

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Модернизация выпрямителя для сварки плавящимся электродом в  
среде CO<sub>2</sub>

Обучающийся

А.И. Ильинский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., профессор Г.М. Короткова

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

Консультанты

к.э.-э.н., доцент Е.Г. Смышляева

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

В настоящее время в мире происходит замена ручной дуговой сварки на механизированные способы сварки, что отмечается рядом аналитиков по результатам оценки рынка сварочного оборудования и сварочных материалов. При этом следует отметить развитие импульсных технологий, применение которых позволяет повысить качество сварных соединений, и существенно расширить технологические возможности сварки.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности операция сварки с применением механизированной сварки в защитных газах за счёт внедрения решений импульсного управления сварочной дугой.

Выполнен анализ современного состояния вопроса построения сварочных технологий на российских предприятиях. Установлено, что значительное количество морально устаревших выпрямителей для сварки, в конструкцию которых заложен значительный ресурс по силовой части, позволяющих применить алгоритмы управления переносом электродного металла при механизированной сварке в защитных газах.

На основании анализа источников научно-технической информации предложен способ импульсного управления сварочной дугой, для реализации которого предложена схема модернизации сварочного выпрямителя ВДУ-504, эксплуатация которого происходит в течение длительного времени на предприятиях Российской Федерации. Исследовано влияние параметров импульсного управления на стабильность каплепереноса и возможность управлением сваркой в условиях возмущений.

В оценочных разделах выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них. Также на основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений.

## **Abstrakt**

The purpose of the final qualifying work is to increase the efficiency of the welding operation using mechanized gas-shielded welding through design solutions for pulsed control of the welding arc.

An analysis of the current state of the issue of constructing welding technologies at Russian enterprises has been carried out. It has been established that a significant number of obsolete welding rectifiers, the design of which includes a significant resource in the power section, make it possible to apply algorithms for controlling the transfer of electrode metal during mechanized welding in shielding gases.

Based on an analysis of sources of scientific and technical information, a method of pulse control of a welding arc has been proposed, for the implementation of which a scheme has been proposed for modernizing the welding rectifier VDU-504, which has been in operation for a long time at enterprises of the Russian Federation. The influence of pulse control parameters on the stability of droplet transfer and the ability to control welding under disturbance conditions was studied.

The assessment sections identify hazardous and harmful production factors that negatively affect personnel and the environment, and propose measures to protect against them. Also, based on the analysis of the results of calculating changing economic indicators, a conclusion was made about the feasibility of implementing the proposed solutions.

## Содержание

Введение . . . . .	6
1 Анализ современных выпрямителей. . . . .	9
1.1 Анализ применяемого ранее оборудования. . . . .	9
1.2 Поиск источников научно-технической информации по вопросу расширения технологических свойств источников питания для механизированной сварки в углекислом газе. . . . .	12
1.3 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	16
2 Модернизация сварочного выпрямителя ВДУ-504. . . . .	17
2.1 Расширение технологических возможностей сварочного выпрямителя с применением современных достижений в области импульсного управления сварочной дугой. . . . .	17
2.2 Описание доработки конструкции выпрямителя. . . . .	23
2.3 Способ импульсно-дуговой сварки. . . . .	31
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений. . . . .	41
3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта. . . . .	41
3.2 Идентификация профессиональных рисков. . . . .	42
3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков. . . . .	44
3.4 Обеспечение пожарной безопасности. . . . .	45
3.5 Экологическая безопасность. . . . .	47
4 Экономическое обоснование проектных решений. . . . .	49
4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования. . . . .	49
4.2 Фонд времени оборудования. . . . .	51
4.3 Штучное время и годовая программа. . . . .	52
4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии. . . . .	54
4.5 Расчёт капитальных затрат. . . . .	59
4.6 Расчёт экономических показателей. . . . .	61

Заключение .....	63
Список используемой литературы и используемых источников.....	64

## Введение

В настоящее время российская промышленность успешно преодолевает последствия технологического отставания от иностранной промышленности, которое сформировалось по объективным историческим причинам. В течение последних двух десятилетий проблема получила особенную остроту, что отмечается рядом аналитиков [10]. Следует признать, что в настоящий момент по целому ряду направлений существует зависимость российского производителя от поставок иностранного оборудования и комплектующих. По данным авторов [22] доля импорта в фармацевтической промышленности достигает 80 %, а в легкой промышленности, электронной промышленности и станкостроении доля импорта достигает 90 %. С учётом выбранного курса суверенного развития Российской Федерации, основанного на самостоятельном выборе приоритетов и жизненных ценностей, необходимо добиваться автаркии. Автаркия позволит отсечь от тлетворного западного влияния граждан и обеспечить поступательное движение общества в заданном направлении. На основании этого следует отметить высокую актуальность решения вопроса импортозамещения технологий [19].

При проведении политики импортозамещения необходимо принимать во внимание положительный опыт Китая, взаимодействие которого с иностранными партнерами носит этапный характер. На первом этапе происходит поставка иностранных образцов оборудования и технологий, которые тщательно исследуются и получают оценку с точки зрения эффективности применения. На втором этапе проходит создание совместного производства, которое позволяет изготавливать оборудование и комплектующие к нему на территории страны. На третьем этапе перед иностранным партнером ставится вопрос о возможности дальнейшего сотрудничества при условии перехода предприятия под государственный контроль. Таким образом, происходит планомерное «отжатие» бизнеса,

производств и технологий, которые постепенно переходят на службу страны, на которой размещены предприятия.

Представляется, что описанный алгоритм достаточно сложен и может быть успешно воспроизведен исключительно при условии, что власти, проводящие такую политику, принимают взвешенные решения и опираются на техническую элиту. Также следует признать, что элементарное «отжатие» бизнеса по технологии «цап-царап», к которой привыкли выходцы из подворотни, не могут быть применены к сложным технологиям производства, требующих для своей реализации повышения технической грамотности и социальной ответственности широкого слоя населения страны.

Приоритетным направлением следует признать проведение идей импортозамещения в сварочной промышленности. Применение модернизированного сварочного оборудования происходит во многих отраслях промышленности, поэтому эффективность решений проявит себя сразу и многократно. Кроме того, развитие сварочных технологий позволяет не только повысить эффективность производства конструкции, но и существенно снизить дальнейшие расходы по её эксплуатации и обеспечению безопасности [2].

В настоящее время в мире происходит замена ручной дуговой сварки на механизированные способы сварки, что отмечается рядом аналитиков по результатам оценки рынка сварочного оборудования и сварочных материалов [20], [21]. При этом следует отметить развитие импульсных технологий, применение которых позволяет повысить качество сварных соединений, и существенно расширить технологические возможности сварки.

При этом следует отметить два процесса, идущие параллельно. Первый процесс предусматривает проведение модернизации уже имеющегося на предприятии оборудования для сварки. Вторым процессом предусматривается разработка и поставка на рынок сварочного оборудования с принципиально новыми потребительскими свойствами и характеристиками. Следует

отметить высокую эффективность правильно проведенной модернизации сварочного оборудования, позволяющую без существенных затраткратно повысить технологические свойства уже имеющегося сварочного оборудования [7].

Применение импульсных технологий позволяет устранить большинство недостатков, присущих механизированной сварке в углекислом газе. Следует отметить существенное вложение в изучение импульсных процессов, которое сделали российский исследователи-сварщики [8], [11], [12], [18]. С учётом мирового и отечественного опыта в области модернизации сварочного оборудования могут быть предложены решения, применение которых позволиткратно повысить эффективность уже используемого сварочного оборудования и существенно расширить его технологические возможности.

На основании вышеизложенного следует признать актуальность выбранного направления исследования настоящей выпускной квалификационной работы, предполагающей выработку практических рекомендаций по модернизации оборудования для механизированной сварки в углекислом газе. Работы в этом направлении позволят повысить конкурентоспособность отечественного производства и реализовать стратегическое направление промышленной политики, которым является замещение импортных комплектующих и технологий отечественными разработками.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности операция сварки с применением механизированной сварки в защитных газах за счёт внедрения решений импульсного управления сварочной дугой.

Достижение поставленной цели предполагает рассмотрение базового варианта технологии сварки типового изделия, обоснования замены сварочных операций и модернизации сварочного оборудования с применением достижений отечественных исследователей-сварщиков.

## **1 Анализ современных выпрямителей**

### **1.1 Анализ применяемого ранее оборудования**

В СССР и Российской Федерации для выполнения дуговой сварки в защитных газах нашли применение различные источники сварочного тока. В настоящее время в России имеется широкий выбор оборудования для сварки, причём вместе с давно эксплуатируемыми источниками питания, заслуженно получившими положительную репутацию, применяются более современные типы оборудования, основанные на новых принципах управления процессом сварки. Самым популярным источником питания на сегодняшний момент является сварочный выпрямитель тиристорного типа ВДУ-504 (ВДУ-506), широко распространенный в России и за её пределами. Конструкция этого сварочного выпрямителя была спроектирована с учётом тогдашних реалий производства – при сварке в качестве защитного газа используется углекислый газ, а в качестве сварочной проволоки – проволока Св-08Г2С диаметром 2 мм [4]. Исходя из этого сварочный выпрямитель должен быть рассчитан на ток более 400 А. Кроме того, выпрямитель должен был иметь регулируемый дроссель, позволяющий изменять индуктивность цепи в зависимости от характера каплепереноса, при этом наиболее высокая эффективность регулировки дросселя обеспечивалась на токах до 100 А. Следует отметить низкие динамические свойства этих выпрямителей, так как они были предназначены для сварки на больших токах и диаметрах сварочной проволоки. В 90-х годах прошлого века наметилась тенденция к уменьшению сил сварочного тока и диаметру сварочной проволоки. По этой причине применение сварочных выпрямителей ВДУ-504 и ВДУ-506, представленных на рисунке 1, стало более ограниченным, и на смену им пришёл сварочный выпрямитель производства ОАО «Сэлма» ВДУ-506С, представленный на рисунке 2-а, являющийся аналогом иностранного выпрямителя LAW-520, представленного на рисунке 2-б.



Рисунок 1 – Применяемые на производстве устаревшие сварочные выпрямители ВДУ-504 (а) и ВДУ-506 (б)



Рисунок 2 – Применяемые на производстве сварочные выпрямители ВДУ-506С (а) и его иностранный аналог LAW-520 (б)

В это же время начался выпуск сварочного выпрямителя ВС-632, производство которого стало возможным благодаря разработкам ИЭС им. Е. О. Патона. Следует отметить, что рабочий ток дуги у этого выпрямителя был ещё выше, чем у выпрямителей ВДУ-504 и ВДУ-506, и составлял 600 А, что ограничило его применение в ряде случаев. На базе этого выпрямителя была выпущена целая линейка сварочных выпрямителей со ступенчатым изменением сварочного тока: ВС-300, ВС-600, ИТС. Высокая эффективность сварки в таких выпрямителях обеспечивается за счёт подобранных значений индуктивности сварочного трансформатора и индуктивности дросселя, работа которых возможна в заранее определенном диапазоне значений сварочного тока. Эти выпрямители рассчитаны на сварку проволокой

диаметром 1,2 мм и сварочный ток порядка 300 А. В качестве основного положительного момента применения этих выпрямителей в настоящее время можно указать их высокую ремонтпригодность. Дальнейшее развитие эти сварочные выпрямители получили в установке с элементами синергетики ВС-450.

