

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки «Машиностроение»
Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние динамических характеристик источника питания на плавление и перенос электродного металла при сварке покрытыми электродами
УДК 621.791.75.03:621.311.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM41	Раев Игорь Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ОТСП	Киселев Алексей Сергеевич	Доцент, к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Чистякова Наталья Олеговна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	Кандидат технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ОТСП	Киселев Алексей Сергеевич	Доцент, к.т.н.		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки (специальность) - Машиностроение
Кафедра - Оборудования и технологии сварочного производства

Утверждаю:
Зав. кафедрой ОТСП

(Подпись) _____ (Дата) Киселев А.С.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

На выполнение выпускной квалификационной работы

В форме: _____ магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ41	Раеву Игорю Владимировичу

Тема работы:

Влияние динамических характеристик источника питания на плавление и перенос электродного металла при сварке покрытыми электродами	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	24.03.2016 №2197/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Стабильность процесса дуговой сварки покрытыми электродами с использованием источников питания с различными динамическими характеристиками
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор различных типов источников питания для дуговой сварки покрытыми электродами, а также критериев стабильности для данного типа сварки 2. Получение основных экспериментальных данных, путем измерения осциллограмм при помощи специального программного обеспечения 3. Статистическая обработка данных, расчет

	необходимых критериев стабильности 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэф- фективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность 6. Заключение и выводы
Перечень графического материала	1. Тема диссертации 2. Обоснование выбора данной темы 3. Актуальность работы 4. Цель и задачи исследования 5. Исследования, проводившиеся для решения поставленных задач 6. Заключение и выводы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
1. Литературный обзор 2. Экспериментальная часть 3. Конструкторская часть 4. Заключение	Киселев Алексей Сергеевич
5. Финансовый менеджмент, ресурсо- эффективность и ресурсосбережение	Чистякова Наталья Олеговна
6. Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	Литературный обзор: исследование поведе- ния сварочной дуги в магнитном поле: обрывная длина, угол наклона дуги, а также влияние частоты переменного тока на дугу

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.09.2014
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселёв Алексей Сергеевич	к.т.н.		25.09.2014

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ41	Раев Игорь Владимирович		25.09.2014

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки (специальность) - Машиностроение
 Кафедра – Оборудования и технологии сварочного производства
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2014/2015 и 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела
02.04.2016	1. Литературный обзор	25
12.04.2016	2. Экспериментальная часть	10
13.05.2016	3. Расчетная часть	25
26.05.2016	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
26.05.2016	5. Социальная ответственность	15
30.05.2016	6. Заключение и выводы	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселёв Алексей Сергеевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП	Киселёв Алексей Сергеевич	к.т.н., доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа – 95 с., 19 рисунков, 27 таблиц, 20 использованных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: сварка, источник питания, динамические характеристики источника питания, стабильность процесса сварки, трехфазный выпрямитель, однофазный выпрямитель, выпрямитель инверторного типа, критерии стабильности, среднеквадратичное отклонение, осциллограмма.

Объектами исследования выпускной квалификационной работы является сварочная дуга, источники питания для дуговой сварки покрытыми электродами: трехфазный выпрямитель ВД-306, однофазный выпрямитель ВДЭ-160, выпрямитель инверторного типа ARC-250.

Цель работы – экспериментально подтвердить предположение о том, что динамические характеристики источника питания в значительной степени влияют на стабильность процесса сварки покрытыми электродами.

В работе исследовано влияние динамических характеристик источников питания на стабильность плавления и переноса электродного металла в сварочную ванну.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ отечественной и зарубежной литературы, сформулирована актуальность исследований с постановкой задачи;
- проведен анализ сварочного оборудования, связанного с данной проблемой;
- был проведен эксперимент, с целью получения необходимых параметров сварки и осциллограмм;
- была проведена статистическая обработка данных и произведен расчет среднеквадратичного отклонения частоты коротких замыканий для каждого источника;

Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Сварка — технологический процесс получения неразъёмного соединения посредством установления межатомных и межмолекулярных связей между свариваемыми частями изделия при их нагреве (местном или общем), и/или пластическом деформировании. При ручной дуговой сварке используют электрод с нанесённым на его поверхность покрытием (обмазкой).

Сварочный выпрямитель – устройство преобразующее энергию сетевого переменного тока в энергию постоянного сварочного тока.

Стабильность процесса сварки – стабильность горения дуги и стабильность (регулярность) переноса металла электрода в сварочную ванну.

Динамическая характеристика источника питания - динамической характеристикой источника питания называется время, необходимое ему для восстановления напряжения от нуля в момент короткого замыкания до величины напряжения зажигания дуги.

Переменный ток — электрический ток, который с течением времени изменяется по величине и направлению или, в частном случае, изменяется по величине, сохраняя своё направление в электрической цепи неизменным.

Сварочный инвертор — это устройство, преобразующее постоянное напряжение в переменное.

В настоящей работе применены следующие обозначения и сокращения:

- КЗ – короткое замыкание
- СКО – среднеквадратичное отклонение
- ММА - ручная дуговая сварка штучными электродами с покрытием

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 12.1.003-83 – «Шум. Общие требования безопасности»;
- СНиП 23-03-2003 – «Защита от шума»;

- ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные»;
- ФЗ-123 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность»;
- ГОСТ 12.1.010-76 «Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность»;
- ГОСТ 12.3.002-75 «Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные»;
- ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарные и гигиенические требования к воздуху в рабочей зоне».

Оглавление

Введение.....	10
1. Влияние различных факторов на стабильность процесса сварки и разбрызгивание электродного металла.....	11
1.1. Источники питания для сварки покрытыми электродами.....	13
1.1.1. Традиционные источники питания для дуговой сварки покрытыми электродами.....	13
1.1.2. Источники питания для дуговой сварки покрытыми электродами инверторного типа	15
1.2. Показатели стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом	17
1.2.1. Ручная сварка покрытым электродом.....	19
1.2.2. Ручная сварка покрытым электродом на переменном токе	20
1.2.3. Ручная сварка покрытым электродом на постоянном токе.....	21
2. Методика и материалы исследования.....	23
3. Результаты исследований.....	33
3.1. Результаты измерений длительности коротких замыканий и длительности микроцикла каплеобразования при сварке покрытыми электродами	33
3.2. Основные параметры режимов сварки	43
3.3. Результаты статистической обработки	44
4. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	49
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	49
4.1.1. FAST – анализ	49
4.1.2. SWOT – анализ.....	53
4.2. Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	56
4.3. Планирование научно-исследовательских работ.....	58
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	58
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	59

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	60
4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	63
4.4.1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	63
4.4.2. Специальное оборудование для научных работ	63
4.4.3. Основная заработная плата.....	64
4.4.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	66
4.4.5. Отчисления на социальные нужды	67
4.4.6. Накладные расходы	67
4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	68
5. Социальная ответственность	70
5.1. Производственная безопасность при сварке	70
5.1.1. Анализ вредных и опасных факторов при выполнении сварочных работ	71
5.1.1.1 Излучения	71
5.1.1.2 Сварочные аэрозоли	72
5.1.1.3 Электрический ток.....	74
5.1.1.4 Шумы и вибрации.....	76
5.1.1.5 Освещение	77
5.1.1.5 Микроклимат.....	78
5.1.2 Экологическая безопасность.	79
5.1.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	80
5.1.4 Организационные вопросы обеспечения безопасности.	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ	85
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	87
Приложение А	89

Введение

Дуговая сварка, это основной способ сварки плавлением, а её наиболее распространённым видом является ручная дуговая сварка покрытыми электродами. Данный вид сварки достаточно прост и удобен в использовании. Ввиду своей распространенности, также широкое развитие получают используемые сварочные материалы и оборудование, что прямым образом влияет на различные процессы, протекающие в ходе сварки и наплавки.

В связи со стремительным темпом развития источников питания для дуговой сварки покрытыми электродами, изменяются их технические характеристики, так как с каждым разом применяются более совершенные материалы и технологии. Современные источники питания обладают малыми габаритными размерами, малым весом, а также более высокими динамическими свойствами. В связи с этим возникает необходимость оценки влияния динамических свойств источника на стабильность процесса сварки и наплавки.

Целью данной работы является выявление наиболее стабильного процесса сварки, путем сравнения трех источников с отличающимися динамическими свойствами с использованием различных типов электродов. Для сравнения представлены: трехфазный выпрямитель ВД-306, однофазный выпрямитель ВДЭ-160 и выпрямитель инверторного типа ARC-250 «Сварог».

1. Влияние различных факторов на стабильность процесса сварки и разбрызгивание электродного металла

Стабильность процесса сварки и разбрызгивание электродного металла в основном определяются:

- технологическими факторами;
- пространственным положением сварки;
- динамическими свойствами источников питания.

Первая группа причин связана с использованием повышенных режимов, которые повышают интенсивность металлургических реакций в капле и ванне. Так, например, с увеличением дугового напряжения растет длина дуги, длительность периодов горения дуги и диаметр капель. Форма шва с повышением дугового напряжения несколько улучшается, но усиливается окисление элементов и разбрызгивание. При повышенных дуговых напряжениях процесс переходит в неуправляемый крупнокапельный. Потери на окисление и разбрызгивание резко увеличиваются. Кроме того, на стабильность процесса и разбрызгивание электродного металла большое воздействие оказывает состояние сварочных материалов и их химический состав.

Для того, чтобы перечисленные факторы не ухудшали процесс сварки и не усиливали разбрызгивание электродного металла, необходимо вести процесс на нормальных режимах (при плотностях тока $j \leq 100$ А/мм²), использовать для сварки электроды, соответствующие требованиям [5].

Эта группа причин оказывает косвенное действие на устойчивое протекание процесса и обуславливается нарушением нормальных условий переноса электродного металла (размера капель, частоты коротких замыканий и длительности горения дуги), а также условий горения дуги. От перечисленных факторов зависит действие важнейших факторов, приводящих к ухудшению процесса (увеличение неустойчивости,

увеличение энергии взрыва и газодинамического удара, изменение частоты коротких замыканий и др.).

Основная причина, влияющая на стабильность процесса сварки покрытыми электродами, связана с динамическими свойствами источника питания и определяется программой изменения мгновенной мощности как на интервале горения дуги, так и на интервале короткого замыкания. В процессе сварки длительность горения дуги сильно зависит от величины сварочного тока и энергии, запасенной в индуктивном сопротивлении сварочного дросселя на интервале короткого замыкания. Указанные параметры режима сварки определяют комплекс сил, действующих на каплю электродного металла и сварочную ванну, которые препятствуют её переносу во всех пространственных положениях. Все это определяет размеры капли электродного металла, момент короткого замыкания и его длительность, а, следовательно, и энергию, запасенную в дросселе и выделяемую на дуговом промежутке после повторного возбуждения дуги [1].

Поскольку длительности горения дуги не постоянны, то не постоянными будут и длительности коротких замыканий, поэтому в сварочном дросселе будет запасаться разное количество энергии, идущей затем на плавление электродного металла [5]. Все это предопределяет вероятностный характер коротких замыканий, который приводит к нестабильности процесса сварки и увеличению разбрызгивания электродного металла.

В связи с отмеченным, устранение основных недостатков процесса сварки возможно только за счёт перераспределения комплекса сил, действующих на каплю электродного металла и сварочную ванну таким образом, чтобы обеспечивались идентичные условия для её расплавления и переноса. Такое ведение процесса можно обеспечить при использовании специальных систем управления процессом сварки совместно с

источниками питания, имеющих необходимые динамические свойства.

1.1. Источники питания для сварки покрытыми электродами

1.1.1. Традиционные источники питания для дуговой сварки покрытыми электродами

Выпрямители для дуговой сварки обладают общими элементами: трансформатор, выпрямительный блок, пускорегулирующую, измерительную и защитную аппаратуру. Наиболее рациональным в выпрямителях для дуговой сварки оказалось использование трехфазного тока. Поэтому для питания выпрямительных блоков обычно используют понижающие трехфазные трансформаторы. Внешняя вольтамперная характеристика различных выпрямителей определяется вольтамперной характеристикой трансформатора. В выпрямителях с жесткой (пологопадающей) внешней вольтамперной характеристикой применяют трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием. В формировании вольтамперной характеристики выпрямителя может участвовать и выпрямительный блок, собранный на управляемых полупроводниковых элементах – тиристорах [5].

По конструкции силовой части сварочные выпрямители можно разделить на шесть групп (рис. 2.1) [108].

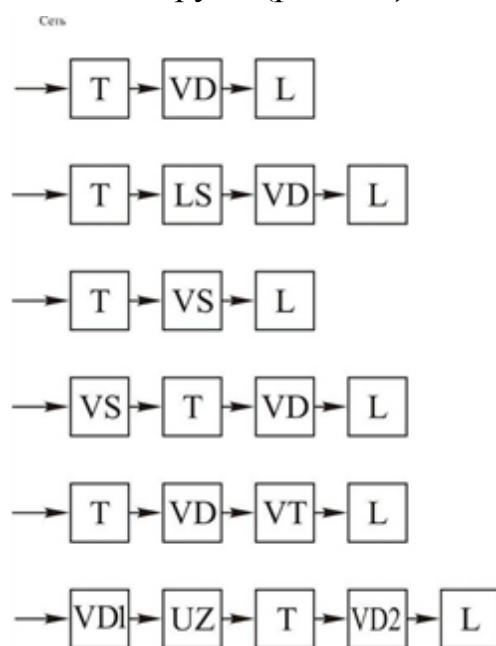


Рис. 2.1. Блок-схемы сварочных выпрямителей

Более ранняя и простая конструкция у выпрямителя, регулируемого трансформатором блок-схема 1 (рис. 2.1). Его силовая часть состоит из трансформатора T , выпрямительного блока, собранного на диодах VD и сглаживающего дросселя L . Трансформатор в этом случае обеспечивает понижение питающего напряжения, формирование требуемой вольтамперной характеристики и регулирование режима сварки. Блок-схема 2 сварочного выпрямителя с дросселем насыщения LS (рис. 2.1), обеспечивает формирование внешней характеристики и регулирование требуемого режима сварки. Блок-схема 3 сварочного выпрямителя, выпрямительный блок (VS) которого собран на управляемых полупроводниковых элементах – тиристорах. Регулирование требуемого режима сварки, в этом случае, осуществляется за счет изменения угла отпирания тириستоров выпрямительного блока VS . Дроссель L в этом случае обеспечивает сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения, которые тем больше, чем позднее осуществляется открытие выпрямительного элемента относительно полуволны питающего напряжения. В отдельных случаях управление выходным напряжением выпрямителя осуществляется управляемыми полупроводниковыми элементами – тиристорами, включаемыми в цепь первичной обмотки трансформатора (рис. 2.1, блок-схема 4). В этом случае выпрямительный блок VD изготавливается из неуправляемых выпрямительных элементов – диодов, которые схемотехнически располагают во вторичной цепи понижающего трансформатора T . Сварочные источники питания чопперного типа (рис. 2.1, блок-схема 5) имеют в своей структуре силовой полупроводниковый коммутатор, чаще всего на базе мощного транзисторного блока VT , который в данном случае обеспечивает управление режимом сварки. Блок-схема 6 характеризует выпрямитель инверторного типа. Инвертор UZ преобразует выпрямленное напряжение, поступающее с выпрямительного блока $VD1$, в переменное высокой частоты, которое затем поступает на вход понижающего трансформатора

Т. Благодаря высокой частоте переменного напряжения, габариты такого трансформатора кратно уменьшаются, что имеет большое значение при эксплуатации такого источника питания. Далее, переменное напряжение высокой частоты поступает на неуправляемый выпрямительный блок VD_2 , который преобразует его в постоянное с минимальной пульсацией выходного напряжения. Дроссель L в этом случае обеспечивает требуемые динамические свойства источника питания, поскольку пульсации выходного напряжения минимальные и в качестве сглаживающего элемента в системе питания его применение не является актуальным, по сравнению с традиционными выпрямителями на диодах или тиристорах [5].

1.1.2. Источники питания для дуговой сварки покрытыми электродами инверторного типа

Бурное развитие силовой полупроводниковой электронной техники за последние 15–20 лет привели к появлению в сфере сварочного производства нового класса оборудования – инверторных источников питания [109].

Первые образцы инверторных источников для сварки стали применяться в 80-е годы прошлого столетия. Причиной их активного применения стало резкое снижение материальных затрат при производстве этой техники и снижение стоимости электронных комплектующих, что обеспечило значительные преимущества фирмам-производителям. В судостроении России наиболее активно применялись сварочные источники фирмы Kemppi OY (Финляндия). Начато было производство таких источников и на предприятиях Советского Союза: прежде всего на Украине (Симферополь, Харьков, Киев), затем и в России (Рязань, Чебоксары, С-Петербург, Оренбург, Томск, Екатеринбург и др.) [5].

Характерными показателями работы сварочного инвертора являлись их универсальность, т.е. возможность применения для различных способов сварки: MMA, TIG, MIG, MAG. Особенно бурными темпами растет

внедрение инверторной сварочной техники для полуавтоматической и автоматической сварки, как в защитных газах, так и порошковыми проволоками различного типа, выпускаемой предприятиями Швеции, Германии, Австрии, Англии, США, Украины и России. В основном для сварочно-монтажного производства характерно использование сварочной проволоки диаметром 1,2 мм и газовой смеси в качестве защитного газа [5]. Во многих типах современных инверторов, например, инверторах фирмы EWM, Германия, ограничено применение различных типов порошковых проволок. С этой проблемой столкнулись мостостроители. Как правило, имеется ограничение по току дуги на уровне 400А.

Инверторные источники имеют ряд преимуществ, обусловленных их низкими массогабаритными показателями по сравнению с традиционными сварочными выпрямителями. К числу их недостатков относятся негативное влияние традиционных сварочных инверторов на питающую электрическую сеть – индукционные броски напряжения в питающей сети, возникающие при отключении мощных нагрузок, причем источником импульса является силовая подстанция.

