеющемся в лаборатории контактной сварки оборудовании необходимо продолжить исследования для повышения точности определения сопротивления участка «электрод-электрод» и разработке вариантов его использования в производстве. Также, в перспективе, необходимо учесть при вычислении сопротивления рост сварочного ядра в процессе формирования соединения.

3 ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

3.1 Составление технологической характеристики объекта

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

Таблица 3.1 – Профессиональные риски, сопровождающие осуществление проектной технологии

Наименование технологических операций и выполняемых работ при осуществлении технологии	Наименование должности работника, в обязанности которого входит выполнение данной технологической операции	Перечень оборудования, устройств и приспособлений, применяемых при выполнении технологической операции
1	2	3
1. Подготовительная операция	- 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	- 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

3. Экспериментальная сварка	<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 - повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне - высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов 	Машинка сварочная, измерительный комплекс
4. Проведение измерений	<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 - повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне - высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов 	Машинка сварочная, измерительный комплекс

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	2	3
1. Острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;	Проведение периодического инструктажа, разъясняющего работникам вопросы техники безопасности	Перчатки, спецодежда.

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
2. Подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин	Наносить предостерегающие 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 изделий 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 ОП-5	-	-	-	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка извещения о факте возникновения пожара

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

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 – 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 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.

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 [21]. 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 силовоточные 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 [21].

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.

3.4 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 и методиками измерения динамического сопротивления при контактной сварке	1.1. Проведение литературных исследований по методикам измерения динамического сопротивления при контактной сварке 1.2. Формулировка факторов, которые влияют на величину динамического сопротивления при контактной сварке 1.3. Определение влияния параметров режима контактной сварки на динамическое сопротивление при контактной сварке 1.4. Обзор и критический анализ экспериментальных методов определения динамического сопротивления при контактной сварке
2. Разработка способа контроля динамического сопротивления при контактной сварке	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
3. Разработка математической модели электрических процессов при контактной сварке	3.1. Начальные упрощения, входные и выходные параметры математического моделирования. 3.2. Основные формулы математической модели для расчёта выходных параметров модели. 3.3. Реализация математической модели с использованием персонального компьютера и системы MathCAD. 3.4. Проверка адекватности моделирования
4. Оформление результатов проведенной научно-исследовательской работы.	4.1. Отчёта, который отражает этапы работ. 4.2. Выводы по результатам научной работы. 4.3. Рекомендации по внедрению результатов в производство и направления проведения дальнейшего исследования. 4.4. Фактический график выполнения научной работы и причины, по которым произошло отклонение от планового графика. 4.5. Фактически произведённые материальные затраты (калькуляция).

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

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

где T_{min} – величина оптимистической трудоёмкости;

T_{max} – величина пессимистической трудоёмкости.

Таблица 4.2 – Значение трудоёмкости каждого этапа научно-исследовательских работ

Трудо- 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 _{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 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 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
	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: $T_{нир} = \sum T_{эт}$; $T_{нир} = 44$ дня.

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:

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

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:

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

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	25000	1047,6
2	Технический работник	15000	656,4
3	Вспомогательный рабочий	14000	590,1

Подставив значения в (4.6), получим:

$$\text{ЗПЛ оснв.} = (44 \cdot 1047,6 \cdot 1,4 \cdot 1) + (44 \cdot 656,4 \cdot 1,4 \cdot 1) + (7 \cdot 590,1 \cdot 1,4 \cdot 1) = 120700 \text{ рублей.}$$

Расчёт дополнительной заработной платы произведём с использованием зависимости:

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

$$\text{ЗПЛ допл.} = 120700 \cdot 0,1 = 12070 \text{ рублей.}$$

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

$$\text{ФЗП} = 120700 + 12070 = 132770 \text{ руб.}$$

Размер отчислений на социальное страхование определяем с использованием формулы:

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

$O_{c.c.} = 0,34 \cdot 132770 = 45141,8$ рублей.

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

$$ЗМ = ЗМ_{расх.} \quad (4.9)$$

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	1/2	140
2.	Принтерные чернила	штука	1	240
3.	Гелевая ручка	штука	2	34
4.	Простой карандаш	штука	2	24
5.	Ластика стирательный	штука	1	8
6.	Линейки пластмассовая	штука	1	6
7.	Степлер офисный	штука	1	40
ИТОГО				570

Таким образом, величина затрат на материалы составит: $ЗМ = 492$ рубля.

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

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

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

N_a – принятое значение нормы амортизации применительно к оборудованию, для персонального компьютера величина $N_a = 54\%$;
 $\sum \Pi_{об}$ – 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 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, $\approx 35\%$.

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.

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

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

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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

$$З_{\text{тех.эн.}} = 96,3 + 152,7 + 144,4 + 90,6 = 504 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

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

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

$$З_{\text{пл.}} = \frac{30000 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 70}{100 \cdot 1827} = 1400 \text{ руб.}$$

Размер общих накладных расходов может быть задан как:

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

Подставив в (4.17) данные, получим:

$$N_p = 0,55 \cdot 132770 = 73023,5 \text{ руб.}$$

Размер прочих прямых расходов может быть задан как:

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

Подставив в (4.18) данные, получим:

$$\text{РП пр} = 0,05 \cdot 132770 = 6638,5 \text{ руб.}$$

Текущие расходы на проведение НИР составят:

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

Подставив в (4.19) данные, получим:

$$\text{К тек} = 132770 + 45141,8 + 504 + 871,34 + 570 + 1400 + 73023,5 + 6638,5 = 260919,14 \text{ руб.}$$