В конце 90-х годов на предприятиях стали распространяться сварочные выпрямители ВД-506ДК и ВДУ-511, которые стали возможны благодаря разработкам ЗАО НПФ «ИТС», иностранным аналогом которых стали сварочные выпрямители DC-400 производства «Lincoln Electric». Эти выпрямители снабжены дополнительными устройствами, позволяющими стабилизировать горение дуги в момент коротких замыканий. У выпрямителя ВД-506ДК таким устройством служит дополнительный дроссель, у выпрямителя ВДУ-511 таким устройством служит батарея конденсаторов. Применение таких дополнительных устройств позволило стабилизировать процесс сварки в более широком диапазоне сварочных режимов.



Рисунок 3 – Сварочные выпрямители со стабилизацией горения дуги ВД-506ДК (а), ВДУ-511 (б) и DC-400 (в)

В настоящее время в мировой промышленности выполняется переход от сварочных выпрямителей к инверторным источникам питания, которые завоевывают все больший рынок за счёт широких возможностей управления процессом сварки, предоставляемых современными полупроводниковыми технологиями.

## **1.2 Поиск источников научно-технической информации по вопросу расширения технологических свойств источников питания для механизированной сварки в углекислом газе**

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности работ при сварке металлических конструкций с применением механизированной сварки в защитных газах. В ходе работы над введением выполнен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. Для достижения поставленной цели предстоит решать задачи, правильная постановка которых определяет эффективность полученных решений и их применимость на практике. При этом необходимо ознакомиться с мировым опытом в области повышения эффективности сварочных процессов. Необходимо выполнить поиск и анализ источников научно-технической информации. Поиск ведем в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберленинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери». Для поиска информации воспользуемся ключевыми словами «механизированная сварка металлических конструкций» «Автоматическая сварка», «Сварка и диагностика», «статья», «диссертация».

Также в поиске применим материалы, полученные при подготовке отчетов по практикам и курсовым работам. Заключительный анализ будем проводить с использованием знаний, полученных на кафедре сварки в ходе обучения сварочным дисциплинам. В ходе литературных исследований были найдены и отобраны для последующего анализа следующие источники научно-технической информации.

В работе [10] «описана модернизация оборудования для механизированной сварки. Показаны основные недостатки механизированной сварки, которые ограничивают область её применения и возможности построения технологии производства и ремонта металлических конструкций. В качестве примера для модернизации принят источник питания ВДУ-504, для модернизации которого применили отечественные разработки в области импульсного управления сварочной дугой. Установлено, что применение предлагаемых решений позволяет обеспечить пространственную стабильность сварочной дуги и даёт возможность получения качественных сварных соединений во всех пространственных положениях» [10].

В работе [13] даны результаты исследований, проведенные коллективом Юргинского технологического университета в области импульсного управления сварочной дугой. Для управления процессом импульсной сварки применен источник с обратными связями. По результатам исследований сделан вывод о возможности управления переносом электродного металла при сварке за счёт изменения длительности накладываемых импульсов.

В работе [16] для расширения технологических возможностей механизированной сварки в защитных газах предложена импульсно-дуговая сварка, применение которой позволяет существенно снизить опасность появления горячих трещин, оптимизировать условия выделения растворенного в расплавленном металле газа, улучшить структуру наплавленного металла и устранить несплавления с кромками. Математическое моделирование позволяет выполнять оптимизация параметров импульсной сварки при выполнении многопроходных швов, что реализовано с применением предложенной автором математической модели и программного обеспечения. Для промышленности предложено несколько способов импульсной сварки, реализация которых позволяет существенно расширить технологические возможности сварочного оборудования и

повысить стабильность горения дуги при сварке в различных пространственных положениях.

В работе [17] выполнены исследования и предложены технические решения для расширения технологических возможностей оборудования для механизированной сварки за счёт применения механизма импульсной подачи сварочной проволоки. Наложение импульсов на движение электродной проволоки позволяет стабилизировать процесс каплепереноса при сварке за счёт механического воздействия на формирующуюся каплю расплавленного электродного металла. За счёт уменьшения ширины зоны термического влияния наблюдается снижение потребления электрической энергии при сварке на 25...30 %. При использовании импульсной подачи проволоки наблюдается 3-х кратное снижение потерь электродного металла на разбрызгивание (с 9 % до 3 %). Наблюдается повышение свойств металла сварного шва: вязкость повышается на 30 %, а зона термического влияния приобретает мелкодисперсную структуру. Суммарный экономический эффект в рамках применения на одном предприятии составил около 10 тысяч рублей на один сварочный пост по ценам 2005 года.

В работе [9] выполнен обзор способов повышения технологических свойств процесса механизированной сварки в защитных газах. Библиографический список статьи состоит из 26 наименований и содержит основные источники, которые позволяют характеризовать направления работ в области расширения технологических возможностей оборудования для механизированной сварки в защитных газах. Рассмотрены такие способы, как наложение на сварочную дугу магнитного поля, программирование подачи сварочной проволоки, импульсная подача защитных газов, импульсное управление электрическими параметрами сварочной дуги.

В работе [29] описан комплекс для изучения процессов при дуговой сварке и примеры его применения. Комплекс позволяет выполнять фиксацию и анализ быстроменяющихся тепловых процессов и процессов массопереноса при различных способах дуговой сварки.

В работе [30] выполнен анализ различных систем управления сваркой, обеспечивающих повышение эксплуатационных характеристик сварного шва. Доказана эффективность применения разработок отечественных исследователей-сварщиков в области импульсного управления сварочной дугой при изготовлении металлических конструкций, предназначенных для работы в условиях климата с низкими температурами.

В работе [31] показано, что применение электромагнитного воздействия на электродный металл при формировании и переносе капли позволяет увеличить частоту переноса капли и уменьшить её размеры. При этом существенно уменьшаются процессы разбрызгивания электродного металла.

В работе [3] представлены результаты применения импульсной двухдуговой сварки, при которой происходит отдельная подача управляющих импульсов на электродную проволоку, что позволяет повысить коэффициент расплавления на 30 кг/ч и скорость сварки до 120 м/ч. Предлагаемая тандемная сварка реализуется с применением стандартных источников питания, снабженных синергетической системой управления. Достигается увеличение глубины проплавления и уменьшение зоны термического влияния. При внедрении тандемной сварки предстоит рассмотреть вопрос снижения её недостатков – повышенного излучения при горении двух дуг и усложнения устройства подачи.

В работе [23] выполнен анализ технологических свойств защитных газов, которые могут быть применены для механизированной сварки в защитных газах. Рассмотрены такие газы: углекислый газ, аргон, гелий, кислород (может применяться в составе газовых смесей для активации металлургических процессов), смесь «аргон+кислород», смесь «аргон+углекислый газ», различные составы трехкомпонентных смесей.

### **1.3 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности отечественного сварочного производства за счёт расширения технологических возможностей длительно используемого оборудования для механизированной сварки в углекислом газе. На основании анализа состояния вопроса можно заключить, что на российских предприятиях имеется значительное количество морально устаревших выпрямителей для сварки, в конструкцию которых заложен значительный ресурс по силовой части, позволяющих применить алгоритмы управления переносом электродного металла при механизированной сварке в защитных газах.

На основании анализа состояния вопроса могут быть сформулированы задачи исследования.

Первой задачей является анализ существующих решений и обоснование направлений модернизации длительно эксплуатируемого сварочного оборудования. Решение этой задачи должно предусматривать применение достижений отечественных исследователей-сварщиков.

Второй задачей является описание заменяемых блоков, построение функциональной схемы и силовой электрической части модернизированного оборудования.

Третьей задачей является обоснование выбора оптимальной формы импульса при управлении сварочной дугой и назначение оптимальных параметров сварки.

На основании решений, описанных в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы предстоит выполнить экологическое обоснование предлагаемых решений и предложить меры защиты персонала от негативных производственных факторов. Также необходимо провести экономическое обоснование предлагаемых решений с расчётом эффекта от внедрения на предприятиях Российской Федерации.

## **2 Модернизация сварочного выпрямителя ВДУ-504**

### **2.1 Расширение технологических возможностей сварочного выпрямителя с применением современных достижений в области импульсного управления сварочной дугой**

Как показывает многолетняя практика применения механизированной сварки в защитных газах основной проблемой, ограничивающей применение этого перспективного способа, является малая пространственная стабильность дуги и разбрызгивание металла, которое не позволяет применить форсированные режимы сварки и существенно ухудшает внешний вид соединений. Кроме того, сварка в углекислом газе характеризуется низкой текучестью расплавленного металла, что приводит к повышению склонности к образованию трещин и несплавлений. Также следует отметить крупнозернистую структуру наплавленного металла, которая может формироваться при сварке в защитных газах [14], [16], [34], [35], [36]. В многочисленных работах, представленных отечественными и зарубежными исследователями-сварщиками, показано, что качество сварного соединения и его эксплуатационные свойства в значительной степени определяются характером переноса электродного металла, который в зависимости от условий может проходить по нескольким механизмам, что представлено на рисунке 4. На размер капель расплавленного металла и характер их переноса в сварочную ванну оказывает влияние такой набор параметров: защитный газ, полярность сварочной дуги, напряжение и сила тока на дуге. С разработкой силовых тиристоров, способных с высокой производительностью коммутировать сварочные токи, производитель сварочного оборудования получил возможность строить источники питания с импульсным управлением, которые позволяют оптимизировать тепловые и металлургические процессы при сварке, улучшая эксплуатационные свойства сварного соединения и повышая его экономические показатели.

Принцип формирования капли металла при импульсном управлении сварочной дугой представлен на рисунке 5. Первоначально сбоку торца торца сварочного электрода (проволоки) формируется капля расплавленного металла, а действующие в сварочной дуге силы вытесняют сварочную ванну из-под электрода. По окончании процесса формирования капли расплавленного металла на конце сварочного электрода ток дуги снижают на краткий временной промежуток, длительность которого составляет порядка 3...4 мс. За это время снижается давление дуги, что способствует уменьшению давления на сварочную ванну, из-за чего расплавленный металл сварочной ванны возвращается к центральному положению. Также уменьшение динамических сил на дуге приводит к тому, что капля расплавленного металла на конце сварочного электрода принимает соосное с ним положение. Сама капля расплавленного металла приближается к сварочной ванне и начинает с ней соприкасаться. При этом в самом начале стадии короткого замыкания (в начальный момент соприкосновения расплавленной капли со сварочной ванной) происходит резкое уменьшение сварочного тока на малый промежуток времени, в течение которого происходит гарантированное слияние расплавленной капли со сварочной ванной. В конце стадии короткого замыкания ток и напряжение опять снижают, что приводит к разрыву перемычки расплавленного металла и устраняет разбрызгивание. Такое управление позволяет получить высокую устойчивость процесса переноса электродного металла, пространственную стабильность сварочной дуги и устраняет разбрызгивание при переходе на высокопроизводительные режимы сварки. Кроме того, импульсный характер нагрева металла и переноса электродного металла изменяет тепловой баланс при сварке, повышает эффективный КПД, что позволяет, во-первых, уменьшить расход энергии при сварке по сравнению со сваркой на стационарных режимах, а во-вторых, существенно снизить тепловое воздействие на основной металл и улучшить структуру сварных соединений [27].