Кроме того, в традиционных сварочных инверторах не решена проблема высоких требований к точности поддержания сварочных режимов. Базовая схема инверторного источника питания приведена на рисунке 2.2.



Рис. 2.2. Блок схема инверторного источника питания

В состав инверторного источника питания, как правило, входят: входной выпрямитель, инверторный блок, Выходной выпрямительный блок, дроссель и схема управления работой инверторного источника

питания. При всем многообразии схмотехнических и конструктивных решений инверторных источников питания, общим и на наш взгляд самым важным их преимуществом перед традиционными источниками питания, является их универсальность и более высокие технологические и динамические свойства. Все это позволяет в современных инверторных источниках питания реализовать ряд полезных и удобных для работы их потребительских качеств, а именно:

- Изменение наклона внешней характеристики по любой программе. Режим предназначен для регулирования проплавливающей способности дуги;
- Возможность плавного изменения напряжения холостого хода, в том числе его ограничение на безопасном уровне при отсутствии нагрузки. Это так называемый «Безопасный режим», когда напряжение холостого хода снижается до 12В, если сварка не производится в течении некоторого времени;
- Наличие «Горячего старта», что обеспечивает увеличение тока в начале сварки на заданное время. Режим предназначен для облегчения стабильности возбуждения дуги и формирования сварочной ванны в начале процесса сварки;
- Наличие сервисной функции «Антизалипание», которая обеспечивает уменьшение тока выпрямителя при коротком замыкании, если оно длится более устанавливаемой длительности времени;
- Обеспечение возможности управления сварочным выпрямителем при помощи пульта дистанционного управления.

1.2. Показатели стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом

Одним из основных показателей качества процесса дуговой сварки плавящимся электродом является его стабильность, с которой тесно связаны такие показатели качества, как разбрызгивание и качество формирования сварного шва. В настоящее время не существует общепринятой

формулировки понятия стабильности процесса сварки. Каждый исследователь понимает стабильность процесса сварки по-своему, и поэтому использует различные показатели стабильности [2].

Известны несколько различных определений термина «стабильность процесса сварки». В ГОСТ 25616–83 (СТ СЭВ 3235–81) для ручной сварки штучным электродом введен термин «стабильность процесса сварки», однако не дана его формулировка. Позже разработчики этих стандартов сформулировали термин «стабильность процесса сварки» для ручной и механизированной сварки следующим образом: «Под термином стабильный процесс сварки понимают процесс, обеспечивающий получение качественно сформированного сварного соединения с достаточно гладкой поверхностью и практически неизменными по всей длине основными параметрами — глубиной провара, шириной и высотой валика». Близкое определение предложили авторы работы: «Стабильным процессом дуговой сварки принято считать процесс, обеспечивающий постоянство геометрических размеров сварного шва или отклонение последних в допустимых пределах»[2]. Фактически это является формулировкой не стабильности процесса сварки, а следствия стабильности этого процесса. Согласно данной формулировке автоматически измерять показатели стабильности непосредственно в процессе сварки весьма затруднительно. В широком смысле латинское слово *stabilis* означает постоянный, устойчивый. В работах, например, не делается разницы между понятиями «стабильный» и «устойчивый», а в дано следующее определение: «Устойчивость дуги в пространстве называется стабильностью дуги» [2]. Однако в современной технической литературе термины стабильный и устойчивый, как правило, синонимами не являются. Устойчивым принято считать процесс, возвращающийся в равновесное состояние после любых достаточно малых начальных отклонений, вызванных действием внешних возмущений. В сварке этим понятием пользуются при анализе так называемого явления саморегулирования дугового процесса. Под

стабильностью технологического процесса обычно понимают свойство последнего, обуславливающего постоянство распределения вероятностей для его параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне. Иными словами, процесс, отклонение параметров которого от средних значений не превышает заданного уровня, называется стабильным. Соответственно мерой стабильности процесса является отклонение его параметров от среднего значения. Обычно в качестве меры отклонения дискретного сигнала от среднего значения $x_{\text{ср}}$ принимаются дисперсия:

$$\sigma^2(x) \approx \frac{1}{n-1} \sum_i^n (x_i - x_{\text{ср}})^2, \quad (1.1)$$

где n — количество измерений, $\sigma(x) = \sqrt{\sigma^2(x)}$ — среднеквадратичное отклонение.

Чаще всего под стабильностью процесса сварки понимают стабильность горения дуги и стабильность (регулярность) переноса металла электрода в сварочную ванну.

1.2.1. Ручная сварка покрытым электродом

Для этого способа сварки в большинстве случаев ограничиваются указанием — стабильная или нестабильная дуга. Иногда применяется экспертная оценка стабильности дуги по трех- или четырехбалльной системе, как рекомендовано в ГОСТ 25616–83 (СТ СЭВ 3235–81). Стабильность процесса сварки независимо от рода тока оценивается сварщиком-испытателем по частоте обрывов дуги, равномерности ее горения, вибрации и характеру звучания дуги. Четких определений того, что именно подразумевается под равномерностью горения и вибрацией дуги, в стандарте не содержится. Излишне говорить, что экспертные оценки по своей сути являются субъективными и требуют высокой квалификации экспертов. В принципе визуальные и акустические параметры стабильности процесса сварки, о которых идет речь в, можно фиксировать инструментальными средствами с дальнейшей математической обработкой

для получения количественных оценок. Так, звучание дуги определяется микрофоном, а световое излучение — соответствующим фотоприемником. Акустическая эмиссия (звучание сварочной дуги, по интенсивности и характеру которого судят о стабильности процесса сварки) обусловлена колебаниями поверхности столба дуги. Интенсивность звучания дуги пропорциональна скорости колебаний ее мощности, т. е. скорости изменения тока дуги. Изменения светового излучения также определяются колебаниями мощности дуги. Таким образом, световое и акустическое излучение дуги как параметры нестабильности процесса сварки являются вторичными по отношению к электрическим параметрам — сварочному току $I_{св}$ и напряжению на дуге U_d . Естественно, что по этой причине для объективной оценки стабильности дуги предпочтительнее использовать $I_{св}$ и U_d , поскольку их измерить проще, чем световое и акустическое излучения. Инструментальное определение обрывов дуги по напряжению или току также не представляет затруднений.

1.2.2. Ручная сварка покрытым электродом на переменном токе

При сварке на переменном токе, вследствие падения его значения до нуля в каждом полупериоде напряжения сети дуга прерывается и через некоторое время снова зажигается. Такие естественные прерывания дуги не всегда заканчиваются ее повторным возбуждением в следующем полупериоде питающего напряжения [2]. В результате сварка на переменном токе является наиболее нестабильным процессом из всех способов дуговой сварки, а частота обрывов дуги, бесспорно, — основным объективным показателем стабильности ее горения.

Ни один из предложенных показателей, кроме частоты обрывов дуги, строго говоря не является показателем стабильности горения дуги или стабильности процесса сварки в целом. Для переменного тока его среднее значение равно нулю. Поэтому среднеквадратичное отклонение тока является не показателем его стабильности, а мерой его значения, и

называется действующим значением тока I . В этом случае в качестве объективного показателя стабильности процесса сварки в соответствии с приведенным выше определением стабильности можно принять дисперсию $\sigma^2(I)$, среднеквадратичное отклонение $\sigma(I)$ или коэффициент вариации действующего значения сварочного тока K_V^I . Аналогично для падения напряжения на дуге в качестве показателя стабильности можно принять дисперсию $\sigma^2(U)$, среднеквадратичное отклонение $\sigma(U)$ или коэффициент вариации действующего значения напряжения на электродах K_V^U . Эти параметры являются показателями стабильности процесса только при сварке без регулярных КЗ.

При ручной дуговой сварке перенос металла осуществляется преимущественно с регулярными КЗ. Наличие КЗ, естественно, сказывается на вариациях действующих значений сварочного тока и напряжения на дуге. При этом эти изменения могут быть как больше, так и меньше вариаций, вызванных действием других возмущений. Поэтому вариации сварочного тока и напряжения на дуге недостаточно чувствительны к нестабильности КЗ. Более эффективно оценивать стабильность КЗ по среднеквадратичному отклонению их частоты $\sigma(f_{КЗ})$ и длительности $\sigma(\tau_{КЗ})$. Если режим сварки предусматривает отсутствие регулярных КЗ, то нестабильность процесса по причине КЗ следует оценивать по значению $f_{КЗ}$: чем оно меньше, тем стабильнее процесс сварки.

1.2.3. Ручная сварка покрытым электродом на постоянном токе

Впервые количественную оценку стабильности горения дуги предложил К. К. Хренов, который оценивал устойчивость (стабильность) дуги по ее длине при обрыве: чем длиннее дуга при обрыве для неподвижно закрепленного электрода, тем меньше обрывов дуги при сварке, а следовательно, стабильнее ее горение. Недостатком данного метода являются ошибки, вызванные влиянием капель, не успевших оторваться от торца электрода перед разрывом дуги. Этот метод оценки дает разброс 15...30 %.

Строго говоря, длина дуги при обрыве является мерой ее «эластичности», которая выделена в отдельный показатель качества дуги и связана с частотой обрывов последней лишь косвенно. В качестве меры равномерности горения дуги для оценки ее стабильности разными авторами используются некоторые статистические параметры сварочного тока и напряжения на дуге.

2. Методика и материалы исследования

Для изучения влияния динамических характеристик источника питания на стабильность плавления и переноса электродного металла при сварке покрытыми электродами применялись 3 типа источников питания:

- 1) Трехфазный сварочный выпрямитель ВД-306



Рисунок 2.1. Трехфазный выпрямитель сварочного тока ВД-306

Аппарат, подключаемый к сети переменного тока, применяется для питания постоянным током электросварочной дуги при выполнении работ по резке и сварке металлических изделий, а также их наплавке. Использовать его можно при влажности воздуха до 80 % и температурах от -40 до +40 °С в помещениях закрытого типа, где вентиляция воздуха происходит естественным путем.

Сердечник трансформатора изготовлен из электротехнической листовой (0,5 миллиметров) стали 2212. Он снабжен стержневым магнитопроводом. Неподвижные катушки вторичной и первичной обмоток сделаны из алюминиевого изолированного кабеля. Обмотки, отходящие от сердечника, обрабатываются на заводе-изготовителе специальным лаковым составом, рекомендованным для электротехнических конструкций. Изоляция

этих обмоток – стеклопластиковая. Питание агрегата осуществляется от переменной трехфазной сети. Блок выпрямителей (он является полупроводниковым) отвечает за преобразование напряжения (из переменного получают требуемое сварочное). Регулировка тока для сварки выполняется при помощи рукоятки, которая размещена на лицевой стороне панели блока. Модификация индуктивного рассеивания становится возможной при вращении этой рукоятки (она размыкает либо замыкает магнитный шунт).

Таблица 2.1. Характеристики трехфазного выпрямителя сварочного тока ВД-306

<i>Напряжение питания</i>	3x380 В
<i>Номинальная частота сети</i>	50 Гц
<i>Номинальный сварочный ток</i>	315 А
<i>Диапазон регулирования сварочного тока</i>	30-315 А
<i>Продолжительность нагрузки</i>	60 %
<i>Номинальное рабочее напряжение</i>	32 В
<i>Напряжение холостого хода</i>	80 В
<i>Способ регулирования сварочного тока</i>	механический, плавный
<i>Потребляемая мощность</i>	11,4 кВА
<i>Обмотки трансформатора</i>	AL
<i>Количество постов</i>	1
<i>Габаритные размеры</i>	560x510x660 мм
<i>Масса</i>	104 кг

2) Однофазный сварочный выпрямитель ВДЭ-160

Использование: электродуговая сварка плавящимся электродом. Однофазный выпрямитель с электронным регулированием тока обеспечивает высокую устойчивость процесса при сварке на малых токах (15-90 А), что позволяет сваривать тонколистовые конструкции (0,8-1,5 мм) из углеродистых и высоколегированных сталей электродами диаметром 2,6-3,25 мм. При сварке металла больших толщин повышается качество сварного соединения за счет повышенного динамического воздействия дуги на сварочную ванну, увеличения глубины переплавления и улучшения условий кристаллизации металла. Легкое возбуждение и высокая стабильность горения дуги, незначительные потери металла на разбрызгивание и высокие

энергетические показатели, широкий диапазон плавного регулирования тока и удобство в работе обеспечивают успешное применение выпрямителя в бытовых условиях, для сантехнических работ, на малых предприятиях, в авторемонтных мастерских. Однофазный выпрямитель содержит трансформатор, тиристорный выпрямитель с блоком управления и подпитки, фазорегулирующее устройство, два пороговых устройства, а также симметричный тиристор с блоком управления и линию задержки.

3) Сварочный выпрямитель инверторного типа ARC-250 «Сварог»



Рисунок 2.2. Сварочный выпрямитель инверторного типа ARC-250 «Сварог»

Сварочный выпрямитель инверторного типа ARC-250 «Сварог» предназначен для ручной дуговой сварки и наплавки штучным электродом на постоянном токе стальных изделий в производственных и бытовых условиях. Аппарат произведен на базе современной инверторной технологии с использованием мощных транзисторов MOSFET и применению принципа широтно-импульсной модуляции (PWM). Он отличается стабильной, надежной и эффективной работой, портативностью и низким уровнем шума в процессе сварки. Особенности аппарата ARC 250 это – высокий КПД, низкий уровень потребления энергии, мобильность, превосходные динамические

свойства, стабильность горения дуги, низкий уровень напряжения холостого хода, саморегулирование мощности дуги, способность удовлетворять различным требованиям к сварке.

Регулировка форсажа дуги (тока короткого замыкания) позволяет оптимально подобрать глубину проплавления металла, и избежать повышенного разбрызгивания металла и (или) залипания электрода.

Таблица 2.2. Характеристики сварочного выпрямителя инверторного типа ARC-250 «Сварог»

ХАРАКТЕРИСТИКА	ЗНАЧЕНИЕ
Напряжение питающей сети, В	220±15%
Потребляемая мощность, кВт	7,6
Частота питающей сети, Гц	50/60
Напряжение холостого хода, В	67
Диапазон регулирования сварочного тока, А	20–225
Номинальное напряжение, В	29
ПВ, %	60
Потери холостого хода, Вт	60
КПД, %	85
Коэффициент мощности	0,93
Класс изоляции	F
Степень защиты	IP23
Форсаж дуги, А	0–60
Диаметр электрода, мм	1,6–5
Вес, кг	15,5
Габаритные размеры, мм	480×205×355

Сварочные электроды применяемые для эксперимента:

1) Электроды LB-52U (ЛБ 52 У) Ø3,2 мм

Электроды LB 52U (ЛБ 52 У) предназначены для сварки труб из сталей прочностных классов до K54 включительно и от K55 до K60 включительно. Электроды LB-52U аттестованы НАКС (Национальной Ассоциацией Контроля Сварки) и рекомендованы ВНИИСТом для использования при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов.

LB-52U (ЛБ 52У) - сварочный электрод с пониженным содержанием водорода, что позволяет значительно улучшить характеристики сварного шва. Использование данного электрода позволяет получить отличный наплавленный металл шва и аккуратный корневой чешуйчатый валик без дефектов при сварке с одной стороны соединения. Электрод LB 52U обеспечивает высокую ударную вязкость и его часто используют для сварки труб, морских конструкций и сооружений типа резервуаров, которые необходимо сваривать только с одной стороны. Обеспечивает намного лучшую стабилизацию дуги и проплавление, чем другие низководородные электроды.

Таблица 2.3. Химический состав (%) электродов LB-52U

Ø, мм	C	Si	Mn	P	S
3.2	0.06	0.51	1.02	0.011	0.006

2) Электроды УОНИ 13/55 Ø3мм

Сварочные электроды УОНИ 13/55 предназначены для сварки особо ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, когда к металлу швов предъявляют повышенные требования по пластичности и ударной вязкости. Допускается сварка электродами УОНИ 13/55 во всех пространственных положениях шва постоянным током обратной полярности. По заключению независимых экспертов электроды УОНИ 13/55 самые

высококачественные из всех отечественных и зарубежных производителей сварочных электродов.

Характеристика электродов УОНИ 13/55

Покрытие марки сварочных электродов УОНИ 13/55 – основное.

Коэффициент наплавки УОНИ 13/55 – 9,5 г/А·ч.

Производительность наплавки электродов (для диаметра 4,0 мм) – 1,4 кг/ч.

Расход электродов УОНИ 13/55 на 1 кг наплавленного металла – 1,7 кг.

Таблица 2.4. Химический состав (%) электродов УОНИ 13/55

Ø, мм	C	Mn	Si	S	P
3	0,09	0,83	0,42	0,022	0,024

3) Электроды УОНИ 13 «Мороз» Ø3мм

Электроды с основным покрытием, предназначены для сварки трубопроводов и особо ответственных конструкций из низколегированных перлитных сталей, когда к металлу шва предъявляют повышенные требования по ударной вязкости при температуре до – 70 °С. Сварка во всех пространственных положениях на постоянном токе обратной полярности.