Таблица 4.11 – Себестоимость проведения научно-исследовательских работ

№	СТАТЬИ ЗАТРАТ	Условные обозначения	Величина затрат (руб.)
1	Размер основной заработной платы персонала	Зосн	120700
2	Размер дополнительной заработной платы персонала	Здоп	12070
3	Затраты на отчисления на социальные нужды	Осс	45141,8
4	Размер затрат на оборудование	Аоб	871,34
5	Размер затрат на технологическую энергию	З тех. эн.	504
6	Размер затрат на материалы	ЗМ	570
7	Размер затрат на производственные площади	Зплощ.	1400
9	Размер общих накладных расходов	Нр	73023,5
10	Размер прочих прямых расходов	РП пр	6638,5
	Себестоимость проведения НИР (текущие расходы)	$C_{\text{НИР}} = K_{\text{ТЕК}}$	260919,14

Расчёт общих затрат на проведение научно-исследовательских работ:
 $K_{\text{общ.}} = K_{\text{тек.}} = 260919,14 \text{ руб.}$ Таким образом, объём затрат на проведение научно-исследовательских работ составляет 260919,14 руб. Наибольшие расходы ожидаются по статье – фонд заработной платы персонала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе поставлена цель – повышение производительности и достоверности оперативного измерения динамического сопротивления участка «электрод-электрод» при контактной сварке.

На основании изучения состояния вопроса по диагностике и управлению контактной сваркой были сформулированы задачи работы: 1) Исследовать возможность расчёта сопротивления на участке между электродами через активное сопротивление контура как в режиме короткого замыкания, так и в режиме сварки; 2) обосновать возможность проведения необходимых экспериментов на оборудовании лаборатории контактной сварки; 3) разработать метод измерения сопротивления на участке между электродами и апробировать его в лаборатории контактной сварки.

На основании изучения литературных данных предложена методика измерения сопротивления участка «электрод-электрод» при контактной сварке.

В условиях лаборатории контактной сварки проведено апробирование способа измерения сопротивления сварочного контакта и сделан вывод о целесообразности его применения на производстве.

В условиях лаборатории контактной сварки на имеющемся оборудовании должны быть продолжены исследования, направленные на повышение точности способа измерения сопротивления сварочного контакта, оценки области его применимости на производстве и доработки способов вычисления сопротивления сварочного контакта с учётом роста ядра точки в процессе сварки.

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 261 тысяча 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. Кулисон, Э. Новые подходы к управлению качеством в сварочном производстве США / Э. Кулисон, Б. Ирвинг, М.Р. Йонсен // Автоматическая сварка. – 1994. – № 1. – С. 39–47, 53.
2. Чуларис, А.А. Расчет и проектирование оборудования для контактной сварки: Учеб. пос. / А.А. Чуларис, А.И. Попов, Н.Г. Чередниченко, Д.В. Рогозин – Ростов н/Д: Изд. центр ДГТУ, 2003. – 162 с.
3. Julie E. Simmons Classification of spot welds using power factor time profiles / Julie E. Simmons, Stephen M. Pollock // Department of Industrial and Operations Engineering University of Michigan. – Technical Report № 97-02 . – March 1997.
4. Towey, M. Instantaneous resistance during spot weld formation as parameter for an automatic control systems / M. Towey, P.R. Andrews // Welding and Metal Fabrication. – 1968. – № 10. – P. 383–392.
5. Bhattacharya, S. Significance of dynamic resistance curves in theory and practice of spot welding / S. Bhattacharya, D.R. Andrews // Welding and Metal Fabrication. – 1974. – № 9. – P. 296 – 298.
6. Dickinson, D.W. Characterization of spot welding behavior by dynamic electrical parameter monitoring / D.W. Dickinson, J.E. Franklin and A. Stanya // Welding Journal. – 1980. – № 6. – P. 170s–176s.
7. 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.
8. Kaiser, J.G. The effect of electrical resistance on nugget formation during spot welding / J.G. Kaiser, G.J. Dunn, T.W. Eagar // Welding Journal. – 1982. – June. – P. 167–174.
9. Livshits, A.G. Universal Quality Assurance Method for Resistance Spot Welding Based on Dynamic Resistance / A.G. Livshits // Welding Journal. – Vol 76. – 1997. – P. 383–390.

10. Gedeon, S.A. Resistance spot welding of galvanized steel – part II mechanism of spot weld nugget formation / Gedeon S.A., Eagar T.W. // Metallurgical transactions. – 1986. – Vol. 17B. – P. 887–901.

11. Daniel, J. Quantitative estimation of a resistance spot weld quality using a simple model / Daniel J, Lucas A., Norbert Link // ABCM Symposium Series in Mechatronics. – 2008. – Vol. 3. – P. 831–838.

12. Оборудование для контактной сварки: Справочное пособие / Под ред. В.В. Смирнова. – СПб.: Энергоатомиздат, 2000. – 848 с.

14. Andrews, D.R. Quality assurance for resistance spot welding / D.R. Andrews, J. Broomhead // Welding Journal. – 1975. – № 5. – P. 158–162.

15. Pietras, A. New quality inspection system for AC resistance welding / A. Pietras, L. Zadroga, Z. Mikno // Computer Technology in Welding and Manufacturing. 16th International Conference. – Kiev: E.O. Paton Electric Welding Institute.- 2006. – P. 84-90.

16. 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.

17. А.с. № 1611642 СССР, МПК5 В 23 К 11/24. Способ управления сварочным током при контактной точечной сварке на однофазных машинах / Ю.Е. Иофе, М.Н. Куперман, Ю.И. Филиппов, Е.Н. Холмянский; Заявл. 21.10.87; Оpubл. 07.12.90, Бюл. № 45.

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.

21. Левченко, О.Г. Безопасный уровень напряженности
электромагнитного поля при контактной сварке / О.Г. Левченко, В.К. Левчук
// Автоматическая сварка. – 2008. – № 5. – С. 46–55.