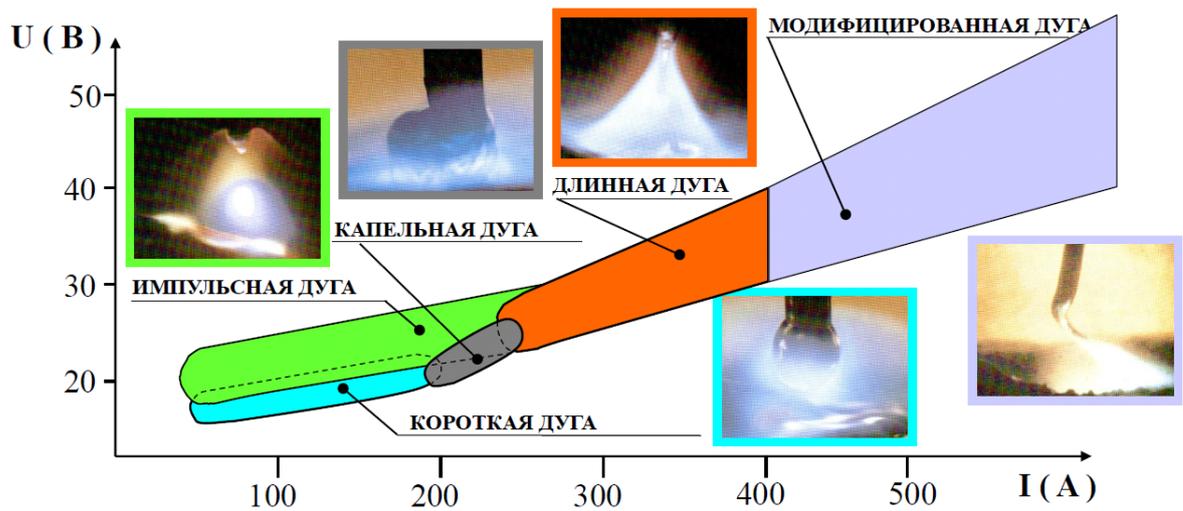


Рисунок 4 – Тип переноса электродного металла при механизированной сварке в защитных газах

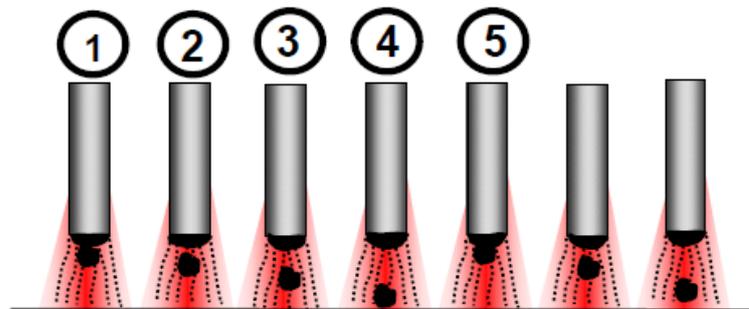
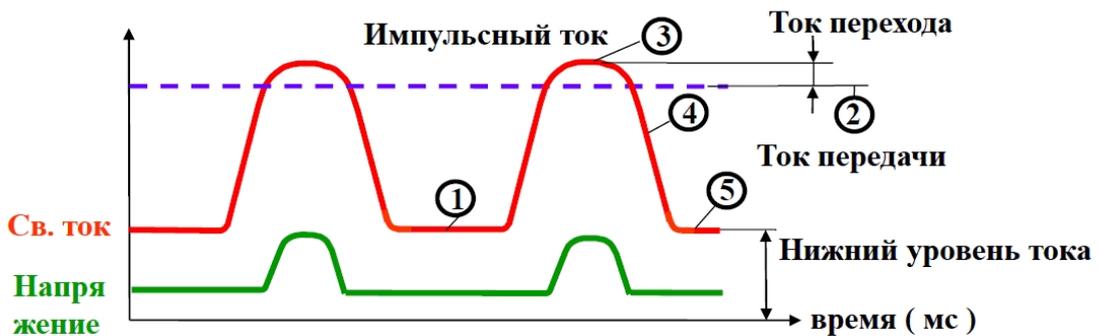


Рисунок 5 – Формирование капли расплавленного металла при импульсной сварке

При сварке с наложением импульсов следует отметить ряд особенностей по сравнению со сваркой на стационарной дуге.

Первой особенностью является наличие импульсов, которые следуют с частотой 30...330 Гц. При этом возможно программное задание параметров импульса, при которой в системе управления отсутствуют обратные связи, и следование импульсов происходит с заранее заданными временными

интервалами. Также возможно адаптивное задание параметров сварочных импульсов, что предусматривает наличие в системе управления обратной связи. При этом временные интервалы, характеризующие импульс сварки, зависят от условий протекания процесса каплепереноса.

Второй особенностью является высокая стабильность горения сварочной дуги, которая поддерживается в течение всего сварочного цикла. «На практике различают четыре типа переноса электродного металла при сварке в зависимости от параметров горения сварочной дуги и особенностей управления каплепереносом, которые представлены на рисунке 6: сварка короткой дугой (рисунок 6-а), сварка импульсной дугой (рисунок 6-б), крупнокапельный перенос (рисунок 6-в), сварка длинной дугой (рисунок 6-г)» [10].

На рисунке 7 представлена кинограмма процесса формирования капли расплавленного металла при импульсном управлении. Элементы кинограммы синхронизированы с осциллограммой сварочного тока и осциллограммой напряжения. Эти данные получены в ходе исследований [1] и позволяют с уверенностью говорить о высокой стабильности процесса сварки в условиях импульсного управления, сварка в таких условиях происходит без образования выплесков металла, а сама дуга имеет высокую пространственную стабильность.

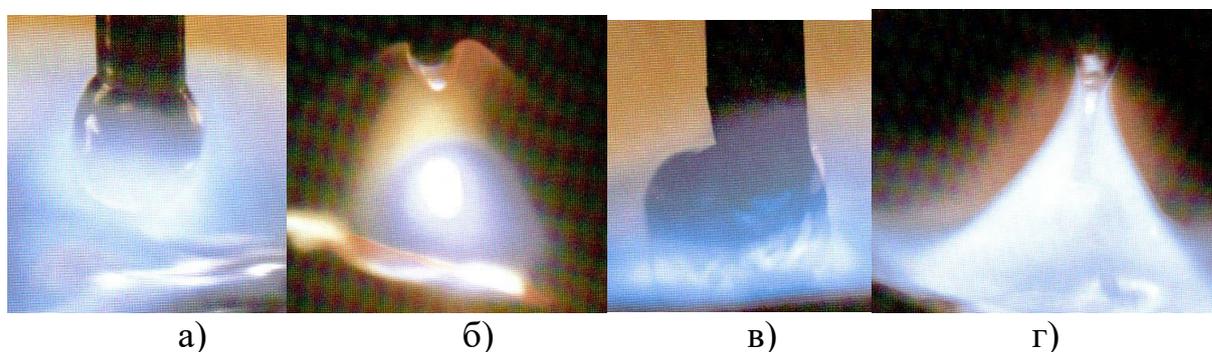


Рисунок 6 – Типы горения сварочной дуги в зависимости от параметров режима и условий управления

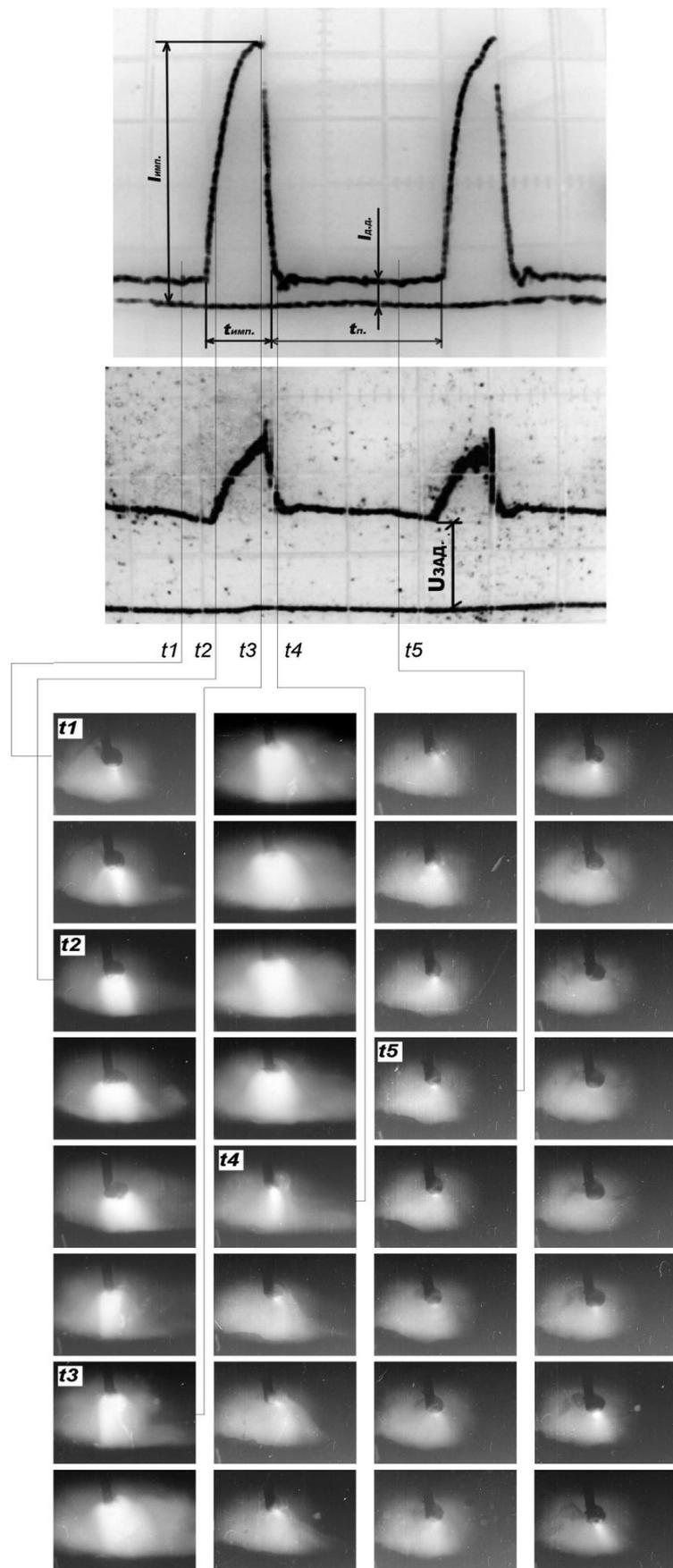


Рисунок 7 – Кинограмма переноса электродного металла при сварке, совмещенная с осциллограммой тока и напряжения при импульсной дуге [1]

Таким образом, при построении модернизированного источника питания на базе стандартного сварочного выпрямителя необходимо предусмотреть импульсное управление сварочной дугой и возможность применения как программируемых импульсов сварки (импульсный процесс без обратной связи), так и адаптивных импульсов (импульсный процесс с обратной связью). Также следует рассмотреть влияние параметров импульсов на стабильность и качество сварки.