Таблица 2.5. Характеристики электродов УОНИ 13 «Мороз»

Диаметр электрода, мм	3,0
Положение шва, сила тока при сварке, А	Нижнее 90-130
Положение шва, сила тока при сварке, А	Вертикальное 70-100
Положение шва, сила тока при сварке, А	Потолочное 70-100
Металл шва характеризуется высокой хладостойкостью	хладостойкостью при – 70°С KCV ≥ 40 Дж/см ²
Технологические особенности сварки	Сварку производят короткой дугой по очищенным кромкам
Коэффициент наплавки	9,5 г/А*ч

Производительность	1,4 кг/ч
Расход электродов на 1 кг наплавленного металла	1,6 кг

Методика эксперимента заключалась в получении осциллограмм сварочного тока и напряжения для дальнейшей статистической обработки и расчетов, необходимых для определения основных критериев стабильности процесса сварки. Для получения осциллограмм применялось следующее оборудование:

1) Цифровой осциллограф OWON SDS6062V

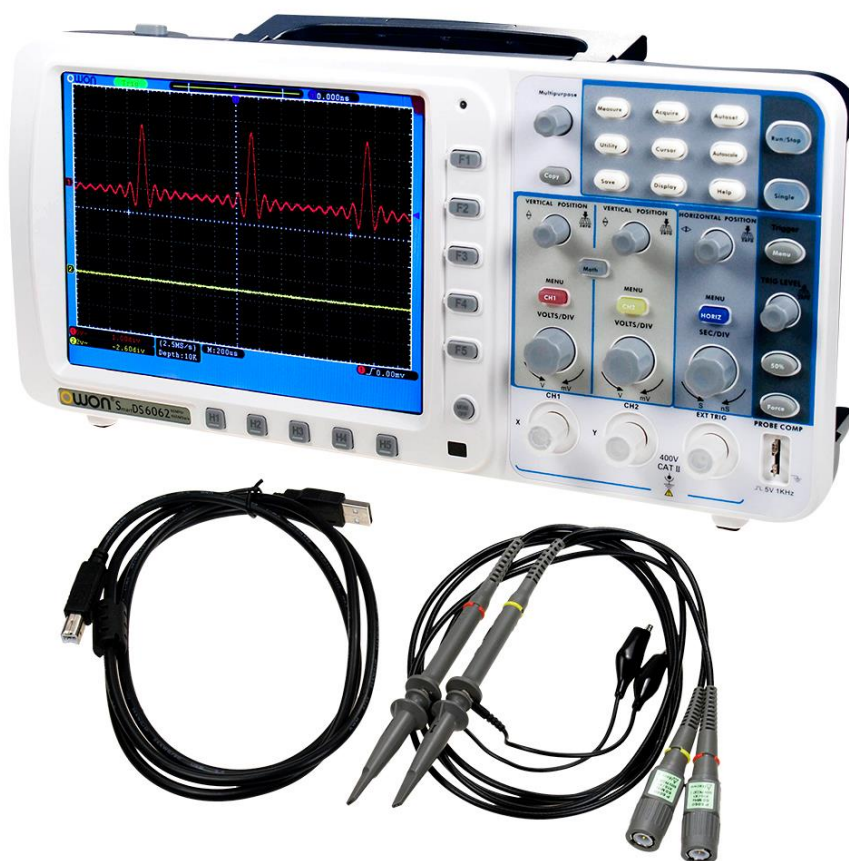


Рисунок 2.3. Цифровой осциллограф OWON SDS6062V

Таблица 2.5. Характеристики цифрового осциллографа OWON SDS6062V

Тип осциллографа	<u>цифровой</u>
Полоса пропускания, МГц	<u>60</u>
Количество каналов	<u>2</u>
Частота выборки, Мвыб./с	500
Чувствительность, В/дел.	0.002-10
Развертка по горизонтали	5 нс - 100 с/дел
Дисплей	TFT цветной 800x600
Интерфейс	USB,VGA
Память на канал	10М на канал
Сертификация Госстандарта РФ	нет
Размеры, мм	340x155x70
Вес, кг	1.8
Производитель	Owon

2) Токоизмерительные клещи UT203



Рисунок 2.4. Токоизмерительные клещи UT203

UT203 цифровые токоизмерительные клещи переменного и постоянного тока с автоматическим выбором диапазона (токовые клещи)

Диапазоны измерений

- Постоянное напряжение: 400 мВ / 4 В / 40 В / 400 В / 600 В $\pm(0.8\%+1)$.
- Переменное напряжение: 4 В / 40 В / 400 В / 600 В $\pm(1\%+5)$.
- Переменный ток: 40 А / 400 А $\pm(2.5\%+5)$.
- Постоянный ток: 40 А / 400 А $\pm(2\%+3)$.
- Сопротивление: 400 Ом / 4 кОм / 40 кОм / 400 кОм / 4 МОм / 40 МОм $\pm(1\%+2)$.
- Частота: 10 Гц ~ 1 МГц $\pm(0.1\%+3)$.
- Коэффициент заполнения: 0.1% ~ 99.9%.

Основные функциональные особенности

- Разрядность дисплея - до 4000.
- Ширина раскрытия - до 28 мм.
- Прозвонка межсоединений со звуковым сигналом.
- Проверка диодов.
- Индикация перегрузки, отрицательной полярности, разряда батареи.
- Сохранение показаний (HOLD), автовыключение питания.

- Автоматическое переключение диапазонов измерения.
- Режим относительных измерений, автоматическая установка "нуля".
- Питание: 1 x 9 В (6F22 "Крона").

3. Результаты исследований

В результате исследований были получены основные параметры каждого из процессов сварки покрытыми электродами. Также, в ходе процесса сварки, были записаны осциллограммы тока и напряжения, необходимые для дальнейших расчетов и статистической обработки. Благодаря осциллограммам, были измерены длительность коротких замыканий, а также общая длительность микроцикла каплеобразования, необходимые для последующего построения гистограмм. По окончании статистической обработки, было рассчитано среднеквадратичное отклонение частоты коротких замыканий для каждого из процессов, благодаря которому были сделаны выводы о стабильности процесса сварки, в зависимости от источника питания, а также от типа сварочных электродов.

3.1. Результаты измерений длительности коротких замыканий и длительности микроцикла каплеобразования при сварке покрытыми электродами

Для измерения длительности коротких замыканий и периодов между короткими замыканиями, с помощью цифрового осциллографа и токоизмерительных клещей, были получены осциллограммы тока и напряжения. В дальнейшем, данные осциллограммы обрабатывались на персональном компьютере с помощью специального программного обеспечения. Результаты измерений приведены в таблицах 1,2,3.

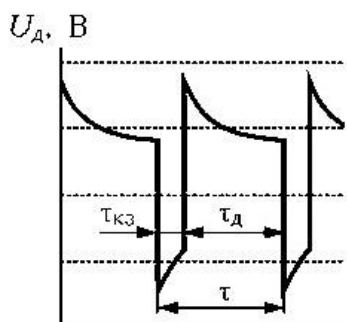


Рисунок 3.1. Схема измерения длительности коротких замыканий и периода между короткими замыканиями

Таблица 3.1. Результаты измерения длительности коротких замыканий и длительности микроциклов каплеобразования при использовании трехфазного выпрямителя ВД – 306

ВД-306															
LB-52U				УОНИ 13/55				УОНИ 13 "Мороз"				ЦЛ-11			
t ₁	5,5	T ₁	212,7	t ₁	6,8	T ₁	68	t ₁	5	T ₁	20,7	t ₁	9,6	T ₁	393,7
t ₂	5,7	T ₂	159,7	t ₂	1,4	T ₂	69,7	t ₂	4,1	T ₂	183,2	t ₂	17	T ₂	218,9
t ₃	5,6	T ₃	104,4	t ₃	2,9	T ₃	52,8	t ₃	11,4	T ₃	204,8	t ₃	12,1	T ₃	321,3
t ₄	7,6	T ₄	160,5	t ₄	4,6	T ₄	188,6	t ₄	6,7	T ₄	183,8	t ₄	9,2	T ₄	165,4
t ₅	9,9	T ₅	76,3	t ₅	10,5	T ₅	157	t ₅	11,1	T ₅	156,2	t ₅	6,5	T ₅	291,7
t ₆	4,6	T ₆	175,9	t ₆	6,5	T ₆	163,2	t ₆	4,6	T ₆	152,6	t ₆	13,4	T ₆	326,8
t ₇	6,2	T ₇	210,1	t ₇	9	T ₇	159,6	t ₇	5,8	T ₇	330,1	t ₇	14,6	T ₇	318,1
t ₈	7,9	T ₈	217,5	t ₈	6,2	T ₈	297,2	t ₈	8,6	T ₈	222,4	t ₈	15,8	T ₈	230,7
t ₉	4,8	T ₉	200	t ₉	7,6	T ₉	210,1	t ₉	6,1	T ₉	145,6	t ₉	15,8	T ₉	267,1
t ₁₀	8,5	T ₁₀	147,8	t ₁₀	10,9	T ₁₀	201,3	t ₁₀	6,1	T ₁₀	248,3	t ₁₀	11,4	T ₁₀	177,2
t ₁₁	8,3	T ₁₁	168,8	t ₁₁	7,2	T ₁₁	132,4	t ₁₁	6,4	T ₁₁	254,4	t ₁₁	16,2	T ₁₁	216,7
t ₁₂	5,3	T ₁₂	150,9	t ₁₂	4,3	T ₁₂	280,7	t ₁₂	4,8	T ₁₂	105,3	t ₁₂	7,7	T ₁₂	166,7
t ₁₃	7,4	T ₁₃	233,4	t ₁₃	6,2	T ₁₃	273,3	t ₁₃	4,8	T ₁₃	240,8	t ₁₃	6,8	T ₁₃	151,3
t ₁₄	5,5	T ₁₄	300,5	t ₁₄	3,8	T ₁₄	209,6	t ₁₄	5,6	T ₁₄	333,4				
t ₁₅	10,7	T ₁₅	141,2	t ₁₅	5,7	T ₁₅	73,2	t ₁₅	11,7	T ₁₅	141,2				
t ₁₆	5,8	T ₁₆	167,5	t ₁₆	4,9	T ₁₆	190,3	t ₁₆	4,9	T ₁₆	236,4				
t ₁₇	4,7	T ₁₇	219,3	t ₁₇	8,2	T ₁₇	108,3	t ₁₇	10,3	T ₁₇	210,5				

Таблица 3.2. Результаты измерения длительности коротких замыканий и длительности микроциклов каплеобразования при использовании однофазного выпрямителя ВДЭ – 160

ВДЭ-160															
ЛВ-52U				УОНИ 13/55				УОНИ 13 "Мороз"				ЦЛ-11			
t ₁	12,7	T ₁	90,1	t ₁	7,8	T ₁	190	t ₁	6,4	T ₁	133,1	t ₁		T ₁	
t ₂	7,7	T ₂	210,5	t ₂	5,7	T ₂	162,7	t ₂	2,3	T ₂	106,6	t ₂		T ₂	
t ₃	7,8	T ₃	107,9	t ₃	2,6	T ₃	11,1	t ₃	17,1	T ₃	211	t ₃		T ₃	
t ₄	6,1	T ₄	201,8	t ₄	1,9	T ₄	26,3	t ₄	5,2	T ₄	174,6	t ₄		T ₄	
t ₅	8	T ₅	159,2	t ₅	6,2	T ₅	44,7	t ₅	5,7	T ₅	275,5	t ₅		T ₅	
t ₆	12,3	T ₆	219,3	t ₆	1,9	T ₆	134,2	t ₆	8,3	T ₆	131,6	t ₆		T ₆	
t ₇	11,2	T ₇	140,8	t ₇	5,2	T ₇	121,5	t ₇	4,6	T ₇	129,8	t ₇		T ₇	
t ₈	14,9	T ₈	220,6	t ₈	7,6	T ₈	100	t ₈	7,7	T ₈	50,1	t ₈		T ₈	
t ₉	8,6	T ₉	149,5	t ₉	6,4	T ₉	99,1	t ₉	4,5	T ₉	248,3	t ₉		T ₉	
t ₁₀	10,2	T ₁₀	129,4	t ₁₀	4,7	T ₁₀	137,7	t ₁₀	8,4	T ₁₀	135,1	t ₁₀		T ₁₀	
t ₁₁	5,6	T ₁₁	153,9	t ₁₁	6,1	T ₁₁	178,1	t ₁₁	3,4	T ₁₁	153,5	t ₁₁		T ₁₁	
t ₁₂	12,2	T ₁₂	156,2	t ₁₂	10,4	T ₁₂	181,6	t ₁₂	7,1	T ₁₂	180,7	t ₁₂		T ₁₂	
t ₁₃	5,2	T ₁₃	60,1	t ₁₃	8,2	T ₁₃	233,3	t ₁₃	21,9	T ₁₃	210,5	t ₁₃		T ₁₃	
t ₁₄	9,1	T ₁₄	119,7	t ₁₄	5,3	T ₁₄	130,7	t ₁₄	2,9	T ₁₄	98,7	t ₁₄		T ₁₄	
t ₁₅	3,2	T ₁₅	101,3	t ₁₅	7,6	T ₁₅	111,4	t ₁₅	5,6	T ₁₅	14	t ₁₅		T ₁₅	
t ₁₆	2,5	T ₁₆	149,1	t ₁₆	4,6	T ₁₆	85,5	t ₁₆	5,4	T ₁₆	291,7	t ₁₆		T ₁₆	
t ₁₇	15,7	T ₁₇	208,8	t ₁₇	15,6	T ₁₇	211	t ₁₇	6,3	T ₁₇	246,1	t ₁₇		T ₁₇	
t ₁₈	6,6	T ₁₈	81,1	t ₁₈	7,2	T ₁₈	181,2	t ₁₈	7,2	T ₁₈	73,7	t ₁₈		T ₁₈	
t ₁₉	15,8	T ₁₉	220,6	t ₁₉	13,2	T ₁₉	135,5	t ₁₉	5,7	T ₁₉	189,9	t ₁₉		T ₁₉	
t ₂₀	6,1	T ₂₀	131,6	t ₂₀	3,3	T ₂₀	164	t ₂₀	4,9	T ₂₀	80,7	t ₂₀		T ₂₀	
t ₂₁	8,7	T ₂₁	186,6	t ₂₁	3,5	T ₂₁	50,4	t ₂₁	12,4	T ₂₁	100,1	t ₂₁		T ₂₁	
				t ₂₂	5,8	T ₂₂	129,4	t ₂₂	3,3	T ₂₂	159,6				
				t ₂₃	5,1	T ₂₃	129,8								
				t ₂₄	4,5	T ₂₄	131,2								
				t ₂₅	5,4	T ₂₅	118,8								
				t ₂₆	7,4	T ₂₆	229,4								
				t ₂₇	15,4	T ₂₇									

Таблица 3.3. Результаты измерения длительности коротких замыканий и длительности микроциклов каплеобразования при использовании выпрямителя инверторного типа ARC – 250 «Сварог»

ARC-250															
LB-52U				УОНИ 13/55				УОНИ 13 "Мороз"				ЦЛ-11			
t ₁	5,1	T ₁	135,1	t ₁	6,9	T ₁	70,4	t ₁	7,1	T ₁	175	t ₁	5,3	T ₁	74,6
t ₂	4,9	T ₂	47,1	t ₂	9,9	T ₂	228,9	t ₂	6,7	T ₂	76,3	t ₂	10,4	T ₂	150
t ₃	3,7	T ₃	190	t ₃	16,9	T ₃	157,5	t ₃	1,8	T ₃	22,8	t ₃	6,2	T ₃	204,4
t ₄	4,7	T ₄	107,9	t ₄	2,1	T ₄	97,2	t ₄	2,6	T ₄	75,9	t ₄	2,7	T ₄	4,8
t ₅	7,9	T ₅	265,8	t ₅	6,5	T ₅	153,5	t ₅	4,4	T ₅	21,5	t ₅	14,6	T ₅	130,3
t ₆	6,6	T ₆	211	t ₆	5,2	T ₆	175,9	t ₆	5,3	T ₆	125,4	t ₆	8,1	T ₆	98,7
t ₇	8,6	T ₇	229	t ₇	8,3	T ₇	133,3	t ₇	7,5	T ₇	141,7	t ₇	15,6	T ₇	222,4
t ₈	5,9	T ₈	139,5	t ₈	3,7	T ₈	67,5	t ₈	6,5	T ₈	228,5	t ₈	6,1	T ₈	199,6
t ₉	3,2	T ₉	28,1	t ₉	4,8	T ₉	117,5	t ₉	6,9	T ₉	110,1	t ₉	7,2	T ₉	181,2
t ₁₀	4,7	T ₁₀	174,1	t ₁₀	4,2	T ₁₀	128,1	t ₁₀	3,9	T ₁₀	226,8	t ₁₀	5,5	T ₁₀	125
t ₁₁	6,9	T ₁₁	193,8	t ₁₁	7,3	T ₁₁	154,4	t ₁₁	7,5	T ₁₁	140,8	t ₁₁	4,1	T ₁₁	232,5
t ₁₂	4,3	T ₁₂	136,8	t ₁₂	4,8	T ₁₂	96,5	t ₁₂	5,8	T ₁₂	127,2	t ₁₂	10,1	T ₁₂	160,1
t ₁₃	6,2	T ₁₃	223,7	t ₁₃	5,9	T ₁₃	142,1	t ₁₃	4,8	T ₁₃	107,5	t ₁₃	8,7	T ₁₃	136,4
t ₁₄	5,1	T ₁₄	80,7	t ₁₄	8,1	T ₁₄	173,3	t ₁₄	6,9	T ₁₄	155,7	t ₁₄	8,4	T ₁₄	117,6
t ₁₅	4,8	T ₁₅	116,2	t ₁₅	5,8	T ₁₅	110,9	t ₁₅	1,4	T ₁₅	93	t ₁₅	4,2	T ₁₅	160,1
t ₁₆	5,3	T ₁₆	197,8	t ₁₆	9,9	T ₁₆	163,6	t ₁₆	9,3	T ₁₆	117,1	t ₁₆	10,8	T ₁₆	153,1
t ₁₇	6,5	T ₁₇	128,9	t ₁₇	4,5	T ₁₇	119,7	t ₁₇	4	T ₁₇	103,9	t ₁₇	13,2	T ₁₇	193,9
t ₁₈	3,9	T ₁₈	54,2	t ₁₈	5,6	T ₁₈	221,1	t ₁₈	7,9	T ₁₈	109,4	t ₁₈	10,5	T ₁₈	168
t ₁₉	3,9	T ₁₉	111,8	t ₁₉	4,7	T ₁₉	147,4	t ₁₉	4,7	T ₁₉	190,8	t ₁₉	12,3	T ₁₉	106,6
t ₂₀	5,6	T ₂₀	217,9	t ₂₀	6,3	T ₂₀	232,1	t ₂₀	4,3	T ₂₀	71,1	t ₂₀	3,5	T ₂₀	27,1
t ₂₁	5,2	T ₂₁	3,01	t ₂₁	4,6	T ₂₁	157,1	t ₂₁	3,8	T ₂₁	144,8	t ₂₁	2,7	T ₂₁	48,9
t ₂₂	5	T ₂₂	190,3	t ₂₂	6	T ₂₂	253,8	t ₂₂	3,9	T ₂₂	30,7	t ₂₂	6,9	T ₂₂	77,2
								t ₂₃	6,7	T ₂₃	226,3	t ₂₃	15,1	T ₂₃	214,1
								t ₂₄	6,1	T ₂₄	171,1	t ₂₄	12,1	T ₂₄	178,1
								t ₂₅	7,8	T ₂₅	213,6				
								t ₂₆	6,4	T ₂₆	225,1				