Также необходимо принимать во внимание запросы потребителей, которые сведены в работах [10], [32], [33] следующему перечню требований:

- необходимо уменьшить или полностью устранить набрызгивание электродного металла на основной металл изделия, что позволяет улучшить внешний вид сварного соединения, повысить его качество и снизить трудозатраты на доводку изделия до состояния поставки потребителю;
- необходимость уменьшения потерь электродного металла на угар и разбрызгивание;
- повышение доступности и понятности настройки оборудования на оптимальные параметры режима сварки, исключение ошибок настройки;
- повышение уровня ремонтнопригодности сварочного оборудования силами отечественных предприятий с применением оборудования и комплектующих отечественного производства;
- повышение надёжности оборудования в условиях массового производства, характеризующихся наличием значительного количества возмущений и негативных воздействий на оборудование и процесс сварки;
- снижение уровня эксплуатационных затрат и стоимости оборудования для отечественного потребителя, что позволит обеспечить замещение иностранных образцов отечественными.

## 2.2 Описание доработки конструкции выпрямителя

Сварочный выпрямитель ВДУ-504, представленный на рисунке 8, является универсальным, так как он позволяет выполнять сварку как на падающей, так и на жесткой внешней характеристике. Падающая характеристика представлена на рисунке 9-а, жесткая характеристика представлена на рисунке 9-б. Назначение выпрямителя – обеспечивать питание сварочной дуги при однопостовой механизированной сварке и наплавке выпрямленным током. Также выпрямитель позволяет выполнять ручную дуговую сварку штучными электродами.



Рисунок 8 – Сварочный выпрямитель ВДУ-504

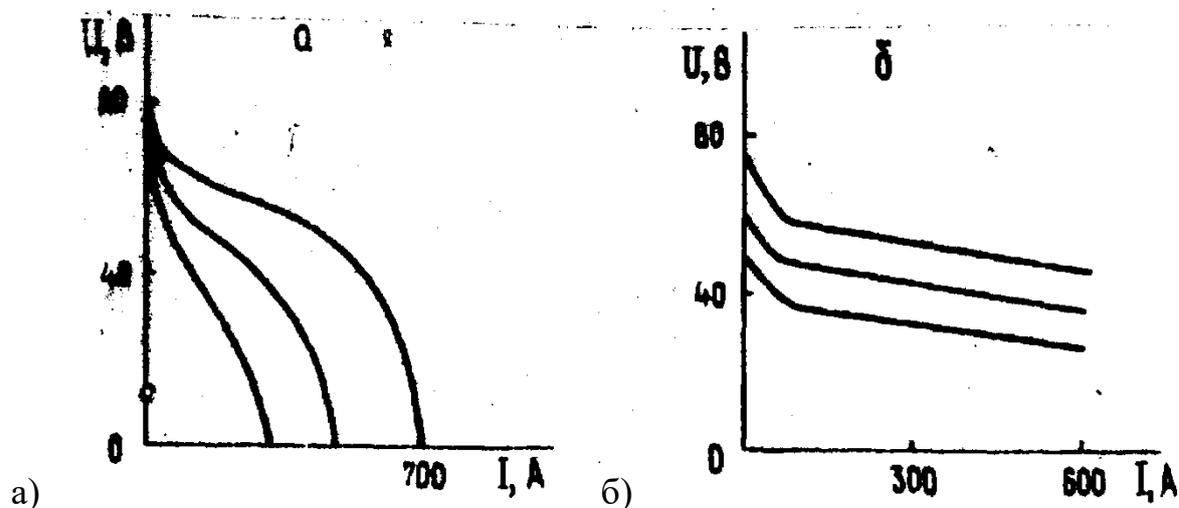


Рисунок 9 – Вольтамперные характеристики сварочного выпрямителя ВДУ-504: падающие (а) и жесткие (б)

При помощи пакетного переключателя выполняется включение фаз первичной обмотки силового трансформатора по схеме «треугольник» или по схеме «звезда». При подключении первичных обмоток трансформатора по схеме «треугольник» сварочный выпрямитель работает в режиме падающих характеристик, как показано на рисунке 9-а. При подключении первичных обмоток по схеме «звезда» сварочный выпрямитель работает в режиме жестких характеристик, как показано на рисунке 9-б.

В состав выпрямителя входят следующие элементы, представленные на компоновочной схеме (рисунок 10): пульт управления 1, электродвигатель 2, дроссели 3, силовой трансформатор 4 и переключатель диапазонов 5. Сварочный выпрямитель ВДУ-504 позволяет обеспечить плавное дистанционное регулирование сварочного тока и напряжения на дуге. При помощи датчиков обратной связи обеспечивается управление с обратной связи по току (в режиме падающих характеристик) и обратной связи по напряжению (в режиме жестких характеристик). Работа выпрямителя требует принудительного воздушного охлаждения.

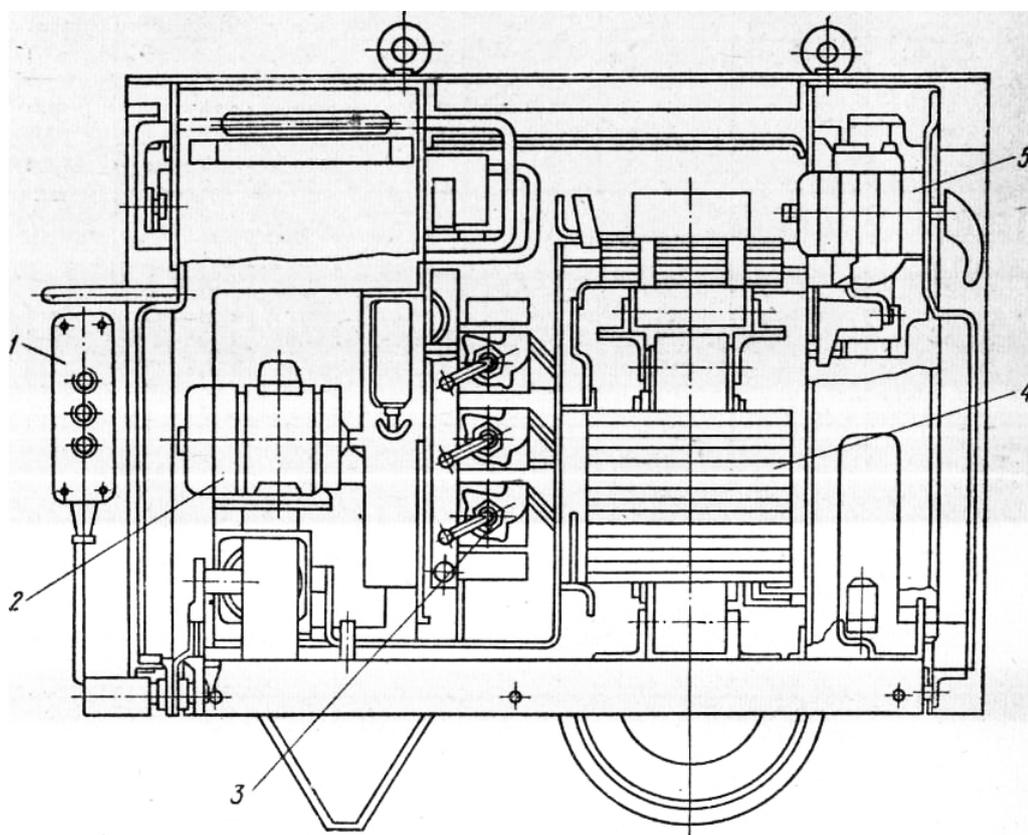
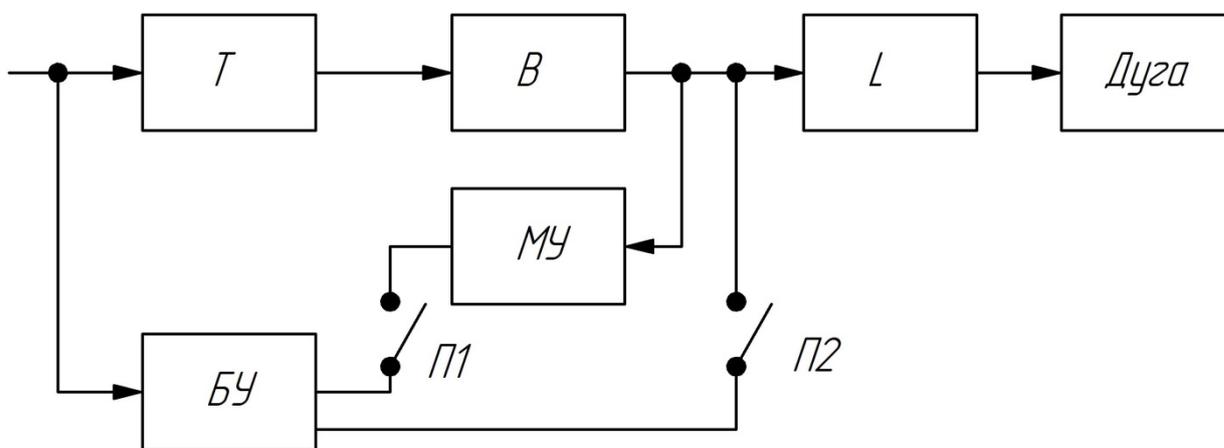


Рисунок 10 – Компоновочная схема сварочного выпрямителя ВДУ-504

На рисунке 11 представлена функциональная схема выпрямителя по базовому варианту. В состав функциональной схемы сварочного выпрямителя входят силовой трансформатор «Т», дроссель «L», выпрямительный блок «В», магнитные усилители «МУ», блок управления «БУ», переключатели режимов П1 и П2. При включении переключателя П1 работа сварочного выпрямителя происходит с обратной связью по току в режиме падающих характеристик согласно рисунку 2.6-а. При включении переключателя П2 происходит работа сварочного выпрямителя с использованием обратной связи по выпрямленному напряжению в режиме жестких характеристик согласно рисунку 2.6-б.