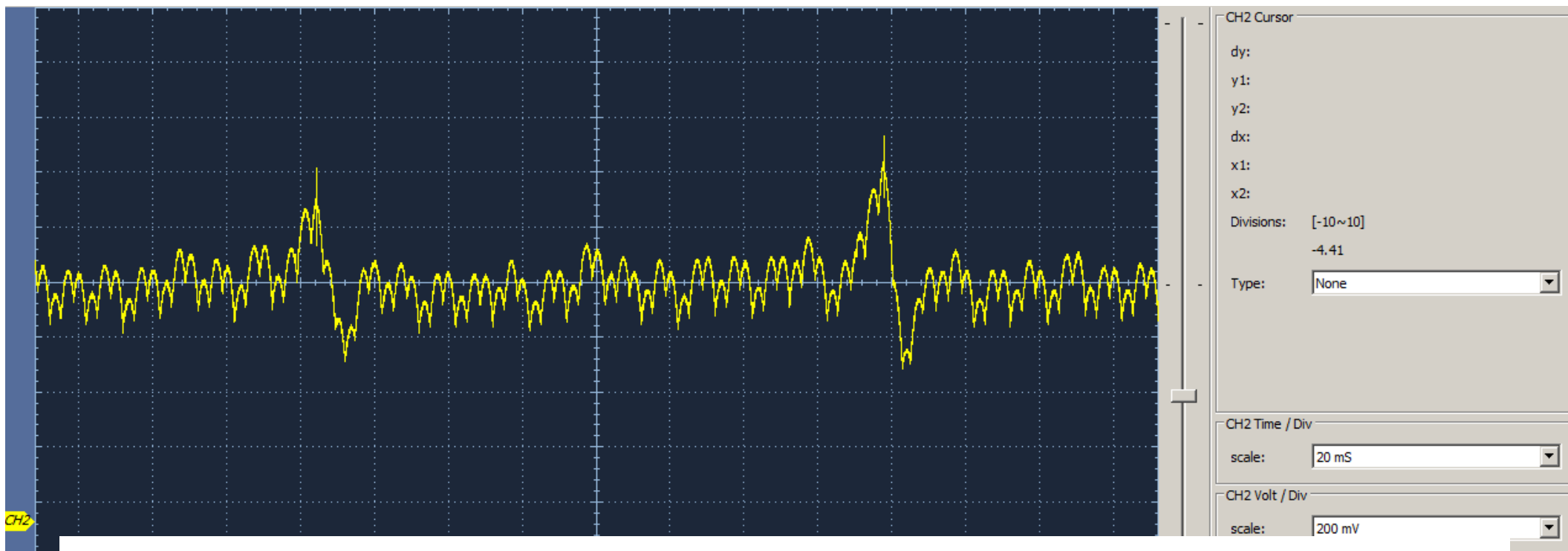


Рисунок 3.2. Осциллограмма сварочного тока при использовании трехфазного выпрямителя ВД-306

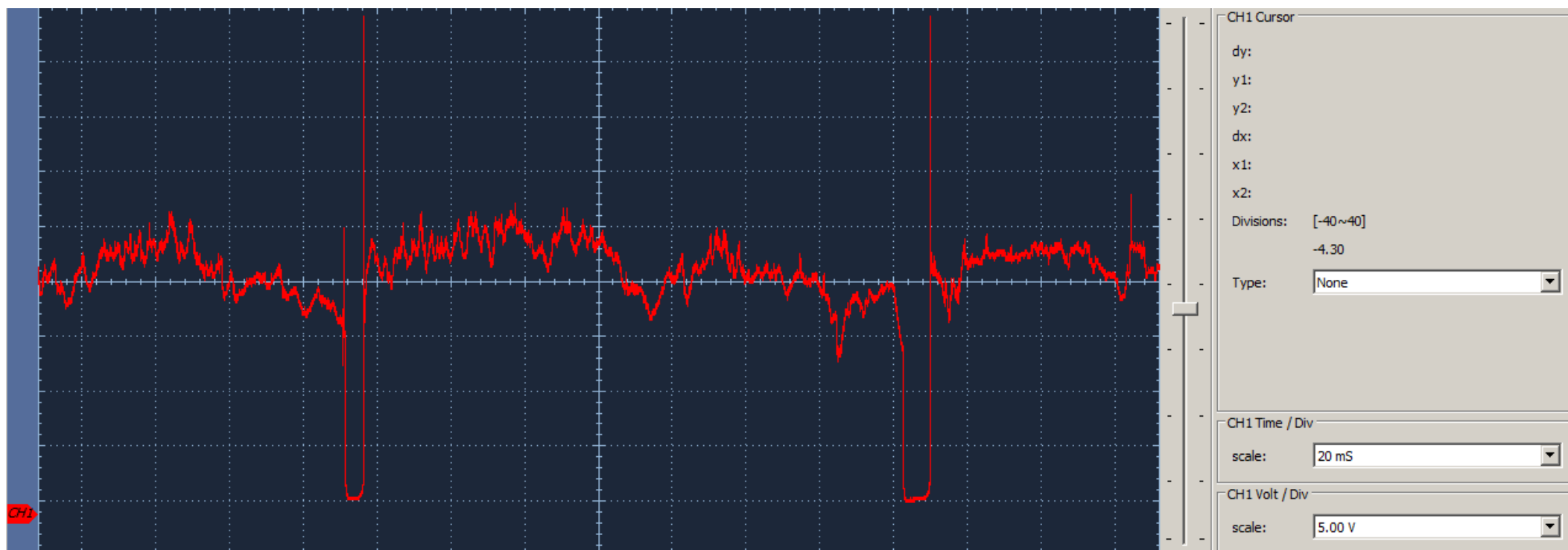


Рисунок 3.3. Осциллограмма сварочного напряжения при использовании трехфазного выпрямителя ВД-306

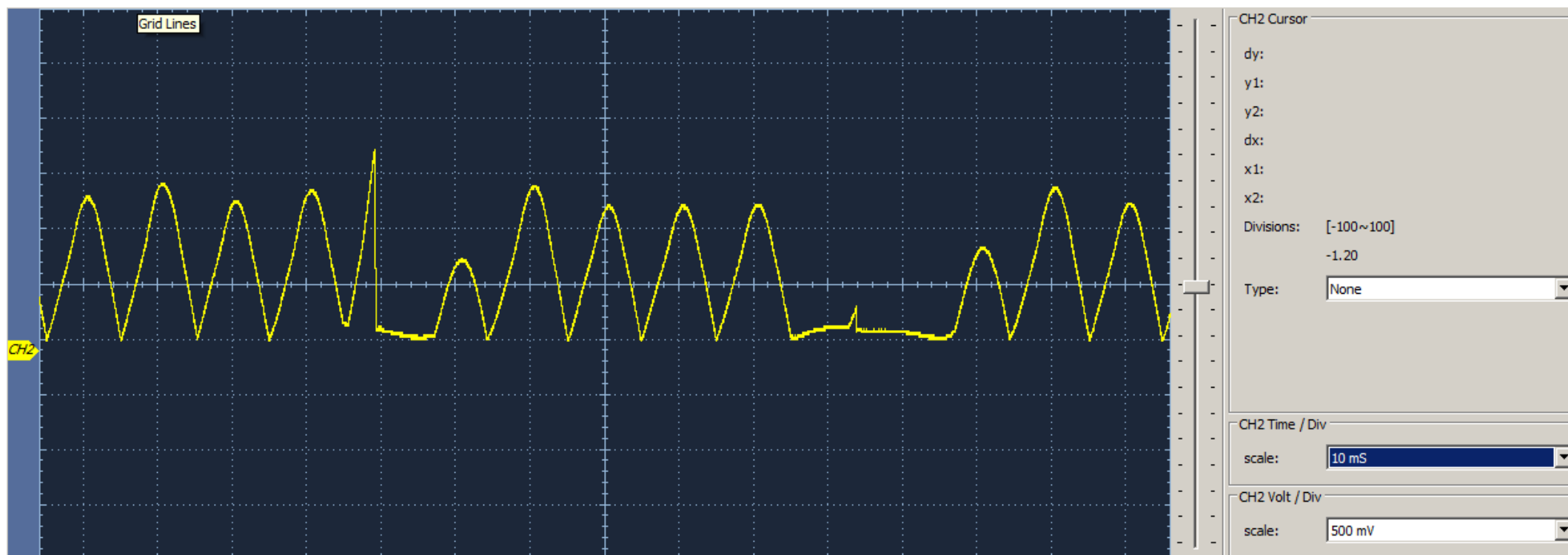


Рисунок 3.4. Осциллограмма сварочного тока при использовании однофазного выпрямителя ВДЭ-160

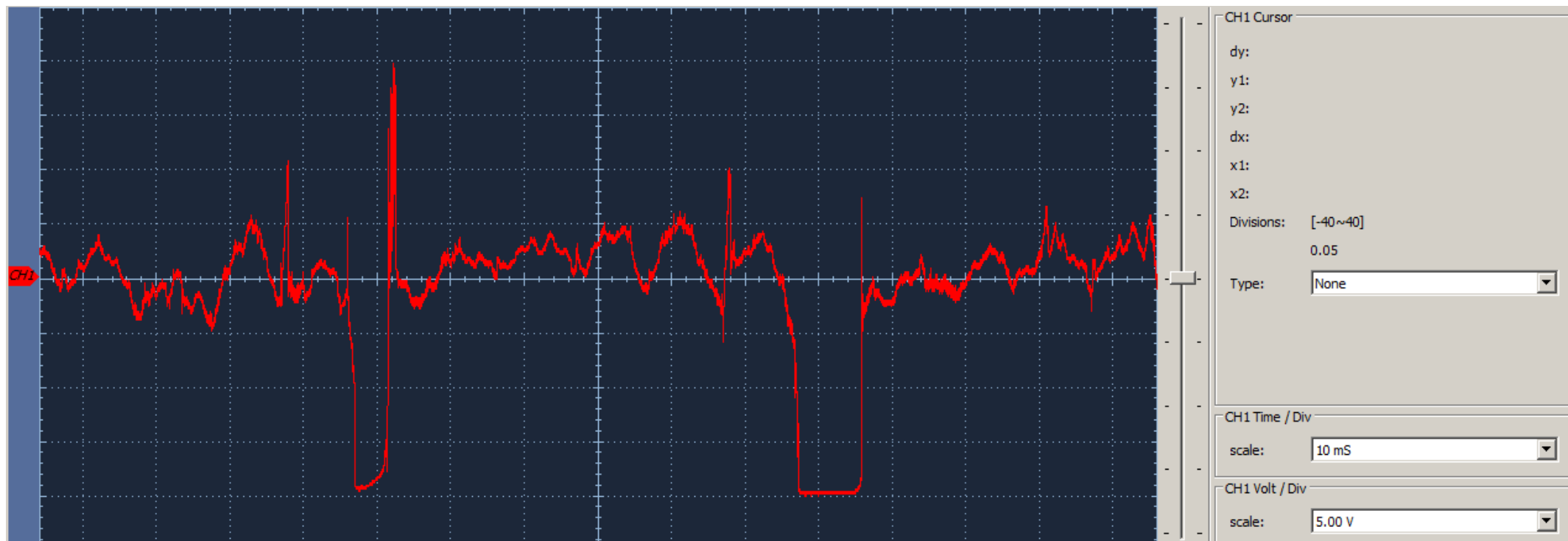


Рисунок 3.5. Осциллограмма сварочного напряжения при использовании однофазного выпрямителя ВДЭ-160

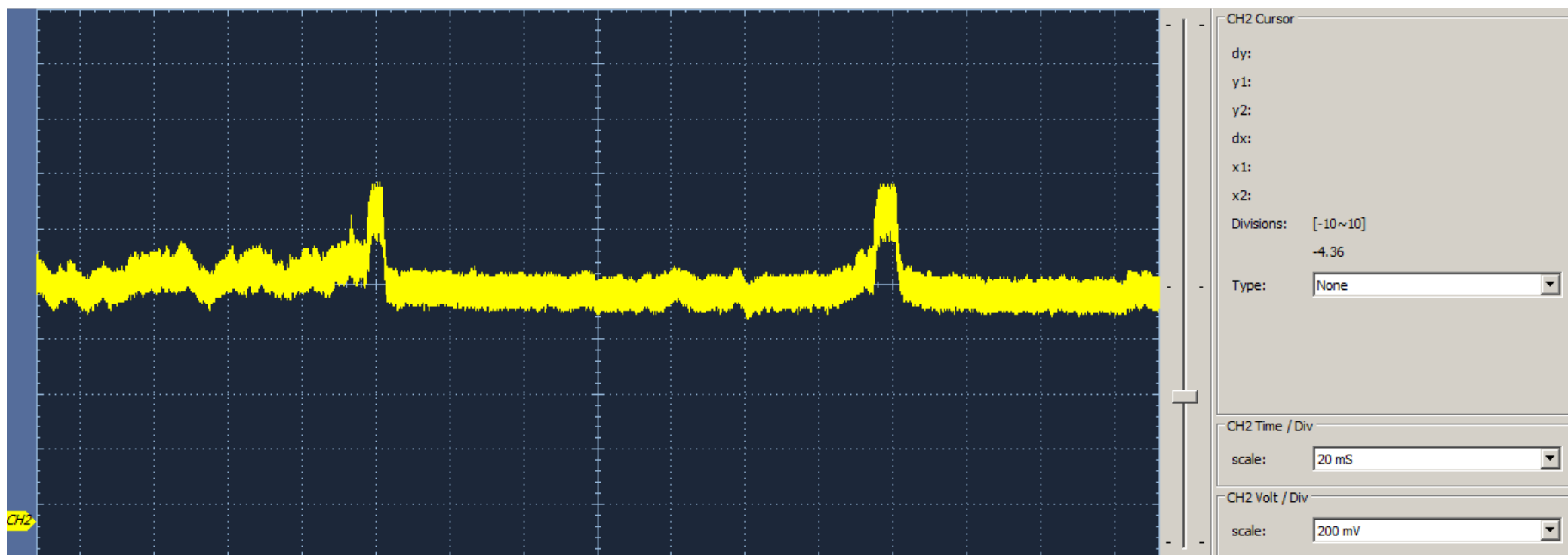


Рисунок 3.6. Осциллограмма сварочного тока при использовании выпрямителя инверторного типа ARC-250 «Сварог»

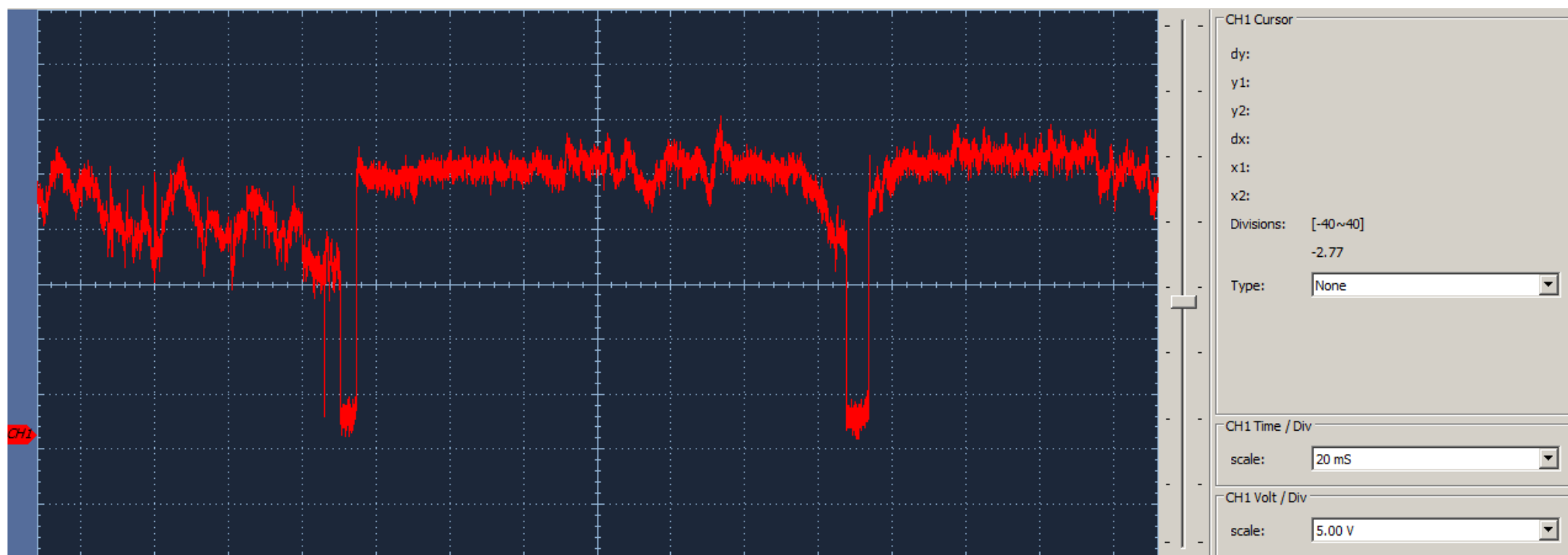


Рисунок 3.7. Осциллограмма сварочного напряжения при использовании выпрямителя инверторного типа ARC-250 «Сварог»

3.2. Основные параметры режимов сварки

В ходе эксперимента, используя поочередно каждый источник питания, производилась наплавка валика длиной 50 мм. Также наплавка выполнялась тремя типами электродов: LB-52U диаметром 3,2 мм, УОНИ 13/55 диаметром 3 мм, УОНИ 13 «Мороз» диаметром 3 мм. Основные параметры режимов сварки представлены в таблицах 4, 5, 6.

Таблица 3.4. Параметры режимов сварки при использовании трехфазного выпрямителя ВД – 306

Марка электрода	I, А	U, В	$l_{шв}$, мм	$t_{св}$, с	$V_{св}$, м/ч	q, кДж/м
LB-52U $\varnothing 3,2$ мм	88,6	20,8	50	13	13,8	31,5
УОНИ13/55 $\varnothing 3$ мм	87,6	21,5	50	10	18	24,7
УОНИ13 «Мороз»	86,6	22,4	50	12	15	30,5

Таблица 3.5. Параметры режимов сварки при использовании однофазного выпрямителя ВДЭ – 160

Марка электрода	I, А	U, В	$l_{шв}$, мм	$t_{св}$, с	$V_{св}$, м/ч	q, кДж/м
LB-52U $\varnothing 3,2$ мм	89	20,8	50	12	15	29,1
УОНИ13/55 $\varnothing 3$ мм	87,7	22,1	50	11	16,2	28,2
УОНИ13 «Мороз»	88	21,7	50	11	16,2	27,8

Таблица 3.6. Параметры режимов сварки при использовании выпрямителя инверторного типа ARC – 250 «Сварог»

Марка электрода	I, А	U, В	$l_{шв}$, мм	$t_{св}$, с	$V_{св}$, м/ч	q, кДж/м
LB-52U $\varnothing 3,2$ мм	91	20,5	50	14	12,6	34,9
УОНИ13/55 $\varnothing 3$ мм	89,5	20,4	50	12	15	28,7
УОНИ13 «Мороз»	87,7	21,2	50	13	13,8	31,8

Для того, чтобы точность проводимых исследований была на высоком уровне, возникала необходимость добиться достаточно близких по значению основных параметров режимов сварки.

3.3. Результаты статистической обработки

Используя данные представленные в таблицах 1, 2, 3, были построены гистограммы длительности коротких замыканий для каждого типа электродов, которые представлены на рисунках 2, 3, 4, а также гистограммы периодов между короткими замыканиями, представленные на рисунках 5, 6, 7. Построение гистограмм необходимо для определения типа математического распределения. В данном случае прослеживается распределение Гаусса.

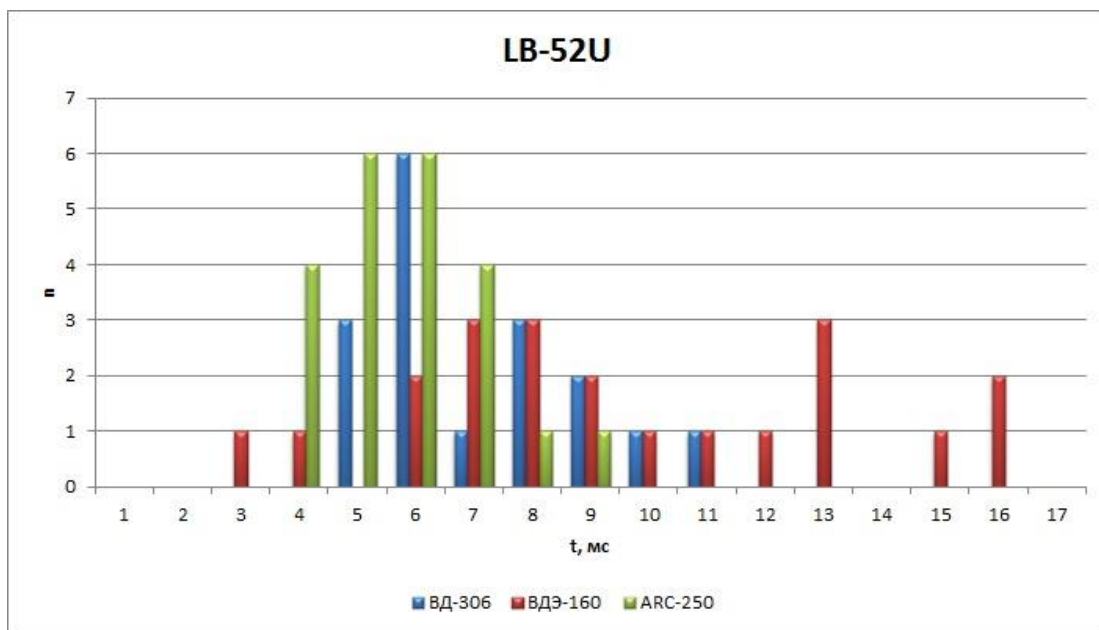


Рисунок 3.8. Гистограмма длительности коротких замыканий для электродов LB-52U

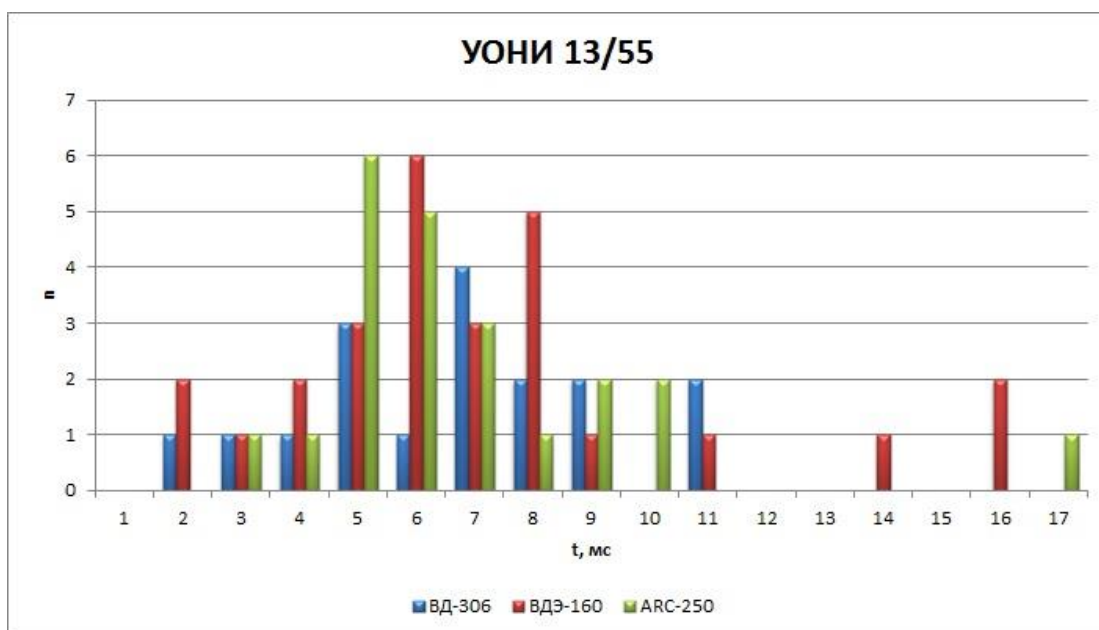


Рисунок 3.9. Гистограмма длительности коротких замыканий для электродов УОНИ 13/55

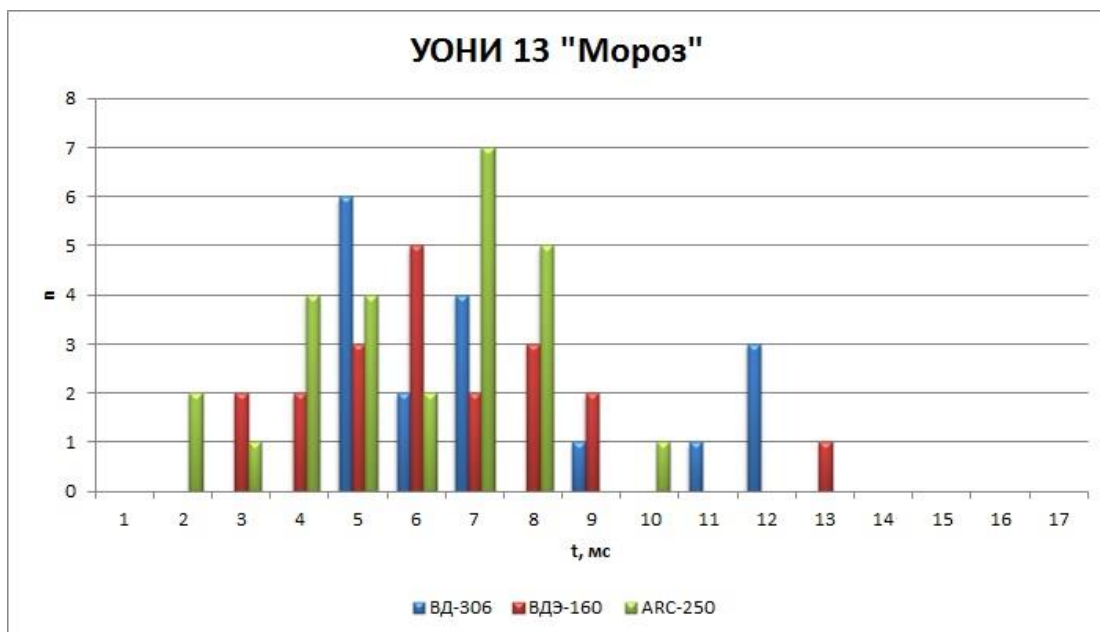


Рисунок 3.10. Гистограмма длительности коротких замыканий для электродов УОНИ 13 «Мороз»

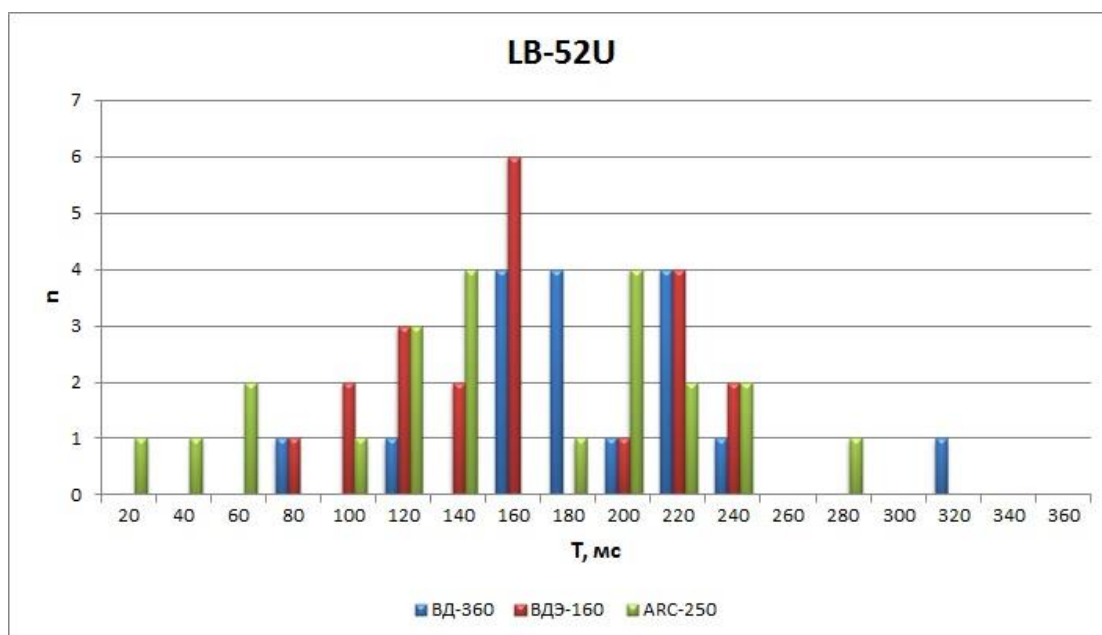


Рисунок 3.11. Гистограмма длительности периодов между короткими замыканиями для электродов LB-52U

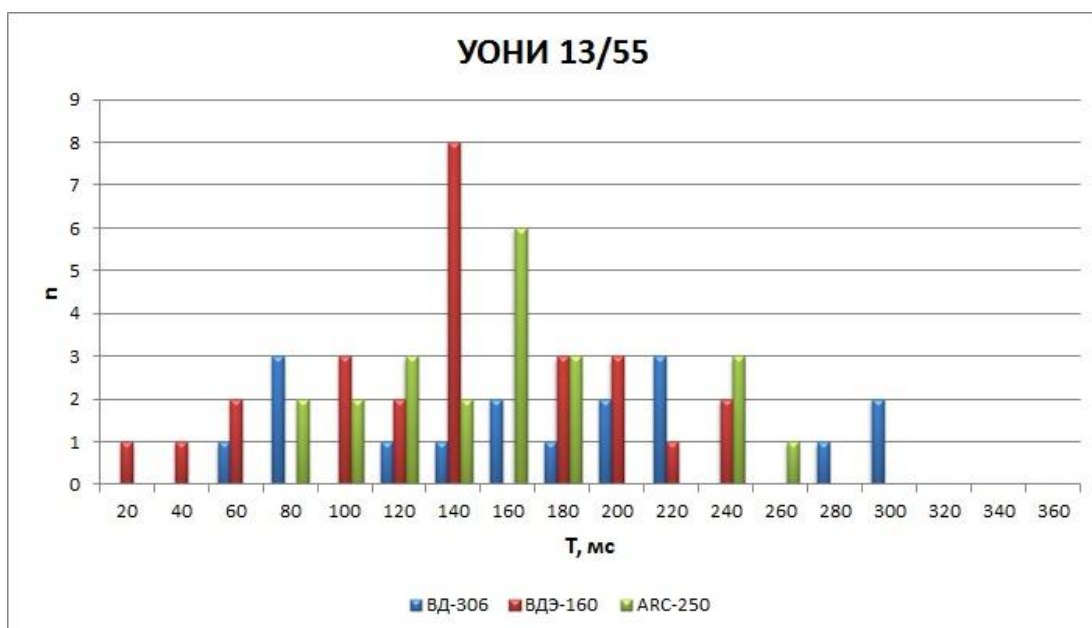


Рисунок 3.12. Гистограмма длительности периодов между короткими замыканиями для электродов УОНИ 13/55

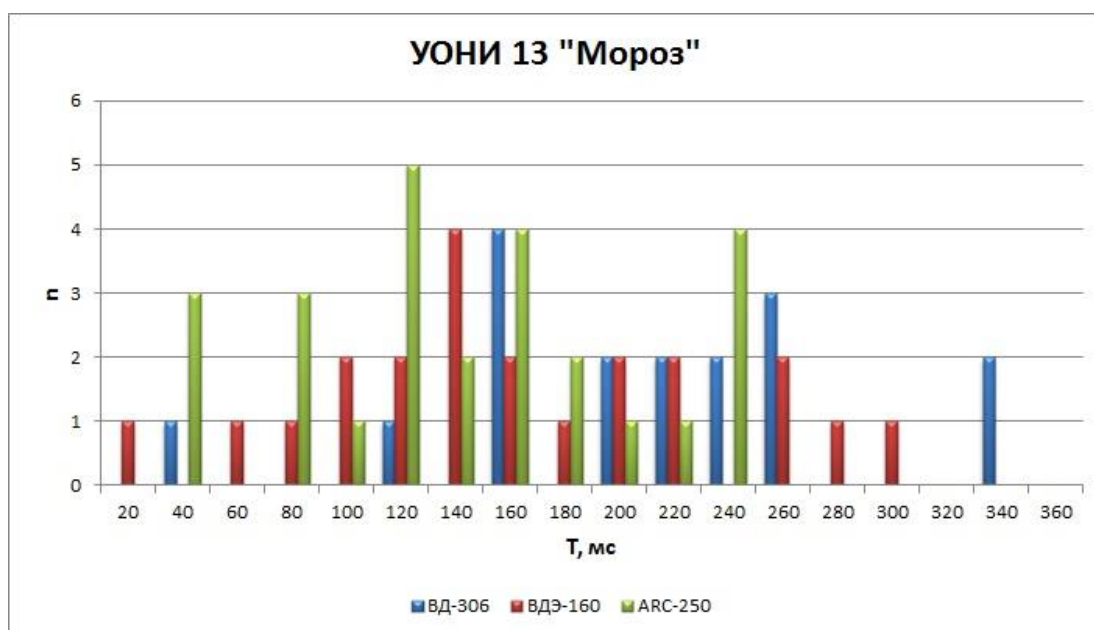


Рисунок 3.7. Гистограмма длительности периодов между короткими замыканиями для электродов УОНИ 13 «Мороз»

Одним из основных показателей качества процесса дуговой сварки плавящимся электродом является его стабильность, с которой тесно связаны такие показатели, как разбрызгивание и формирование сварного шва. В качестве критерия стабильности процесса сварки покрытыми электродами предложено использовать среднеквадратичное отклонение времени каплеобразования или частоты коротких замыканий, которое указывает на

интенсивность интегрального саморегулирования. Чем больше величина среднеквадратичного отклонения выбранных параметров при сварке, тем интенсивнее осуществляется интегральное саморегулирование, выше коэффициент разбрызгивания и, как следствие, ниже стабильность процесса. Таким образом, для оценки стабильности режимов сварки, в качестве критерия можно принять среднеквадратичное отклонение частоты коротких замыканий:

$$S = \sqrt{\frac{(f_1 - f_{cp})^2 + \dots + (f_n - f_{cp})^2}{n}}, \quad (3.1)$$

где $f_1 \dots f_n$ – результаты измерений частоты коротких замыканий,

f_{cp} – среднее значение частоты коротких замыканий,

n – число измерений.