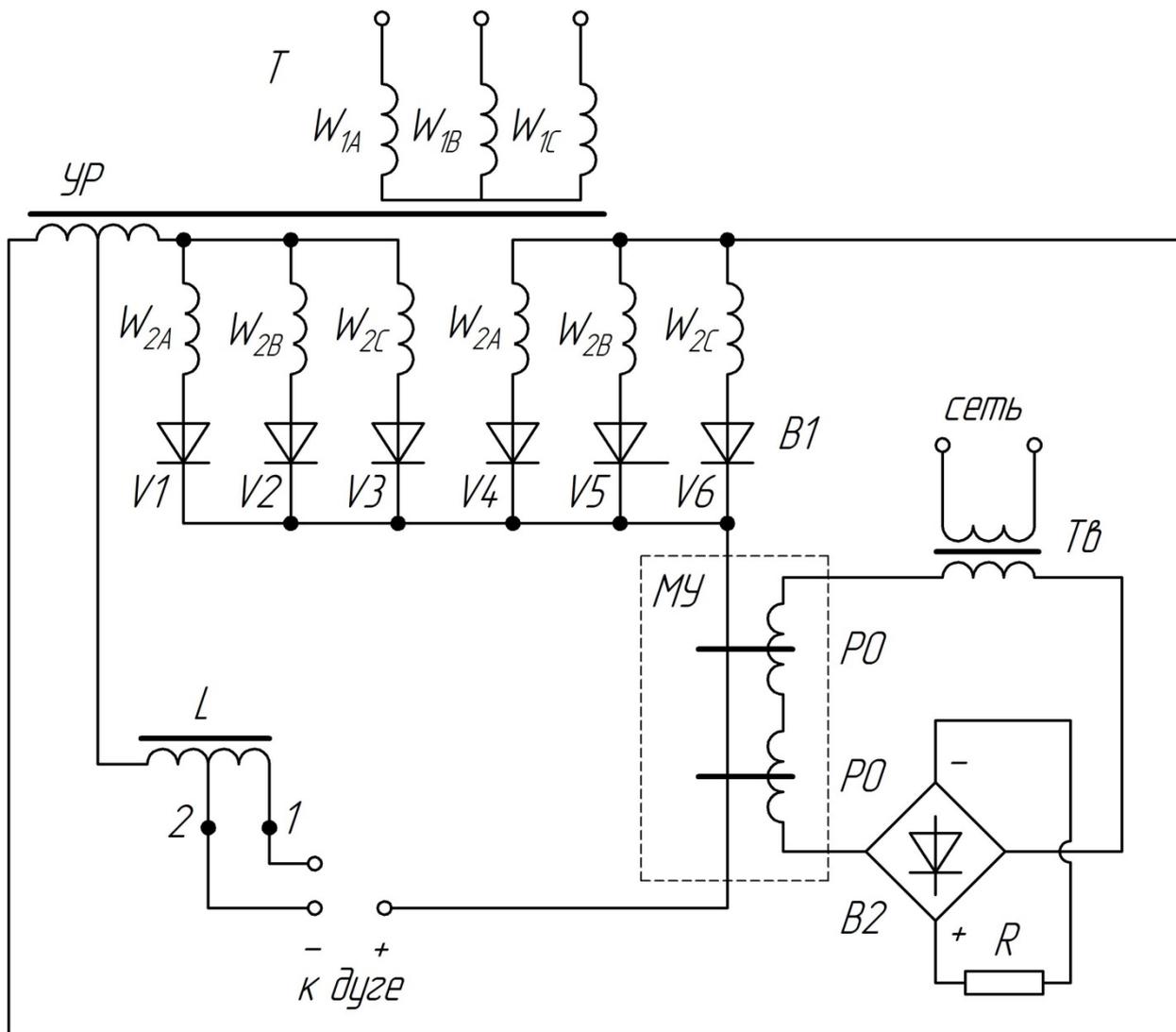


Т – Силовой трансформатор, В – блок выпрямительных тиристоров, L – дроссель, БУ – блок управления, МУ – магнитные усилители, П1 и П2 – переключатели режимов

Рисунок 11 – Функциональная схема сварочного выпрямителя ВДУ-504 по базовому варианту

На схеме сварочный трансформатор имеет две вторичные обмотки ( $W_{2A}$ ,  $W_{2B}$ ,  $W_{2C}$ ), соединение которых выполнено по схеме «звезда» через уравнивающий реактор «УР», как показано на рисунке 12. Первичные обмотки ( $W_{1A}$ ,  $W_{1B}$ ,  $W_{1C}$ ) в зависимости от положения пакетного переключателя могут быть включены по схеме «треугольник» или по схеме «звезда». Силовые тиристоры V1...V6 соединены в схеме последовательно с вторичными полуобмотками. Дроссель L уменьшает разбрызгивание при сварке и имеет два вывода. Вывод «1» служит для работы с падающими внешними характеристиками и соответствует большей индуктивности.

Вывод «2» служит для работы выпрямителя с жесткими характеристиками и соответствует меньшей индуктивности. Магнитный усилитель «МУ» используется в качестве датчика сварочного тока. Рабочие обмотки «РО» магнитного усилителя включены последовательно с однофазным выпрямительным мостом В2 ко вторичной обмотке вспомогательного трансформатора Тв. Сигнал, пропорциональный величине сварочного тока, снимается с измерительного резистора R

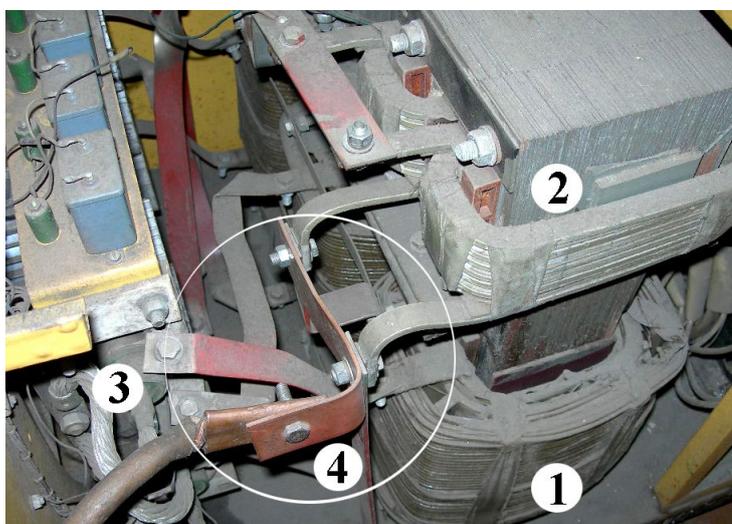


T – силовой трансформатор, V1...V6 – выпрямительные тиристоры, УР – уравнивающий реактор, L – дроссель, МУ – магнитный усилитель, РО – рабочие обмотки магнитного усилителя, В2 – выпрямительный мост, Тв – вспомогательный трансформатор, R – измерительный резистор

Рисунок 12 – Упрощённая электрическая схема сварочного выпрямителя ВДУ-504 по базовому варианту

Для расширения технологически возможностей сварочного выпрямителя ВДУ-504 была выполнена модернизация его конструкции путём изменения элементов функциональной схемы.

«Силовая часть выпрямителя в базовом варианте имела дроссель и уравнивательный реактор. За счёт исключения из силовой части этих элементов удастся повысить скорость нарастания сварочного тока при импульсном управлении горением дуги. Для этого вход уравнивательного реактора был закорочен, и к нему подключили силовой кабель» [10], как показано на рисунке 13.



1- силовой трансформатор, 2 – уравнивательный реактор, 3 – блок силовых тиристоров, 4 – место подключения силового кабеля

Рисунок 13 – Модернизация силовой части сварочного выпрямителя ВДУ-504

Для того, чтобы устранить провалы при выпрямлении напряжения предлагается выполнить замены силовых тиристоров Т161, представленных на рисунке 14-а на диоды Д160, представленные на рисунке 14-б.

Для расширения технологических возможностей сварочного выпрямителя ВДУ-504 его дополнительно оснащают модулятором ИРС-1200АДМ, представленным на рисунке 15 и представляющим собой импульсное регулируемое сопротивление. Модулятор ИРС-1200АДМ выполнен в виде приставки и позволяет модернизировать такие источники

питания, как ВДМ-1001, ВДМ-1601, ВДУ-504 [10] при выполнении механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения и порошковой проволокой.

При использовании связки «источник питания + модулятор» «обеспечиваются амплитуда импульсов сварочного тока в диапазоне 300...1200 А, ток паузы в диапазоне 20...40 А, величина среднего тока в диапазоне 100...300 А. Частота следования импульсов тока составляет 25...150 Гц при длительности импульсов в диапазоне 1...8 мс» [10].

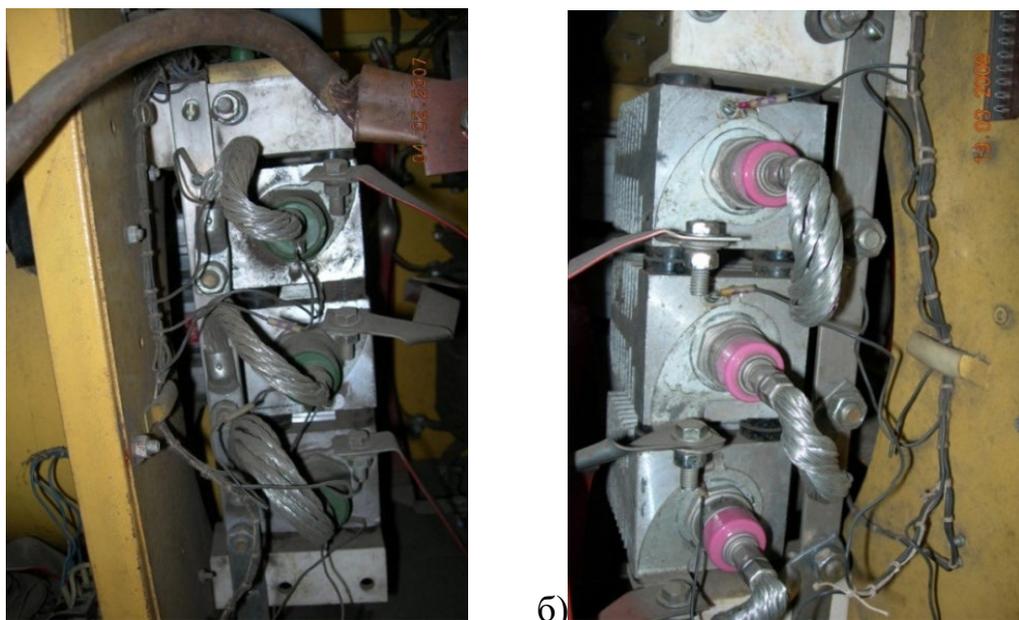


Рисунок 14 – Состав выпрямительного блока в базовом варианте – тиристоры Т161 (а) и в проектном варианте – диоды Д160 (б)

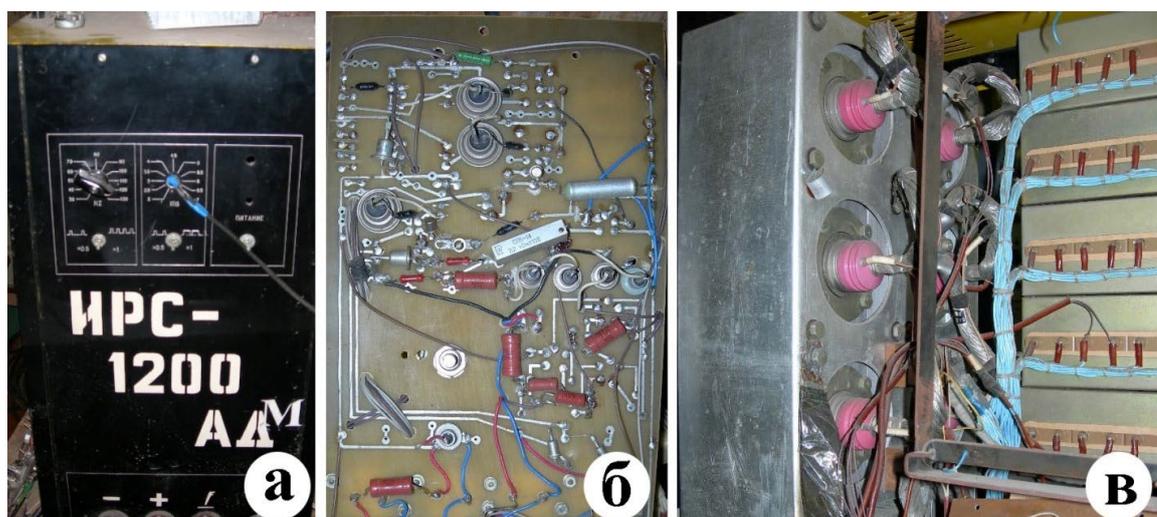


Рисунок 15 – Модулятор ИРС-1200АДМ: лицевая панель (а), схема управления (б), силовые тиристоры и коммутирующий конденсатор (в)

На рисунке 16 представлена предлагаемая электрическая схема модернизированного источника питания, в которую согласно [28] «источник постоянного тока 1; коммутирующий дроссель 2; силовой тиристор 3; шунтирующий резистор 4; сварочный дроссель 5; цепочка диодов 6-7; фильтрующий конденсатор 8; вспомогательный тиристор 9; коммутирующий конденсатор 10; зарядный дроссель 11; зарядный тиристор 12; перезарядный диод 13; блокирующий диод 14; дополнительный зарядный тиристор 15» [26].

«В качестве источника постоянного тока, который обозначен на схеме позицией 1, может быть применен стандартный сварочный выпрямитель необходимой мощности. К положительному полюсу источника питания подключен коммутирующий дроссель 2, силовой тиристор 3, зашунтированные резистором 4, и сварочный дроссель 5, а общая точка соединения силового тиристора 3 и сварочного дросселя 5 подключена к отрицательному выводу источника 1 через цепочку из последовательно соединенных диодов 6 и 7, включенных в обратном направлении. К общей точке соединения диодов 6 и 7 подключена обкладка фильтрующего конденсатора 8, а другая обкладка - к положительному выводу источника 1. Параллельно коммутирующему дросселю 2 включены последовательно соединенные вспомогательный тиристор 9 и коммутирующий конденсатор 10. Последний соединен параллельно с цепью из зарядного дросселя 11, выполненного секционированным, зарядного тиристора 12 и перезарядного диода 13, и последовательно - с цепью из зарядного дросселя 11, первого зарядного тиристора 12 и блокирующего диода 14, катод которого подключен к отрицательному выводу источника 1. К одному из выводов секционированного зарядного дросселя 11 подключен анод дополнительного зарядного тиристора 15, а катод его соединен с катодом силового тиристора 3» [26].

На рисунке 17 представлена микроструктура наплавленного металла, полученного при различной частоте следования импульсов.

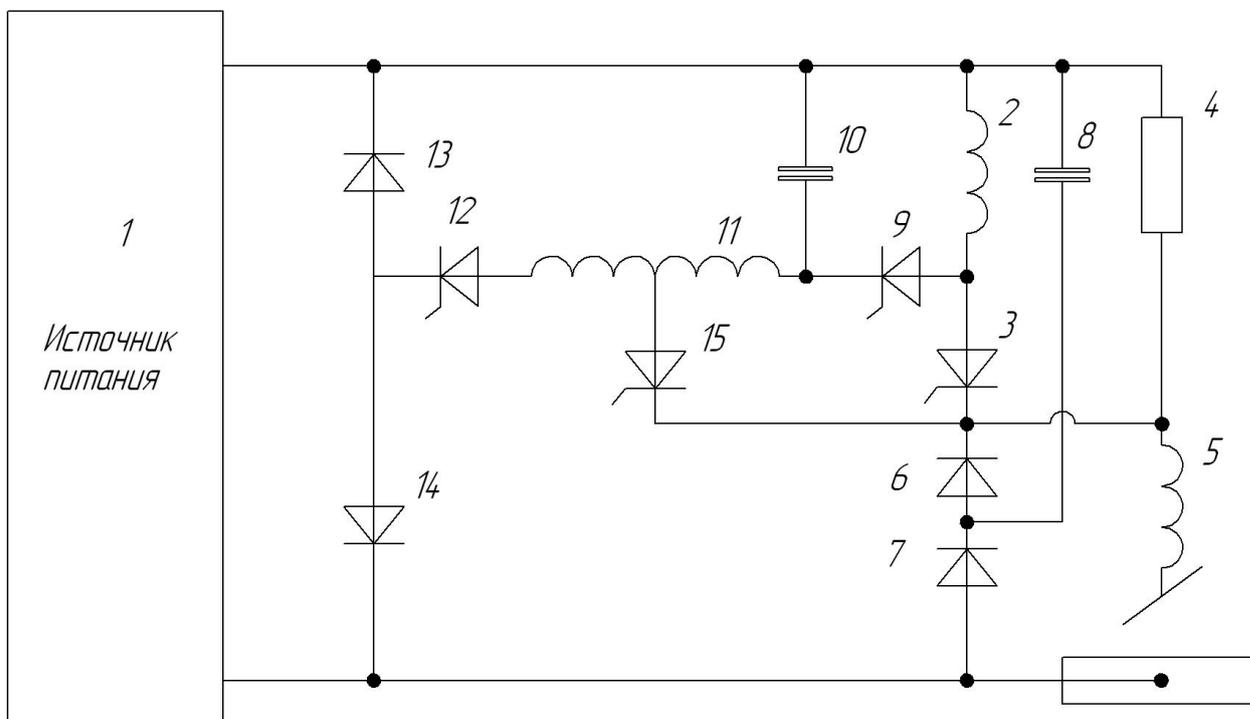


Рисунок 16 – Схема модернизированного источника питания с функцией импульсного управления

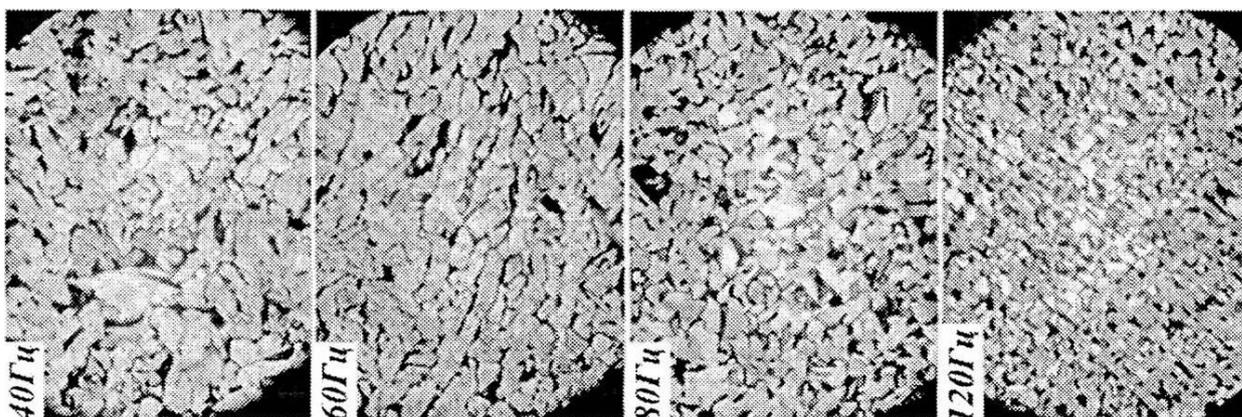


Рисунок 17 – Микроструктура наплавленного металла при различной частоте следования сварочных импульсов

Таким образом, модернизация источника питания с применением предлагаемых решений существенно расширить технологические возможности сварочного оборудования и не требует привлечения значительных финансовых средств. При этом повышается пространственная стабильность дуги и структура наплавленного металла, устраняется разбрызгивание и повышаются механические свойства соединений.

### 2.3 Способ импульсно-дуговой сварки

При реализации технологии сварки с применением импульсного управления применим способ, предложенный отечественными исследователями-сварщиками [15], [24], основанный на регулировании энергетических параметров горения сварочной дуги с использованием обратных связей. Предлагаемый способ позволяет за счёт управления энерговыделением обеспечить стабилизацию размеров капель расплавленного электродного металла. На рисунке 18 «представлены осциллограммы тока и напряжения при сварке согласно предлагаемому способу. Способ предлагает отследить момент отрыва капли расплавленного электродного металла, для чего служит всплеск напряжения на дуговом промежутке. Начиная с этого момент происходит дозирование энергии, которая идёт на формирование новой капли расплавленного электродного металла» [10].

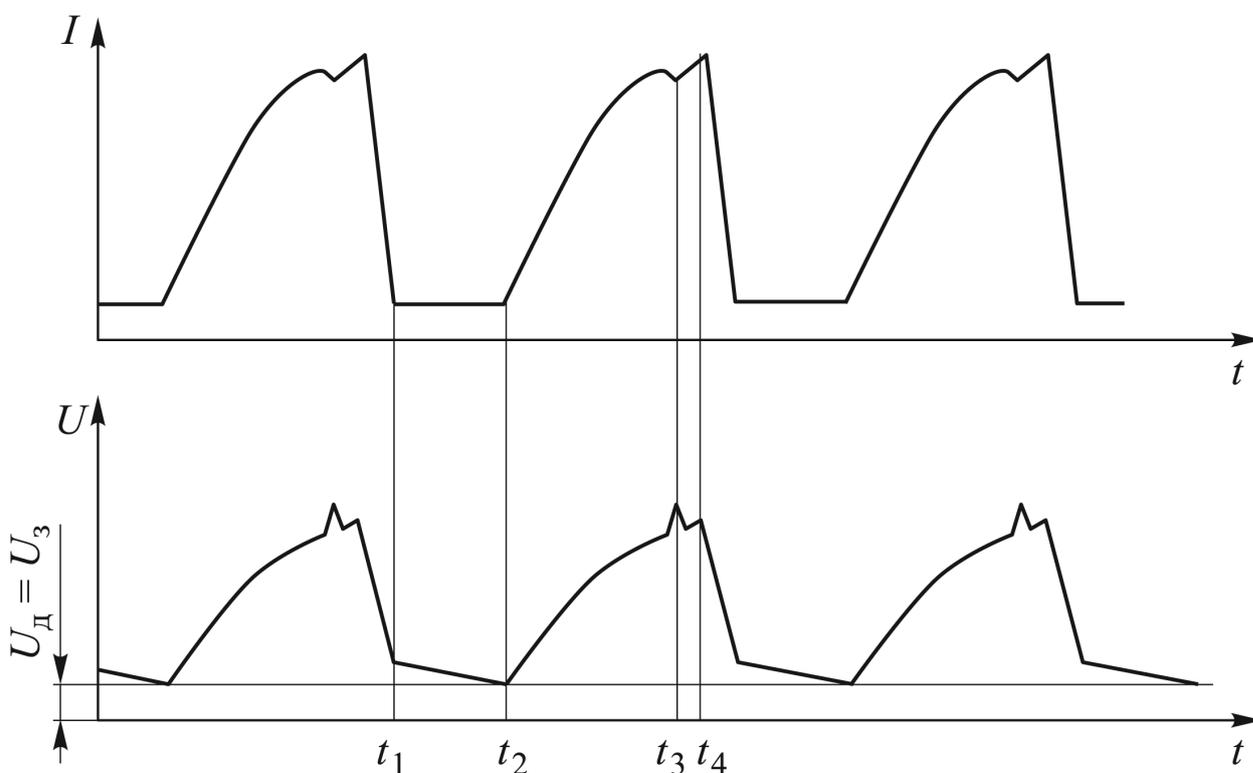


Рисунок 18 – Осциллограммы тока и напряжения согласно предлагаемому способу сварки с импульсным управлением