Таблица 3.7. Результаты расчета среднеквадратичного отклонения частоты коротких замыканий

	LB-52U	УОНИ 13/55	УОНИ 13 «Мороз»
ВД-306	2,21	4,55	10,2
ВДЭ-160	2,21	3,18	3,89
ARC-250	1,71	2,81	2,86

В таблице 3.7 представлены результаты расчета среднеквадратичного отклонения коротких замыканий для трех типов источников питания при использовании различных типов электродов. Как видно из таблицы, наименьшее среднеквадратичное отклонение частоты коротких замыканий показал сварочный выпрямитель инверторного типа при использовании электродов LB-52U. Это говорит о высокой стабильности переноса электродного металла в сварочную ванну и о низком разбрызгивании металла. Это связано с более равномерным периодом между короткими замыканиями за счет высокой скорости нарастания тока, в отличие от трехфазного

выпрямителя, в котором скорость нарастания тока носит более хаотичный характер. Самым высоким оказалось среднеквадратичное отклонение для процесса сварки электродами УОНИ 13 «Мороз» на трехфазном выпрямителе ВД -306. Этот процесс является самым нестабильным за счет того, короткие замыкания происходят абсолютно неравномерно, так как скорость нарастания тока данного источника носит непредсказуемый характер. Также нестабильность процесса связана с использованием электродов, которые предназначены для сварки в условиях низких температур.

4. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В целевой рынок входят коммерческие и подрядные организации отраслей электроэнергетики, теплоэнергетики, организации по добыче и транспортировке нефти и газа, а также предприятия коммунального хозяйства.

Для данных коммерческих организаций критерием сегментирования является ремонт и строительство. Производим сегментирование рынка для реализации технологии, которая позволит наглядно показать достоинства и недостатки определенных источников питания для сварки. Данная технология в ремонте и строительстве трубопроводов является новым направлением, которым до сегодняшнего дня никто не занимался.

Основными сегментами данного рынка являются энергетическая промышленность (нефтегазовая отрасль) и коммунальное хозяйство, на них и будет направлена ориентация предприятия.

4.1.1. FAST – анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

FAST – анализ состоит из шести стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;

2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

Стадия 1. Выбор объекта FAST-анализа.

Объектом данного анализа является объект исследования, а именно источники питания различных типов и сварочная дуга.

Стадия 2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

Главной функцией (назначением) данной технологии является возможность выявить определенные достоинства источников питания для сварки, с точки зрения стабильности процесса.

К вспомогательным функциям можно отнести возможность получения сварного соединения без каких-либо особых усилий.

Стадия 3. Определение значимости выполняемых функций объектом.

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

Для начала необходимо построить матрицу смежности функций, в которой определим более значимые из них.

Таблица 4.1. Матрица смежности функций технологии наплавки валика ручной дуговой сваркой

	Возможность получения более стабильного процесса	Постоянная скорость сварки	Сварка с использованием специального приспособления (без участия человека)	Возможность получения сварного соединения без особых усилий
Возможность получения более стабильного процесса	=	=	>	>
Постоянная скорость сварки	=	=	>	>
Сварка с использованием специального приспособления (без участия человека)	<	<	=	>
Возможность получения сварного соединения без особых усилий	<	<	<	=

Примечание: «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая

После определения более значимых функций нужно определить количественное соотношение функции. Для этого построим матрицу количественных соотношений функций.

Таблица 4.2. Матрица количественных соотношений функций

	Возможность получения более стабильного процесса	Постоянная скорость сварки	Сварка с использованием специального приспособления (без участия человека)	Возможность получения сварного соединения без особых усилий	ИТОГО
Возможность получения более стабильного процесса	1	1	1,5	1,5	5
Постоянная скорость сварки	1	1	1,5	1,5	5
Сварка с использованием специального приспособления (без участия человека)	0,5	0,5	1	1,5	3,5
Возможность получения сварного соединения без особых усилий	0,5	0,5	0,5	1	2,5
Примечание: 0,5 при «<»; 1,5 при «>»; 1 при «=»					$\Sigma=16$

Согласно матрице количественных соотношений получили следующие относительные значения значимости функций: возможность получения более стабильного процесса – 0,3125 (5/16), постоянная скорость сварки – 0,3125 (5/16), сварка с использованием специального приспособления (без участия человека)– 0,21875 (3,5/16), возможность получения сварного соединения без особых усилий – 0,15625 (2,5/16). Видно, что самой значимой функцией (назначением) оборудования для дуговой сварки намагниченных деталей является её главное назначение – возможность получения более стабильного процесса.

Стадии 4 и 5 - анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования и построение функционально-стоимостной диаграммы объекта, и ее анализ соответственно производить не будем, так как представленные функции данной технологии сварки носят общий характер и не могут быть на данный момент оценены в денежном эквиваленте.

Стадия 6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

Сравнение источников питания с различными динамическими характеристиками для дуговой сварки покрытыми электродами, с точки зрения стабильности процесса сварки, поможет обосновать целесообразность использования определенного сварочного оборудования на различных машиностроительных предприятиях, а также в других сферах имеющих отношение к дуговой сварке покрытыми электродами.

На данный момент, исследования стабильности процесса сварки, в зависимости от используемых источников питания, проводились только для механизированной сварки в среде защитных газов.

4.1.2. SWOT – анализ

SWOT-анализ – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) - это определение сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз по его осуществлению. Этот анализ проводят для выявления внешней и внутренней среды проекта. Проводится данный анализ в несколько этапов.

Первый этап.

Данный этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

К сильным сторонам проекта относятся:

Стабильное течение процесса формирования валика – С1. Возможность управления стабильностью горения сварочной дуги – С2. Возможность оценки качества сварки в зависимости от используемого оборудования – С3. Возможность оценки качества сварки в зависимости от используемых сварочных материалов – С4.

К слабым сторонам проекта относятся:

Человеческий фактор – Сл.1. Погрешность в измерении получаемых осциллограмм – Сл.2.

К возможностям проекта относятся:

Внедрение на производство нового сварочного оборудования за счет достоинств и вытеснение устаревших разработок – В1. Финансовая поддержка спонсора – В2.

К угрозам относятся:

Ненадежность получаемых статистических данных за счет погрешностей измерения осциллограмм – У1.

Второй этап.

Данный этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 4.3. Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности	С1	С2	С3	С4
В1	+	+	-	+
В2	-	-	-	-

Третий этап.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа.

Таблица 4.4. Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	Стабильное течение процесса формирования валика – С1. Возможность управления стабильностью горения сварочной дуги – С2. Возможность оценки качества сварки в зависимости от используемого оборудования – С3. Возможность оценки качества сварки в зависимости от используемых сварочных материалов – С4.	Человеческий фактор – Сл.1. Погрешность в измерении получаемых осциллограмм – Сл.2.
Возможности		
Внедрение на производство нового сварочного оборудования за счет достоинств и вытеснение устаревших разработок – В1. Финансовая поддержка спонсора – В2.	Показ достоинств сварки с использованием источников питания с высокими динамическими характеристиками на выставках, посвященных сварочным технологиям. Реклама в СМИ.	За счет преимуществ в данной технологии по сравнению с технологиями, использующимися на сегодняшний день, велика вероятность того, что разработка получит еще больший спрос на рынке.

Угрозы:		
Ненадежность получаемых статистических данных за счет погрешностей измерения осциллограмм – У1.	Поиск способов автоматизации измерения осциллограмм путем создания специального программного обеспечения.	Организации, занимающиеся строительством и ремонтом, заинтересованные в данной технологии, будут спонсировать данные исследования.

4.2. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На данном этапе производится оценка степени готовности проекта к коммерциализации и определение уровня собственных знаний для ее проведения или завершения. Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

При проведении анализа по таблице, приведенной ниже, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 балл означает не знаком или мало знаю, 2 балла – в объеме теоретических знаний, 3 балла – знаю теорию и практические примеры применения, 4 балла – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 баллов – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 4.5. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	5
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на	1	2

	зарубежный рынок		
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	63	56

Таким образом, можно сказать, что разработка является перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации.

4.3. Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 4.6. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Подбор необходимого сварочного и измерительного оборудования.	

Практические исследования	9	Снятие необходимых параметров сварки с помощью измерительного оборудования	Студент
	10	Статистическая обработка данных	
Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	12	Заключение	Научный руководитель, студент

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта– горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}} , \quad (4.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} , \quad (4.4)$$

где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;
 $T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;
 $T_{\text{пр}} = 14$ –количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48. \quad (4.5)$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 10).

После заполнения таблицы 10 строим календарный план-график (табл. 11). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 4.7. Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}			
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			t_{oji} , чел-дни										
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3	
Анализ актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Рук.-студ.	1	1	1	2	2	2	
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Студ.-рук.	1	1	1	2	2	2	
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководитель	1	2	2	2	3	3	
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3	
Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Студент	10	10	10	15	15	15	
Подбор нормативных документов	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студ.-рук.	3	4	4	5	6	6	
Подбор необходимого сварочного и измерительного оборудования.	3	5	5	5	7	7	3,8	5,8	5,8	Студент	4	6	6	6	9	9	
Снятие необходимых параметров сварки с помощью измерительного оборудования	1	2	3	3	4	5	1,8	2,8	3,8	Студент	2	3	4	3	5	6	
Статистическая обработка данных	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Студент	2	3	3	3	5	5	
Анализ результатов	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студ.-рук.	2	2	2	3	3	3	
Заключение	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студент	3	3	3	4	4	4	

Таблица 4.8. Календарный план-график проведения научно-технического исследования

№ Ра- бот	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ								
				Март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	3									
2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	2	 								
3	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	2		 							
4	Выбор направления исследований	Руководитель	2									
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3									
6	Изучение литературы по теме	Студент	15									
7	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	5				 					
8	Подбор необходимого сварочного и измерительного оборудования.	Студент	6									
9	Снятие необходимых параметров сварки с помощью измерительного оборудования	Студент	3									
10	Статистическая обработка данных	Студент	3									
11	Анализ результатов	Студ.-рук.	3								 	
12	Заключение	Студент	4									

 – студент;  – руководитель.

4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

4.4.1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество необходимых материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Затраты на материал:

- Лист стали толщиной 2 мм, 1200x450 мм стоимость 800 руб.

Стоимость с учетом транспортных расходов: 1050 руб.

- Сварочные электроды: LB-52U диаметром 3,2 мм стоимость 1830 руб., УОНИ 13/55 диаметром 3 мм стоимость 650 руб., УОНИ 13 Мороз диаметром 3 мм стоимость 1650 руб., ЦЛ-11 диаметром 3 мм стоимость 410 руб.

Итого: 5590 руб.

4.4.2. Специальное оборудование для научных работ

К статье «Специальное оборудование» можно отнести:

Ноутбук – стоимость с учетом транспортных расходов 13500 руб.

Осциллограф – стоимость с учетом транспортных расходов 9450 руб.

Токоизмерительные клещи – стоимость с учетом транспортных расходов 3960 руб.

Итого по статье: 24100 руб.

4.4.3. Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

Месячный должностной оклад руководителя:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.6)$$

$$З_{\text{м}} = 23264,86 \cdot 1,3 = 30243,2 \text{ руб / мес}$$

где $З_{\text{б}}=23264,86$ – базовый оклад руководителя (доцент, к.т.н.), руб/мес.;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска)

Среднедневная заработная плата руководителя (доцент, к.т.н.) рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.7)$$

$$З_{\text{дн}} = \frac{30243,2 \cdot 10,4}{259} = 1214,4 \text{ руб / день}$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней.

Таблица 4.9. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	58	58
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	259	259

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (доцент, к.т.н.) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.8)$$

$$Z_{\text{осн}} = 1214,4 \cdot 275 = 333960 \text{ руб}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника, руб;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Месячный должностной оклад исполнителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.9)$$

$$Z_{\text{м}} = 8022,65 \cdot 1,3 = 10429,5 \text{ руб / мес}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.10)$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{10429,5 \cdot 10,4}{259} = 418,8 \text{ руб / день}$$

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.11)$$

$$З_{\text{осн}} = 418,8 \cdot 332 = 139041,6 \text{ руб}$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Таблица 4.10. Расчёт основной заработной платы руководителя

Исполнители	$З_{\text{б}}$, руб/мес	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб/мес	$З_{\text{дн}}$, руб/день	$T_{\text{р}}$, дни	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	23264,86	1,3	30243,2	1214,4	259	333960
Исполнитель	8022,65	1,3	10429,5	418,8	332	139041,6

4.4.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{\text{доп.рук.}} = k_{\text{доп.}} \cdot З_{\text{осн.рук.}} \quad (4.12)$$

$$З_{\text{доп.рук.}} = 0,12 \cdot 333960 = 40075,2 \text{ руб}$$

$$З_{\text{доп.исп.}} = k_{\text{доп.}} \cdot З_{\text{осн.исп.}} \quad (4.13)$$

$$З_{\text{доп.исп.}} = 0,12 \cdot 139041,6 = 16685 \text{ руб}$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В табл. 13 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.11. Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководителя	Исполнителя
Основная зарплата, руб	333960	139041,6
Дополнительная зарплата, руб	40075,2	16685
Итого по статье $C_{\text{зп}}$, руб	374035,2	155726,6

4.4.5. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.14)$$

$$C_{\text{внеб.рук.}} = 0,3 \cdot (333960 + 40075,2) = 112210,6 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{внеб.исп.}} = 0,3 \cdot (139041,6 + 16685) = 46718 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

4.4.6. Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.15)$$

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 529761,8 = 423809,4 \text{ руб}$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 14.

Таблица 4.12. Группировка затрат по статьям

Статьи	Вид работ
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты, руб	16750
Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, руб	24100
Основная заработная плата, руб	473001,6
Дополнительная заработная плата, руб	56760,2
Отчисления на социальные нужды, руб	158928,6
Накладные расходы, руб	423809,4
Итого плановая себестоимость, руб	1153350

4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-

экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

В данной магистерской диссертации выбрана тема, посвященная изучению влияния динамических свойств источников питания для сварки на стабильность процесса. С точки зрения ресурсоэффективности можно сказать, что при применении оборудования с более высокими динамическими свойствами мы получаем экономию сварочных материалов около 35%, в связи с отсутствием разбрызгивания расплавленного электродного металла, по отношению к имеющимся на сегодняшний день методам.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что данный тип оборудования имеет намного больше ресурсных, финансовых и экономических достоинств по сравнению с аналогами и тем самым является востребованным на рынке.

5. Социальная ответственность

Исследуемая в данной работе сварочная дуга, получаемая при использовании источников питания с различными динамическими характеристиками (трехфазный выпрямитель ВД-306, однофазный выпрямитель ВДЭ-160, выпрямитель инверторного типа ARC-250 «Сварог»), относится к области электродуговой сварки, поэтому в диссертации приводится анализ вредных и опасных производственных факторов, характерных именно для этой сферы производственной деятельности.

В процессе сварки, сварщик подвержен воздействиям комплекса опасных и вредных производственных факторов различной природы: излучение, сварочные аэрозоли, искры и брызги расплавленного металла и шлака, электромагнитные поля, газы, сильный акустический эффект. Все вышеперечисленные факторы вызывают болезни либо отклонения в здоровье человека.

5.1. Производственная безопасность при сварке

Электрическая сварка металлов сопровождается наличием вредных и опасных производственных факторов, к числу которых относятся:

- высокая температура поверхностей материалов и оборудования;
- большая температура воздуха в зоне работы;
- чрезмерная величина напряжения электрической цепи, причем её замыкание может пройти через человека;
- высокая яркость света;
- высокий уровень ультрафиолетового излучения;
- много пыли и загазованности воздуха рабочей зоны;
- брызги, искры и выброс расплавленного металла;
- высокий уровень ионизирующего излучения в зоне работы сварщика;
- высокий уровень шума при использовании прямоугольного переменного тока высокой частоты.

5.1.1. Анализ вредных и опасных факторов при выполнении сварочных работ

Электродуговая сварка должна выполняться в соответствии с требованиями по ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные». Требования безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 ФЗ-123 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность». Общие требования по ГОСТ 12.1.010-76 «Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность». Общие требования по ГОСТ 12.3.002-75 «Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные». А также в соответствии с санитарными правилами при сварке, резке и наплавке металлов, которые утверждены министерством здравоохранения.

5.1.1.1 Излучения

Электрическая сварочная дуга — сильный источник лучистой энергии. Электрическая дуга излучает невидимые инфракрасные, видимые световые и невидимые ультрафиолетовые лучи. Являясь составными частями одного лучевого потока, эти лучи вызывают различные заболевания.

Невидимые инфракрасные лучи, особенно при длине волны от 0,00076 до 0,0015 мм и длительном облучении, вызывают общую потерю зрения. Это заболевание носит название катаракта хрусталика. При правильном подборе защитных стекол инфракрасные лучи полностью поглощаются.

Видимые световые лучи, имея длину волны от 0,00076 до 0,0004 мм, при кратковременном облучении действуют ослепляюще, а при длительном вызывают ослабление зрения. Это объясняется тем, что яркость видимых лучей электрической дуги больше примерно в 10 000 раз яркости лучей, которые могут быть переносимы без напряжения незащищенным глазом.

Ультрафиолетовые лучи, имея длину волны от 0,0004 до 0,00022 мм, даже при сравнительно кратковременном облучении (в течение нескольких

минут) вызывают заболевание глаз. Это заболевание носит название светобоязнь и сопровождается острой болью и слезотечением. Светобоязнь при нормальном исходе проходит через 2—3 дня, не вызывая никаких последствий. Облучение ультрафиолетовыми лучами в течение 1—3 час. вызывает ожог кожи. Ожог кожи наблюдается, главным образом, у сборщиков и у работающих вблизи мест сварки. У сварщиков тело защищается во время работы одеждой, лицо и шея щитком, а руки рукавицами.