«Все время, в течение которого происходит регулирование импульса сварочного тока и напряжения, согласно предлагаемой схеме разделено на несколько временных интервалов. На первом временном интервале ( $t_1-t_2$ ) происходит горение дежурной дуги, при этом сила тока минимальна и составляет 15...40 А» [10]. В течение этого временного интервала подается сварочная проволока, а сама капля расплавленного металла занимает совместное с электродом положение. Малые значения сварочного тока уменьшают газодинамическое давление, что приводит к уменьшению длины дугового промежутка и снижению падения напряжения дуги  $U_d$ . При достижении напряжения дуги заданного значения  $U_3$  ( $U_d = U_3$ ), чему соответствует момент  $t_2$  на осциллограмме, выполняется подача импульса тока. Увеличивающиеся при этом электромагнитные силы приводят к втягиванию капли расплавленного металла в «столб сварочной дуги и её движению по направлению к сварочной ванне. Отрыв капли расплавленного металла от электрода происходит в момент времени  $t_3$ , который фиксируется по пику напряжения и провалу сварочного тока. После отрыва капли расплавленного металла на конце электрода остается часть расплавленного металла, которая оттесняется на его боковую поверхность, что позволяет уменьшить толщину жидкой прослойки на торце электрода и улучшить условия его прогрева для формирования следующей капли расплавленного металла. На временном интервале  $t_3-t_4$  происходит дозирование энергии, которая идёт на образование следующей капли электродного металла» [15]. При этом дозируется только энергия, которая идёт на формирование новой капли, что позволяет стабилизировать условия формирования капель электродного металла и размер этих капель.

Функциональная схема реализации предлагаемого способа управления представлена на рисунке 19 и реализуется посредством устройства, предложенного отечественными исследователями-сварщиками [25]. В схему включены следующие элементы. Источник питания сварочного тока (сварочный выпрямитель) обозначен на функциональной схеме позицией 1. В

выходную цепи сварочного выпрямителя включено балластное сопротивление, которое обозначено на схеме позицией 2. Параллельно балластному сопротивлению включается коммутирующее устройство, которое обозначено на схеме позицией 3. Напряжение на дуге  $U_d$  измеряется при помощи блока сравнения 4, который измеряет напряжение  $U_d$  и сравнивает его с заданным напряжением  $U_3$ . Далее следует блок формирования длительности пауз, который обозначен на схеме позицией 5 и подключается к релейному элементу, обозначенному на функциональной схеме позицией 6. В схему также входит блок формирования импульсов, который обозначен на схеме позицией 7, выход которого подключен к коммутирующему устройству 3. Выходы релейного элемента 6 подключены к входам блока формирователя импульсов 7 и коммутирующего устройства 3. Сигнал о величине напряжения на дуге  $U_d$  поступает на вход усилительного устройства, которое обозначено на схеме позицией 9, через датчик фиксации отрыва капли, который обозначен на функциональной схеме позицией 8. Выход усилительного устройства 9 подключен ко входу блока 7.

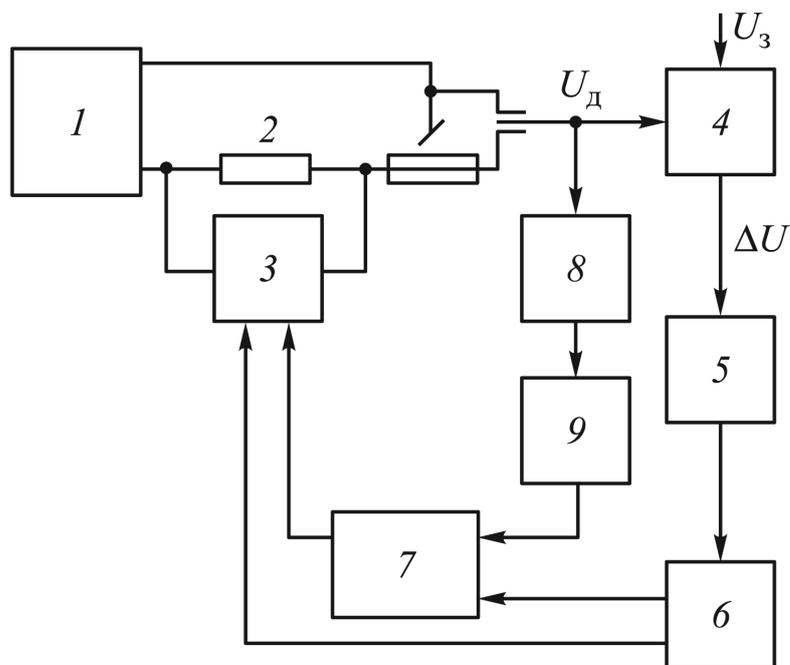


Рисунок 19 – Функциональная схема устройства для сварки с дозированными импульсами энергии

Применение предлагаемой функциональной схемы в способе импульсного управления горением сварочной дуги позволяет дозировать энергию, которая расходуется на формирование каждой капли расплавленного электродного металла. На рисунке 20 «представлена сущность предлагаемого способа управления горением сварочной дуги. Момент отрыва капли расплавленного электродного металла фиксируется по провалу на осциллограмме тока и всплеску на осциллограмме напряжения. Этот момент принимается за начало отсчета времени  $\tau$  для дозирования энергии формирования следующей капли расплавленного электродного металла» [15]. После отключения силовых тиристоров наблюдается спад напряжения в течение времени  $t_{сп}$ . Поскольку в течение паузы сварочный ток имеет малое значение, составляющее 15...40 А, наблюдаемые отклонения длительности импульса тока  $t_{и1}, t_{и2}, \dots, t_{иi}$  не влияют на размеры капли электродного металла, которые определяются, в основном, временным параметром  $\tau$  после отрыва капли.

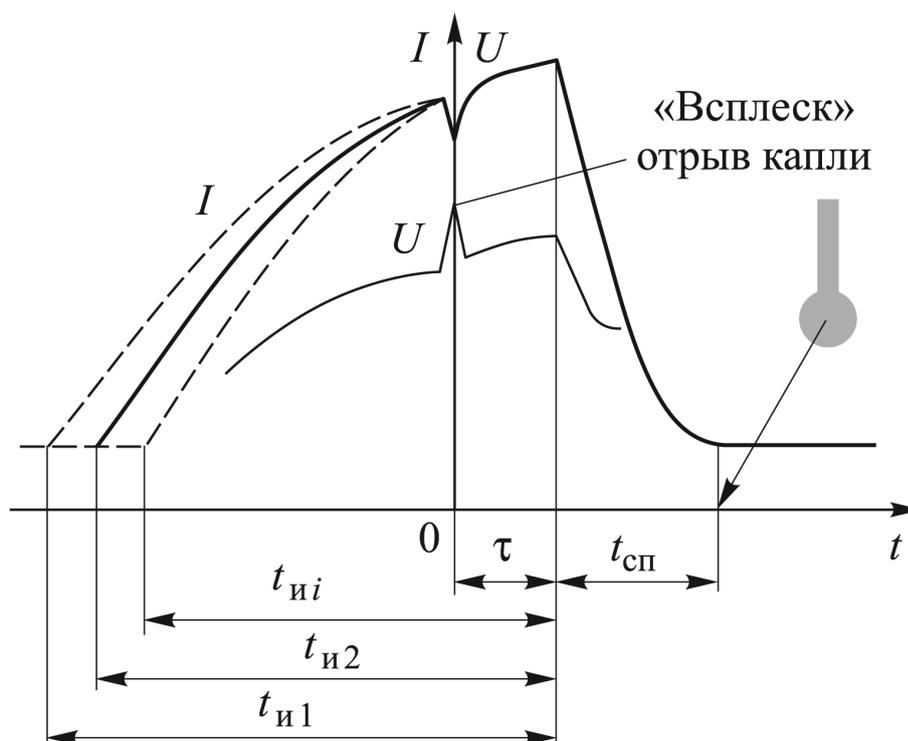


Рисунок 20 – Сущность импульсно-дугового управления горением сварочной дуги

Для реализации предлагаемой функциональной схемы способа импульсного управления горением сварочной дуги необходимо применение аппаратной части, позволяющей обеспечить выполнение управления временными параметрами импульса с учётом особенностей задания и поддержания энергетических параметров. Для этого предлагается применить модулятор импульсов ИРС-1200АДМ [5], который представлен на рисунке 15 и частично рассмотрен в предыдущем разделе. Работа модулятора возможна как в режиме с обратной связью, так и без обратной связи. На рисунке 21 представлены осциллограммы напряжения дугового промежутка при работе модулятора без обратных связей (рисунок 21-а) и при работе модулятора с обратными связями (рисунок 21-б). При работе модулятора без обратных связей (с программированием временных параметров импульса тока и напряжения) происходит наложение импульсов независимо от условия протекания процесса расплавления и переноса электродного металла. В результате формирование импульса происходит при различных начальных условиях. При работе модулятора с обратными связями формирование импульса напряжения происходит при одинаковых начальных условиях, как показано на рисунке 21-б

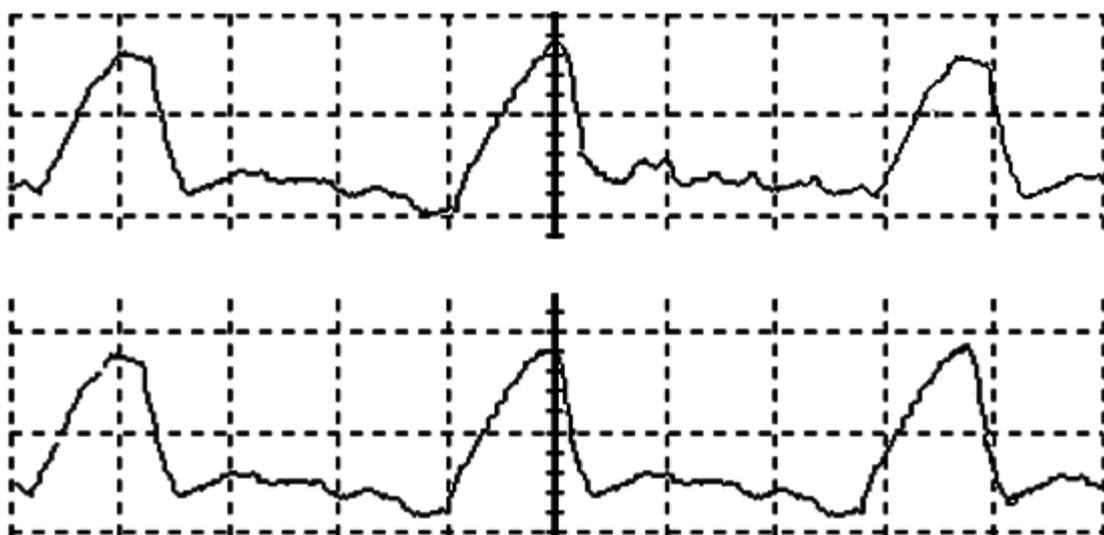


Рисунок 21 – Осциллограммы напряжения при работе модулятора без обратных связей (а) и с обратными связями (б)

«Применение обратных связей позволяет обеспечить стабилизацию формирования и переноса капель расплавленного электродного металла и существенно повысить пространственную устойчивость сварочной дуги. На частоту формирования импульсов напряжения оказывает влияние набор параметров: заданное напряжение  $U_z$ , длительность импульса  $\tau$ , амплитудное значение сварочного тока» [13]. Для определения влияния этих параметров на стабильность качества сварки проведены исследования, описанные в работе [13].