Для предупреждения ожогов кожи и заболевания глаз под действием лучей электрической дуги необходимо предусматривать, помимо индивидуальных средств защиты, коллективные средства. Эти общие средства должны надежно предохранять от лучей лиц, окружающих сварщика. К ним относятся: 1) кабины с дверями, закрытыми брезентовыми занавесками, в случае, когда сварочные работы ведутся на одном месте; 2) переносные щиты и ширмы, если сварочные работы носят временный характер.

5.1.1.2 Сварочные аэрозоли

Наиболее опасным фактором при проведении сварочных работ является выделение сварочного аэрозоля в рабочей зоне. Так, по статистике, более половины профессиональных заболеваний сварщиков - это заболевания органов дыхания и различные патологии, связанные с вдыханием сварочного аэрозоля. Сварочный аэрозоль представляет собой совокупность мельчайших частиц, образовавшихся в результате конденсации паров расплавленного металла, обмазки электродов, содержимого порошковой проволоки или флюсов. Его состав зависит от состава сварочных и свариваемых материалов. В основном сварочный аэрозоль состоит из железа и его окислов, но в него могут также входить такие вещества и их соединения, как марганец, хром, никель, алюминий,

медь, цинк, фтор, кремний, азот и другие. Из-за собственных маленьких размеров (которые могут составлять менее 1 мкм) сварочный аэрозоль беспрепятственно проникает вглубь отделов легких и частично остается в их стенках, а далее всасывается в кровь. Если сварочный аэрозоль содержит значительное количество марганца, то, распространяясь по крови в организме, этот элемент может вызывать тяжелейшее заболевание, то есть марганцевую интоксикацию. При этом обычно страдает центральная нервная система, и изменения в организме носят необратимый характер. В настоящее время установлено, что компоненты сварочного аэрозоля могут увеличивать риск возникновения онкологических и сердечнососудистых заболеваний, а также могут уменьшить длительность жизни человека.

В соответствии с ГОСТ 12.3.003—75 средства индивидуальной защиты органов дыхания следует применять при отсутствии местных отсосов. В некоторых случаях местные вытяжные устройства не могут обеспечить требуемых параметров воздушной среды, поэтому также необходимо применение средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Когда концентрации газов в зоне дыхания невелики, можно применять противопылевые респираторы. Практика показывает, что ткань респираторов можно применять для защиты от микробных и нетоксических пылей. Ткань отличается хорошими пылезадерживающими свойствами, обладает малой массой и небольшим сопротивлением дыханию.

Вредными основными веществами, выделяющимися при сварке сталей, являются: окись углерода, хром, марганец и фтористые соединения.

В таблице 2 представлены классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей.

Таблица 5.1. Классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Состояние
Марганец	0,05	1	аэрозоли
Хром	0,1	1	аэрозоли
Фтористые соединения	0,5	2	аэрозоли
Окись углерода	20	4	пары или газы

5.1.1.3 Электрический ток

Несмотря на сравнительно низкое напряжение источников сварочного тока при электродуговой сварке, возможно поражение работающих электрическим током. При этом поражение может быть даже смертельным.

В связи с этим при электродуговой сварке необходимо строго выполнять правила техники безопасности в отношении защиты от поражения электрическим током. Основные пункты этих правил следующие:

- сварочные провода на всей длине должны иметь надежную изоляцию. Их присоединение к контактными болтам клеммных досок источников сварочного тока необходимо производить с помощью наконечников;

- электрододержатель должен быть снабжен изолированной рукояткой. Место крепления сварочного провода к держателю также

должно быть надежно изолировано. Особенно тщательно следует изолировать части электрододержателя при работе в труднодоступных, а также в сырых местах и при повышенной температуре окружающего воздуха;

- корпус мотора сварочной машины и кожух сварочного трансформатора должны быть подключены к общей сети заземления медным проводом сечением не менее 6 мм^2 или стальной шиной сечением не менее 12 мм^2 . Кроме того, у сварочного трансформатора кожух должен быть соединен с магнитопроводом медной шиной сечением не менее 6 мм^2 . Медная шина к магнитопроводу крепится пайкой мягким припоем. К кожуху трансформатора шина крепится болтом для заземления;

- сварщик не должен самостоятельно производить присоединение сварочной установки к силовой сети, постановку плавких вставок на щите силовой сети, отключать сварочную установку от сети, а также производить ремонт подключенной к сети установки. Все эти работы должны выполняться электромонтерами с соблюдением общих электротехнических правил для силовых установок;

- спецодежда сварщика должна быть сухой и исправной. Куртка, брюки, фартук и рукавицы должны быть из брезента или сукна. Ботинки или кожаные сапоги должны иметь кожаную подошву, прикрепленную деревянными гвоздями. Резиновые подошвы ботинок и сапог должны быть приклеены путем горячей вулканизации или клеем;

- во время работы сварщик должен находиться на резиновом коврике, сухих деревянных досках, сухом асбесте или другой изоляционной подкладке;

- при работе в сухих помещениях лампы местного электрического освещения должны питаться током с напряжением не выше 36 В, а в сырых помещениях и закрытых сосудах не выше 12 В;

- при сильном поражении электрическим током, когда пострадавший не подает признаков жизни, необходимо до прихода врача делать искусственное дыхание до тех пор, пока пострадавший не очнется. Для этого пострадавшего укладывают на спину, под лопатки подкладывают мягкий сверток так, чтобы голова была немного ниже туловища. Ворот, пояс должны быть расстегнуты, рот раскрыт, язык вытянут. При этом челюсти необходимо разжать куском дерева, деревянной рукояткой инструмента, куском текстолита. После этого оказывающий помощь становится со стороны головы пострадавшего берет руки около локтей, отводит их назад и в этом положении удерживает 2—3 секунды (вдох). Затем руки ведут к груди, прижимают к ней, выдерживают в этом положении 2—3 секунды (выдох), снова отводят назад, повторяя ритмично указанные движения.

Выполнение указанных выше пунктов правил техники безопасности позволяет предохранить работающих от поражения электрическим током. При сварочных работах необходимо всегда помнить, что напряжение в сварочной цепи (особенно при холостом ходе) опасно для жизни человека. Эта опасность возрастает в случае, когда кожа человека влажная или повреждена.

5.1.1.4 Шумы и вибрации

Нормируемые параметры шума на рабочих местах определены ГОСТ 12.1.003-2014 и санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Нормируемыми параметрами шума являются уровни в децибелах среднеквадратичных звуковых давлений, измеряемых по линейной

характеристике шумомера в активных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 2000, 4000, 8000Гц.

Борьба с вибрациями должна происходить в самом источнике возникновения. Это происходит при конструировании, а также изготовлении оборудования. Снижение уровня вибраций может быть достигнуто виброгашением, которое чаще реализуется путем установки вибрирующих агрегатов на самостоятельные виброгасящие основания (фундамент). Также используют динамическое гашение колебаний, вибродемпфирование и изменение конструктивных элементов машин и строительных конструкций.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путем:

- Изоляции источников шумов;
- Проведения акустической обработки помещения;
- Создания дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок;
- Защита от шумов - заключение вентиляторов в защитный кожух.

5.1.1.5 Освещение

Сварщикам приходится выполнять операции, различающиеся по точности зрительной работы: разметку, сборку, чтение чертежей, сварку, контроль сварных соединений и др. Наличие источников повышенной яркости вызывает необходимость частой переадаптации зрения: каждый раз при переходе от вспомогательных операций, выполняемых без щитка, к сварке, выполняемой обязательно со щитком.

Создание высоких уровней освещенности мест сварки (порядка десятков тысяч люкс) с тем, чтобы все операции можно было выполнять со щитком, экономически не выгодно и практически сложно. Уровни освещенности для сварочных работ установлены в соответствии с действующими нормативными

документами для люминесцентных ламп 150 лк, а для ламп накаливания 50 лк с учетом наличия в поле зрения самосветящихся элементов.

Характер технологических операций в лаборатории (работа на нефиксированных местах) определяет целесообразность создания системы общего освещения, локализованного или равномерного общего использованием переносных светильников местного освещения. С учетом возможности использования газоразрядных источников света целесообразно повысить уровни освещенности при электросварочных работах до 500 лк при общем и местном освещении и до 300 лк при одном общем освещении.

Светильники, окна и световые фонари необходимо очищать по мере загрязнения (не реже одного раза в три месяца).

Окраску стен целесообразно выполнять специальными красками, обладающими высоким коэффициентом отражения для видимой части спектра и низким коэффициентом — для ультрафиолетовых лучей.

Правильно спроектированное освещение в производственных помещениях обеспечивает хорошую освещенность рабочей поверхности, а также рациональное направление света, при этом отсутствуют резкие тени и блики на поверхностях. Неправильное устройство освещения в производственном помещении может затруднить работу, вследствие чего повышается утомляемость, снижается производительность труда, а также это может стать причинами травматизма и глазных заболеваний. Если светильники и проводки подобраны неправильно, то это может стать причиной пожара.

5.1.1.5 Микроклимат

На производственный микроклимат установлены нормы системой стандартов безопасности труда по ГОСТу 12.1.005 – 88 «Общие санитарные и гигиенические требования к воздуху в рабочей зоне».

Микроклимат помещений для лёгкой категории работ включает определённую температуру и влажность. Нормы метеорологических условий

учитывают время года и характер производственного помещения. Нормы метеоусловий для категорий работ по тяжести IIa согласно СНиП 2.2.4. 548-96 см. в таблице 1.

Таблица 5.2. Нормы метеорологических условий

Холодный период года $t_{нар}^{возд}$ ниже +10, °C						Тёплый период года $t_{нар}^{возд}$ +10, °C					
Оптимальные			Допустимые			Оптимальные			Допустимые		
Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
22-24	40-60	Не более 0,1	20-25	15-75	Не более 0,1	23-25	40-60	Не более 0,1	21-28	15-75	0,1-0,2

Для защиты и удаления вредных газов и пыли с мест сварки и подачи чистого воздуха используют вентиляцию. Общая вентиляция бывает приточно-вытяжной. Свежий воздух обычно подают в цех через общецеховую вентиляционную установку, а загрязненный воздух удаляют из цеха общецеховой вентиляцией, а также местными устройствами.

Местная вытяжная вентиляция, удаляя вредные вещества из помещения, должна препятствовать их попаданию в зону дыхания рабочего. Местный отсос можно считать удовлетворительно работающим, когда он удаляет вредности по принципу «от рабочего».

5.1.2 Экологическая безопасность.

Под экологической безопасностью понимают комплекс организационно-технических мер, направленных на обеспечение соответствия природоохранной деятельности предприятия нормативным требованиям. В свете повышения уровня экологической ответственности безопасность предприятия для

окружающей среды и населения в известной степени определяет его конкурентоспособность.

В лаборатории используются люминесцентные лампы, которые содержат в себе опасные для организма человека вещества. Поэтому данные лампы следует утилизировать на специализированные предприятия.

А также в лаборатории скапливается бытовой мусор, который необходимо вывозить для утилизации. Для этого необходимо составлять договоры на вывоз бытового мусора.

Так как работать приходится с металлом, то необходимо сдавать остатки металла в металлолом. Из-за выделения вредных веществ при сварке, необходимо использовать вентиляцию.

5.1.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Сварщик и уборщик обязаны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться. Применение инвентаря пожаротушения для других целей запрещается.

Во время работы нельзя допускать попадания искр расплавленного металла и выбрасывать электродные огарки на сгораемые конструкции и материалы. Для огарков необходимо иметь несгораемый ящик.

В помещениях, где производят сварку, запрещается хранить сгораемые и огнеопасные материалы. Если в помещении применяют (или ранее применяли) растворители и другие легкосгораемые воспламеняющиеся материалы, то сварку можно производить только с разрешения заведующего лабораторией и по согласованию с пожарной охраной.

На сварочном посту в лаборатории, опасными факторами пожара являются: открытый огонь (сварочная дуга, пламя газовой сварки и резки); искры и частицы расплавленного металла, которые возникают при электросварке и резке; повышенная температура изделий, которые подвергаются сварке и резке.

Травмы от пожаров могут возникнуть от воспламенения горючих материалов, находящихся вблизи мест производства сварочных и газорезательных работ, а также от неисправного состояния электрической проводки.

Причинами пожаров технического характера на месте проведения сварочных работ являются: неисправность электрооборудования (короткое замыкание, перегрузки и большие переходные сопротивления); плохая подготовка оборудования к ремонту; несоблюдение графика планового ремонта; износ и коррозия оборудования и т. д. Причинами пожаров организационного характера являются: небрежное отношение с открытыми источниками огня, неправильное хранение пожароопасных веществ; несоблюдение правил пожарной безопасности и т. д.

К организационным мероприятиям относятся: обучение сварщика противопожарным правилам, проведение бесед, инструкций, организация добровольных дружин, пожарно-технических комиссий, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности.

К эксплуатационным мероприятиям относятся; правильная эксплуатация, профилактические ремонты, осмотры и испытания сварочного оборудования и устройств и т. д.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных норм и правил при устройстве и установке сварочного оборудования, систем вентиляции, подвода электропроводки, защитного заземления, зануления и отключения.

К режимным мероприятиям относятся: запрещение курения в неустановленных местах, проведение сварочных и других огневых работ в пожароопасных местах.

Пожарную технику согласно ГОСТ 12.4-009—83*, предназначенную для предотвращения пожаров на объектах, подразделяют на следующие группы, пожарные машины (автомобили, мотопомпы и прицепы); установки пожаротушения; установки пожарной сигнализации; огнетушители; пожарное

оборудование; пожарный ручной инвентарь; пожарные спасательные устройства.

К ручным огнетушителям относятся пенные, углекислые, углекислотно-бромэтиловые и порошковые.

Огнетушитель химический пенный ОХП-Ю предназначен для тушения пожаров химической пеной, которая образуется в результате воздействия щелочной и кислотной частей заряда.

Огнетушитель ручной углекислотный ОУ-2 предназначен для тушения очага горения различных веществ (за исключением тех, которые могут гореть без доступа воздуха) и электроустановок, находящихся под напряжением.

Для приведения в действие раструб огнетушителя направляют на очаг горения и поворачивают маховичок вентиля до упора.

Углекислотно-бромэтиловые огнетушители предназначены для тушения горячих твердых и жидких металлов, а также электроустановок, находящихся под напряжением.

Порошковые огнетушители предназначены для тушения небольших очагов загораний щелочных металлов, кремнийорганических соединений.

5.1.4 Организационные вопросы обеспечения безопасности.

К электросварочным работам под руководством заведующего лабораторией допускаются учащиеся не моложе 15 лет, прошедшие инструктаж по охране труда, медицинский осмотр и не имеющие противопоказаний по состоянию здоровья. Длительность рабочего дня сварщика при работе в особо вредных условиях ограничена шестью часами. Сварщикам предоставляется дополнительный отпуск.

Обучающиеся должны соблюдать правила внутреннего распорядка учебного заведения, расписание занятий, установленный режим труда и отдыха.

Электросварочные работы производятся в присутствии мастера производственного обучения, под его постоянным руководством и наблюдением.

Допустимая продолжительность работ в лаборатории не превышает 3ч в день.

При работе на электросварочном оборудовании необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

О несчастном случае следует уведомить заведующего лабораторией, который сообщает об этом администрации учреждения.

При неисправности оборудования необходимо прекратить работу и поставить об этом в известность мастера производственного обучения.

В процессе работы следует соблюдать правила ношения спецодежды, пользования индивидуальными и коллективными средствами защиты, соблюдать правила личной гигиены, содержать в чистоте рабочее место.

При невыполнении или нарушении инструкции по охране труда учащиеся привлекаются к ответственности, а со всеми обучающимися проводится внеплановый инструктаж по охране труда.

Сварщик, приступая к работе, должен проверить наличие и исправность оборудования, заземляющих устройств, защитных ограждений и приспособлений.

Сварщик обязан содержать в чистоте и порядке рабочее место, не загромождать проходы и проезды, складывать заготовки и готовые изделия в отведенных местах.

Сварщику запрещается:

- касаться электропроводки и корпусов работающих электродвигателей, установленных на оборудовании;
- самостоятельно подключать электросварочное оборудование к электрической сети;
- стоять под поднятым и перемещаемым грузом;

- производить работы, курить в цехах, на рабочем месте и на участках, где применяют и хранят легковоспламеняющиеся материалы и газы.

Сварщик обязан знать правила и приемы оказания первой помощи пострадавшему.

После выполнения сварочных работ сварщик обязан:

- отключить сварочную аппаратуру от сети;
- отсоединить провод с электродержателем от сварочного оборудования и убрать их для хранения в специально отведенное место;
- тщательно осмотреть рабочее место и принять меры, исключающие возможность возникновения очага пожара;
- в случае возникновения пожара немедленно вызвать пожарную команду и принять меры по ликвидации очага возгорания имеющимися средствами;
- очистить стекло, защищающее светофильтр шлем-маски (щиток) от брызг металла, убрать инструмент и защитные средства в отведенное для хранения место.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В ходе выполнения данной работы были проведены исследования направленные на изучение стабильности процесса сварки покрытыми электродами при использовании источников питания с различающимися динамическими характеристиками. Для сравнения были использованы: трехфазный выпрямитель ВД-306, однофазный выпрямитель ВДЭ-160 и выпрямитель инверторного типа ARC-250 «Сварог». Была произведена наплавка валиков различными типами электродов с использованием каждого источника питания. Совместно с наплавкой производилась регистрация основных параметров сварки, а также записывались осциллограммы тока и напряжения для дальнейшей статистической обработки и расчета критериев стабильности для каждого из процессов.

Анализ полученных экспериментальных результатов исследований показал, что более стабильные параметры режима сварки обеспечивает выпрямитель инверторного типа. Это напрямую связано с динамическими характеристиками данного источника, а точнее со скоростью нарастания тока. Также большое значение для обеспечения стабильности процесса сварки является выбор сварочных электродов. В данном случае наиболее стабильным оказался процесс при котором использовались электроды марки LB-52U.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. И.В.Раев Влияние динамических характеристик источника питания на стабильность процесса сварки покрытыми электродами // Научный рук. А.С. Киселёв. - VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», Томск, 23-27 мая 2016 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ).- 2016.- Т. 2.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Милютин В.С., Шалимов М.П., Шанчуров С.М. Источники питания для сварки. – М.: Айрис-экспресс, 2007. – 384 с.: ил.
2. Показатели стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом / Ланкин Ю.Н. // Автоматическая сварка. 2011. №1. С. 7-15.
3. ГОСТ 25616–83 (СТ СЭВ 3235–81). Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств. — Введ. 28.01.83.
4. Заруба И. И., Латанский В. П., Троицкая Н. В. Статистические показатели стабильности при оценке сварочных свойств источников питания для дуговой сварки // Новые сварочные источники питания: Сб. науч. тр. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. — С. 86–94.
5. Оборудование для дуговой сварки: Справ. пособие / Под ред. В. В. Смирнова. — Л.: Энергоатомиздат, 1986. — 656 с.
6. Орлов А. И. Математика случая: Вероятность и статистика — основные факты: Учеб. пособие. — М.: МЗ-Пресс, 2004. — 110 с.
7. А.Г. Потапьевский, Ю.Н. Сараев, Д.А. Чинахов Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. техника и технология будущего / Издательство Томского политехнического университета, 2012 – 208с.
8. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М.: машиностроение, 1970. – 335 с., с илл.
9. Потапьевский А.Г. Виды разбрызгивания металла при дуговой сварке // Автоматическая сварка. – 1974. – № 5. – С. 10–12.
10. Заруба И.И. Механизм разбрызгивания металла при дуговой сварке // Автоматическая сварка. – 1970. – № 11. – С. 12–16.
11. Сараев Ю.Н. Импульсные технологические процессы сварки и на-плавки. – ВО «Наука». – Новосибирск, 1994. – 121 с.

12. *Tsuboi J., Sasaki H.* Interruption mechanism of the covered electrode arc // *Trans. Jap. Welding Soc.* — 1971. — № 2. — P. 67–70.
13. *Лугин В. П.* Сравнительная оценка стабильности горения дуги при сварке штучными электродами переменным током // *Свароч. пр-во.* — 1975. — № 1. — С. 39–40.
14. *Пат. 2063316 РФ, МПК В 23 К 31/12, В 23 К 9/073.* Метод оценки стабильности горения дуги / В. М. Язовских, В. Я. Беленький, Е. А. Кривоносова и др. — Оpubл. 10.07.96.
15. *Yazovskikh V. M., Shumyakov V. I., Boronenkov V. N.* Estimation of the welding electrodes quality by the computer analyses of oscillograms of welding current and voltage // *Proc. of the 8th Intern. conf. «Computer technology in welding»*, June 22–24, 1998, Paris. — Paris, 1998. — 10 p.
16. *Методики* комплексной оценки сварочно-технологических свойств источников питания и сварочных материалов / И. К. Походня, И. Сурджан, В. Е. Пономарев и др. // *Информ. материалы СЭВ.* — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1991. — Вып. 1 (37). — С. 44–55.
17. *Методика* оценки стабильности горения сварочной дуги / В. М. Язовских, В. Я. Беленький, Л. Н. Кротов, И. Ю. Летягин // *Свароч. пр-во.* — 1997. — № 4. — С. 18–20.
18. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
19. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г
20. Чвертко А.И., Пичак В.Г.Оборудование для дуговой и шлаковой сварки и наплавки. – К.: Наукова думка, 1983. – 56 с. с илл.

Приложение А

Раздел 1 Literature review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM41	Раев Игорь Владимирович		

Консультант кафедры ОТСП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мыльникова Татьяна Степановна			

1 LITERATURE REVIEW

One of the main indicators of quality of the gas metal-arc welding (GMAW) process is its stability, which is closely related to such quality indicators as spattering and quality of weld formation. No generally accepted formulation of the notion of stability of the welding process exists now. Every researcher understands stability of the process in his own way and, therefore, uses differing indicators of stability. The purpose of this study is to formulate the notion of stability of the GMAW process and choose the indicators of stability depending on the welding method and type of transfer of the electrode metal into the weld pool. Several different definitions of the «welding process stability» term are available. GOST 25616—83 (STSEV 3235—81) mentions the «welding process stability» term only for manual stick electrode welding, but gives no formulation for it. Later on, developers of these standards formulated the «welding process stability» term for manual and mechanised welding as follows: «Term «the stable welding process» implies a process which provides quality formation of a welded joint with the sufficiently smooth surface and main parameters that are practically constant along its entire length – penetration depth, and bead width and height». The authors of study offered a close definition: «It is generally agreed that the stable welding process is a process which provides constancy of geometric sizes of the weld or their deviation within the permissible limits». In fact, this is a formulation of a consequence of stability of the welding process, rather than the stability of this process. According to this formulation, it is very difficult to automatically measure stability indicators directly during the welding process. In the broad sense the Latin word «stabilis» means constant, steady. For example, studies make no difference between notions «stable» and «steady», while study gives the following definition: «The spatial steadiness of the arc is called stability of the arc». However, terms «stable» and «steady», as a rule, are not considered synonyms in modern technical literature. It is generally accepted that the steady process is a process that returns to the equilibrium state after any, rather small initial deviation caused by the effect of external disturbances. In welding, this notion is used to analyse of the so-called arc

process self-regulation phenomenon. Stability of a technological process usually means a property of the latter that provides constancy of the probability distribution for its parameters during a certain period of time without any interference from outside. In other words, the process the deviation of parameters of which from the mean values does not exceed the specified level is called stable. Accordingly, the measure of stability of the process is deviation of its parameters from the mean values. Normally, the following variance is taken as a measure of deviation of a discrete signal from mean value x

$$\sigma^2(x) \approx \frac{1}{n-1} \sum_i^n (x_i - x_{cp})^2,$$

где n — количество измерений, $\sigma(x) = \sqrt{\sigma^2(x)}$ — среднеквадратичное отклонение.

where n is the quantity of changes, $\sigma(x) = \sqrt{\sigma^2(x)}$ is the standard deviation. Most often the welding process stability is considered to be stability of the arc and stability (regularity) of transfer of the electrode metal into the weld pool. The set of the indicators used to characterise the welding process stability depends on the welding method and method of transfer of the electrode metal into the weld pool.

Manual covered-electrode welding. In the majority of cases only one indicator is used for this welding method – stable or unstable arc. Expert estimation of stability of the arc according to the three - or four-point system is sometimes used, as recommended in GOST 25616—83 (ST SEV 3235—81) [1]. Independently of the kind of the welding current, the welding process stability is assessed by a test welder according to the frequency of extinctions of the arc, uniformity of its burning, vibration and sounding of the arc. The standard contains no clear definitions what exactly the uniformity of burning and vibration of the arc mean. Needless to say that inherently the expert estimates are subjective and require that experts be highly qualified.

In principle, visual and acoustic parameters of stability of the welding process mentioned in standard can be fixed by using instruments and then mathematically processed to obtain quantitative estimates. Thus, sounding of the arc is determined with a microphone, and light emission – with a corresponding photodetector. Acoustic emission (sounding of the welding arc, the intensity and character of which is used to evaluate stability of the welding process) results from oscillations of the surface of the arc column. The intensity of sounding of the arc is proportional to the rate of oscillations of its power, i.e. the rate of variations in the arc current. Variations in the light emission are determined by oscillations of the arc power as well. Therefore, the light and acoustic emissions of the arc as parameters of instability of the welding process are secondary with respect to the electric parameters, i.e. welding current I_w and arc voltage V_a . Naturally, for this reason it is better to use I_w and U for objective estimation of the arc stability, as they are easier to measure compared to the light and acoustic emissions. Instrumental determination of the arc extinctions from the voltage or current is not difficult either.

Manual AC covered-electrode welding. In AC welding, as value of the current falls to zero in each half-period of the mains voltage, this causes extinction of the arc, which again ignites after some time. Such natural extinctions of the arc do not always end with its repeated ignition in the next half-period of the supply voltage. As a result, AC welding is the most unstable process out of all welding processes, while frequency of the arc extinctions is, undoubtedly, the main objective indicator of its burning. E.M. Kuzmak was the first to offer using the frequency of extinctions of the arc to characterise stability of its burning. Later on, study used the number of the arc extinctions per electrode length, next, and study used that per electrode unit length. No doubt, the relative number of the arc extinctions is a direct numeric parameter of stability of the arc burning at the alternating current. In addition to the frequency of the arc extinctions, there are many indirect parameters suggested to characterise not the arc stability proper, but the probability of the repeated arc ignition. Mainly, these are the parameters that characterise residual

plasma after extinction of the arc and electric characteristics of the welding circuit responsible for the repeated arc ignition.

Another indicator of the arc stability in welding without short circuits is given in study: $B_i = I_i / (U_i t_i)$, where U_i and I_i are the voltage at electrodes and current in the inter-electrode gap at the moment of recovery (ignition) of the arc discharge, and t_i is the time of interruption of the arc burning (ignition). The higher the value of this indicator, the more stable is considered to be the arc. For manual arc welding without short circuits, I.I. Zaruba and V.V. Dymenko offered the following indicator of the arc stability: $K_{st} = I_{cr} / \tau$, where I_{cr} is the critical arc current at the moment of extinction and passage of the electrode metal droplet through the arc, below which the arc may go out, and τ is the critical time during which the arc plasma will most likely be destroyed as a result of the metal transfer. Detachment of a droplet at the end of half-period of the welding current may lead to the point that the latter will disappear earlier than its value will naturally pass through zero, this being accompanied by increase in no-current time range t_i . In contrast to the previous stability indicators, K_{st} characterises the probability of the repeated ignition of the arc after its extinction and transfer of the electrode metal droplet. Except for the frequency of the arc extinctions, strictly speaking, none of the offered indicators is an indicator of the arc stability or stability of the welding process as a whole. For the alternating current, its mean value is equal to zero. Therefore, standard deviation of the current is not an indicator of its stability, but a measure of its value, and is called the effective value of current I . In this case, variance $\sigma^2(I)$, standard deviation $\sigma(I)$ or coefficient of variation of the effective value of the welding current, $KV I$, can be used as an objective indicator of the welding process stability, according to the above definition of stability. Similarly, variance $\sigma^2(U)$, standard deviation $\sigma(U)$ or coefficient of variation of the effective value of voltage at electrodes, $KV U$, can be used as a stability indicator for the arc voltage drop. These parameters are indicators of the process stability only in welding without regular short circuits. In manual arc welding, metal transfer takes place mostly with regular short circuits. Naturally, the presence of short circuits affects variations of the effective values of the welding

current and arc voltage. Moreover, these variations may be higher or lower than the variations caused by the effect of other disturbances. Therefore, variations in the welding current and arc voltage are insufficiently sensitive to instability of the short circuits. Stability of the short circuits can be more efficiently evaluated from the standard deviation of their frequency $\sigma(f_{s.c})$ and duration $\sigma(\tau_{s.c})$. If welding parameters provide for the absence of regular short circuits, the instability of the process because of short circuits should be estimated from the value of $f_{s.c}$: the higher this value, the more stable is the welding process.

Manual DC covered-electrode welding. For the first time the quantitative estimation of the arc stability was suggested by K.K. Khrenov, who assessed stability of the arc from its length at extinction: the longer the arc at extinction for a fixed electrode, the smaller is the number of the arc extinctions during welding and, therefore, the more stable is the arc. This method has a drawback consisting in the errors caused by the effect of the droplets that had no time to detach from the electrode tip before the arc extinction. The method gives a scatter of 15—30 % . Strictly speaking, the length of the arc at extinction is a measure of its elasticity, which is singled out as a separate indicator of quality of the arc, and is only indirectly related to the frequency of the latter. Different authors use different statistical parameters of the welding current and arc voltage as a measure of uniformity of arcing to estimate the arc stability. For instance, V.M. Yazovskikh and co-authors suggested using variance $\sigma^2(I_w)$, standard deviation $\sigma(I_w)$ or welding current variation coefficient $KV I_w$ as stability indicators. The authors are of the opinion that the lower the value of these parameters, the more stable is the arc. Study checked the possibility of estimation of the arc stability from $\sigma^2(U_a)$. It is the opinion of the authors that this indicator does not correlate with the arc stability in DC covered-electrode welding.

Power supplies for welding with coated electrodes. Rectifiers for arc welding have common elements: transformer, rectifier, ballasts, measuring and protective equipment. The most rational in rectifiers for arc welding was the use of three-phase current. Therefore, typically use three-phase step-down transformers for

power rectifier units. The external current-voltage characteristics of the different rectifier transformer is determined by the current-voltage characteristic. In rectifiers with a rigid (dipping) the external current-voltage characteristic of transformers used with a normal magnetic scattering. In the formation of the current-voltage characteristics of the rectifier can participate and rectifier unit assembled on the managed semiconductor elements - thyristors.

By design, the power section welding rectifiers can be divided into six groups (Fig. 2.1)

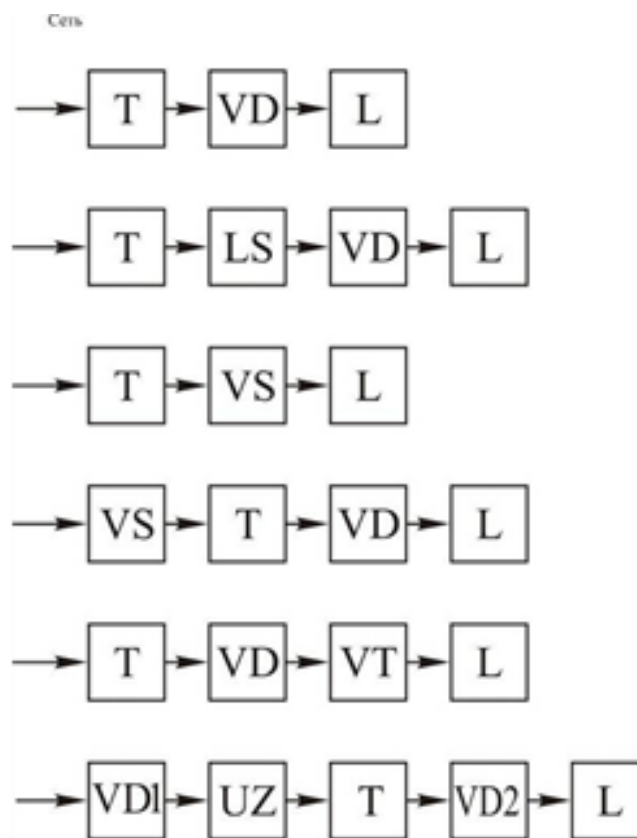


Fig. 2.1. Block diagrams of welding rectifiers

The rapid development of power semiconductor electronic technology over the past 15-20 years have resulted in the emergence of e welding production of a new class of equipment - inverter power sources.

The first samples of inverter power sources for welding steel used in the 80-ies of the last century. The reason for their extensive use has been a sharp decrease in material costs in the manufacture of equipment and reducing the cost of the electronic components that provide significant benefits manufacturers. In shipbuilding Russia most actively used welding power company Kemppi OY (Finland). It was started the

production of these sources and the enterprises of the Soviet Union: first of all in Ukraine (Simferopol, Kharkiv, Kyiv), then in Russia (Ryazan, Cheboksary, St. Petersburg, Orenburg, Tomsk, Yekaterinburg, and others.).

Typical performance inverter welding work is their versatility, ie the possibility of applying for different welding methods: MMA, TIG, MIG, MAG. Especially it is growing at a rapid pace introduction of inverter welding equipment for semi-automatic and automatic welding, a gas-shielded, flux-cored wires and of different types, produced by enterprises in Sweden, Germany, Austria, England, the USA, Ukraine and Russia. Mainly for welding and assembly production is characterized by the use of welding wire of 1.2 mm diameter and gas mixture as a protective gas. In many types of modern inverters, such as inverters firm EWM, Germany, limited use of various types of flux-cored wires. This is a problem faced bridge builders. Typically, there is limitation on a 400A arc current level.

Inverter sources have several advantages due to their low weight and size, compared with conventional welding rectifiers. Among the disadvantages include the negative impact of traditional welding inverters on the power supply network - inductive voltage spikes in supply resulting from the disabling heavy loads, the pulse source is a power substation.

In addition, traditional welding inverters to be a problem of high maintenance requirements for precision welding modes.

The structure of the inverter power supply, generally includes: an input rectifier, inverter unit, rectifier output, and a throttle control operation of inverter power supply circuit. With all the variety of circuit design solutions and inverter power sources, general and in our opinion the most important of their advantages over traditional power supplies is their versatility and higher technology and dynamic properties. This allows modern inverter power sources to implement a number of useful and convenient for their consumer qualities, namely:

- The change in slope of the external characteristic for any program. Use this mode to control the arc penetrating power;

- Possibility of smooth change of the open circuit voltage, including its limitation to a safe level in the absence of load. This so-called "Safe Mode" when the open circuit voltage drops to 12V, if welding is not made within a certain time;
- The presence of "hot start", which provides an increase in the current at the beginning of welding at a specific time. Mode is designed to facilitate the excitation of the arc stability and weld pool formation at the beginning of the welding process;
- Availability of service "Antizalipanie" function, which reduces the rectifier current at short circuit if it lasts more than the installed length of time;
- Enabling control of the welding rectifier with the remote control.