Выполняли экспериментальную наплавку на пластины из низкоуглеродистой стали проволокой диаметром 1,2 мм, подача которой выполнялась со скоростью 260 м/ч. Вылет электродной проволоки составлял 15 мм. Сварку проводили при расходе защитного газа 12 листов в минуту со скоростью 15 м/ч. Сила сварочного тока составляла 220...240 А, что обеспечивает режим с наибольшим разбрызгиванием электродного металла согласно работе [28]. Длительность  $\tau$  импульса сварки изменяли в диапазоне 2,99...9,87 мс, для снятия осциллограмм тока и напряжения применяли цифровой осциллограф DSO 2100, представленный на рисунке 22.

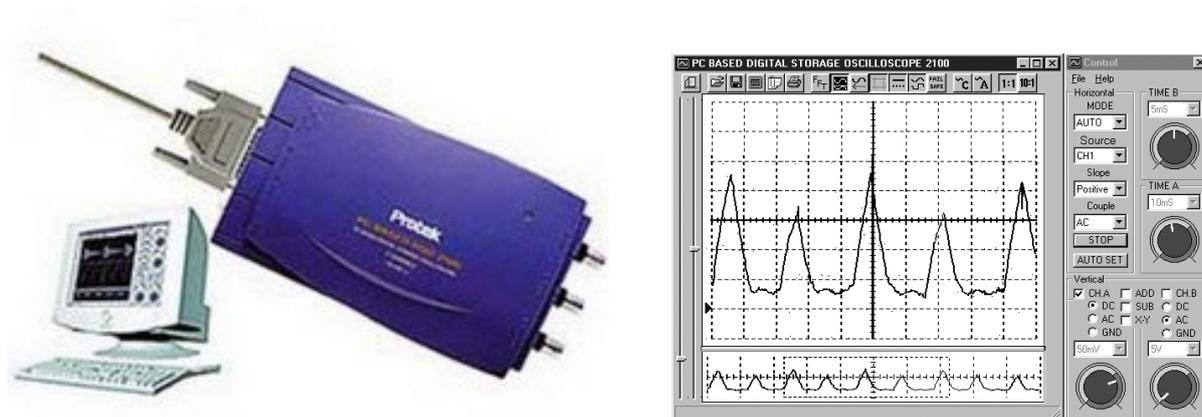


Рисунок 22 – Цифровой осциллограф DSO 2100

На рисунке 23 представлены осциллограммы тока, полученные при различных значениях длительности импульса тока, которые для наглядности выполнены совмещенными на одной координатной плоскости. Увеличение длительности импульса приводит к росту среднего значения сварочного тока,

а уменьшение длительности импульса вызывает увеличение амплитудного значения тока. Так, для длительности 4,94 мс частота следования импульсов составляет 69 Гц, а амплитуда тока – 546 А (линия 1). Для длительности импульса 7,4 мс частота следования импульсов составляет 58 Гц, а амплитуда тока – 460 А (линия 2). Для длительности импульса 9,87 мс частота следования импульсов составляет 42 Гц, а амплитуда тока – 423 А. При увеличении амплитуды тока существует опасность выхода из области управляемого переноса, что отмечается в работе [27].

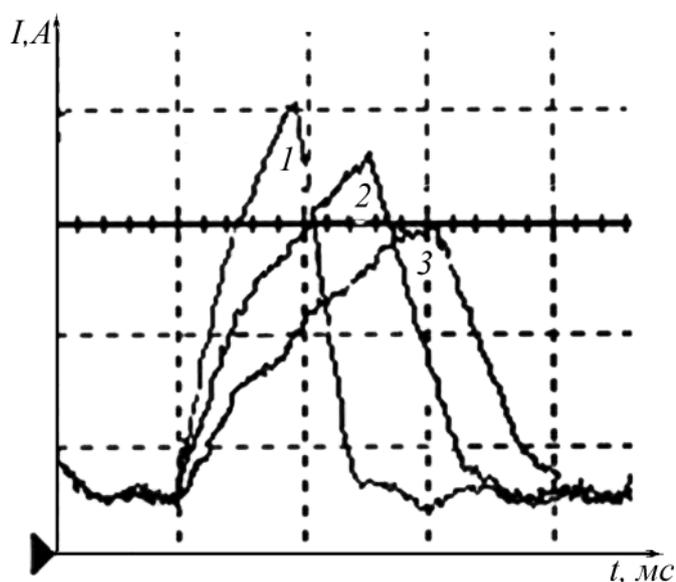


Рисунок 23 – Совмещенные импульсы тока при различных значениях длительности

На рисунке 24 «представлена зависимость амплитудного значения сварочного тока от длительности импульса тока, которая была получена экспериментально на установке. Также длительность импульса влияет на скорость нарастания тока, которая увеличивается при снижении длительности импульса» [27], как показано на рисунке 25.

При увеличении длительности импульса наблюдается снижение частоты их следования с 90 Гц до 42 Гц, как показано на рисунке 26. При этом среднее значение сварочного тока также увеличивается, как показано на рисунке 27.

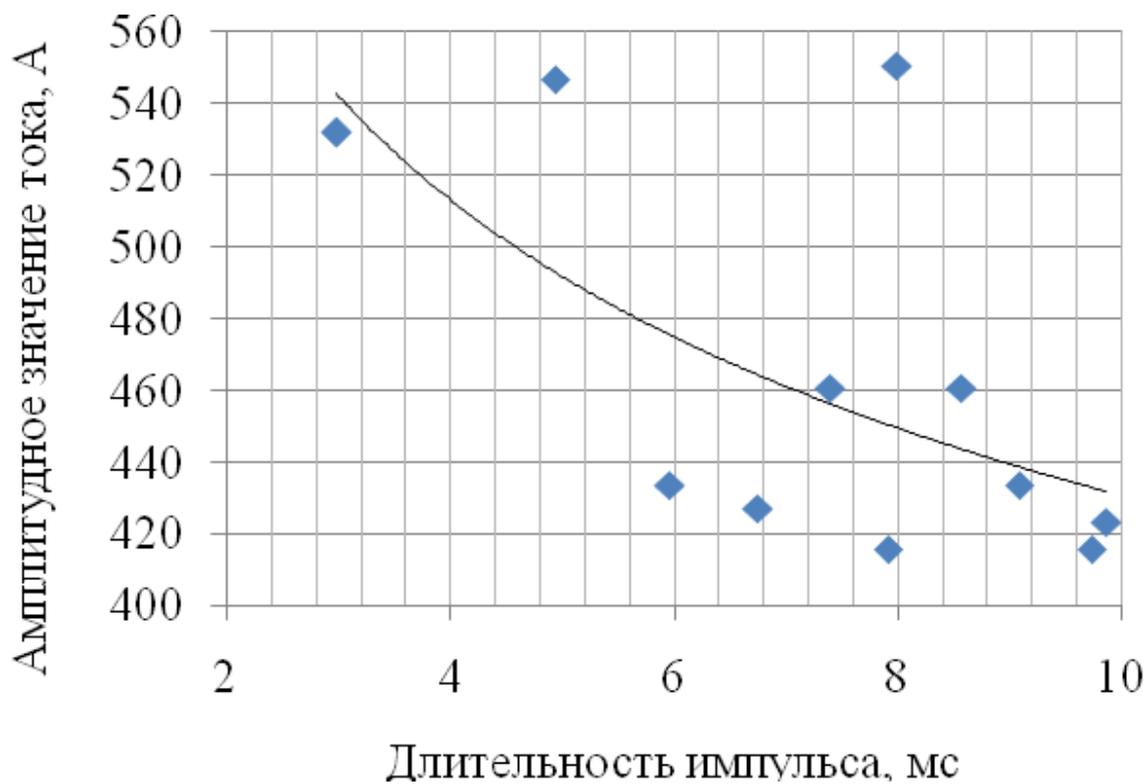


Рисунок 24 – Величина амплитудного значения сварочного тока в зависимости от длительности импульса

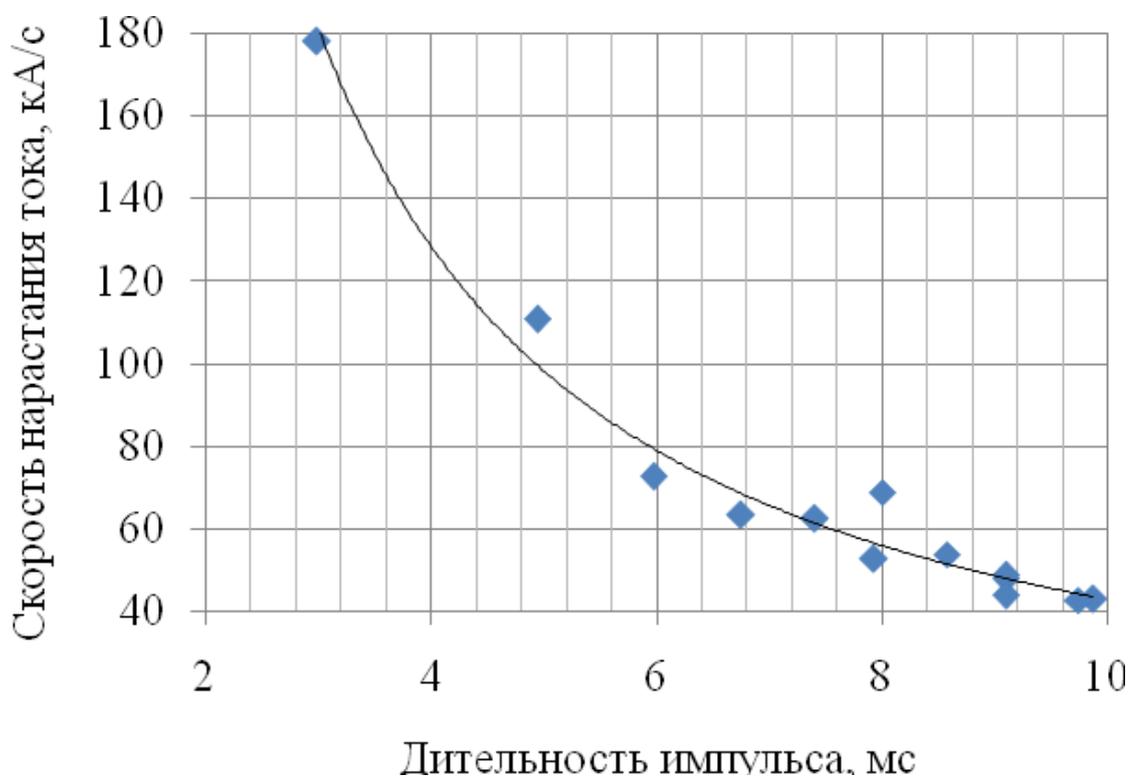


Рисунок 25 – Скорость нарастания тока в зависимости от длительности импульса

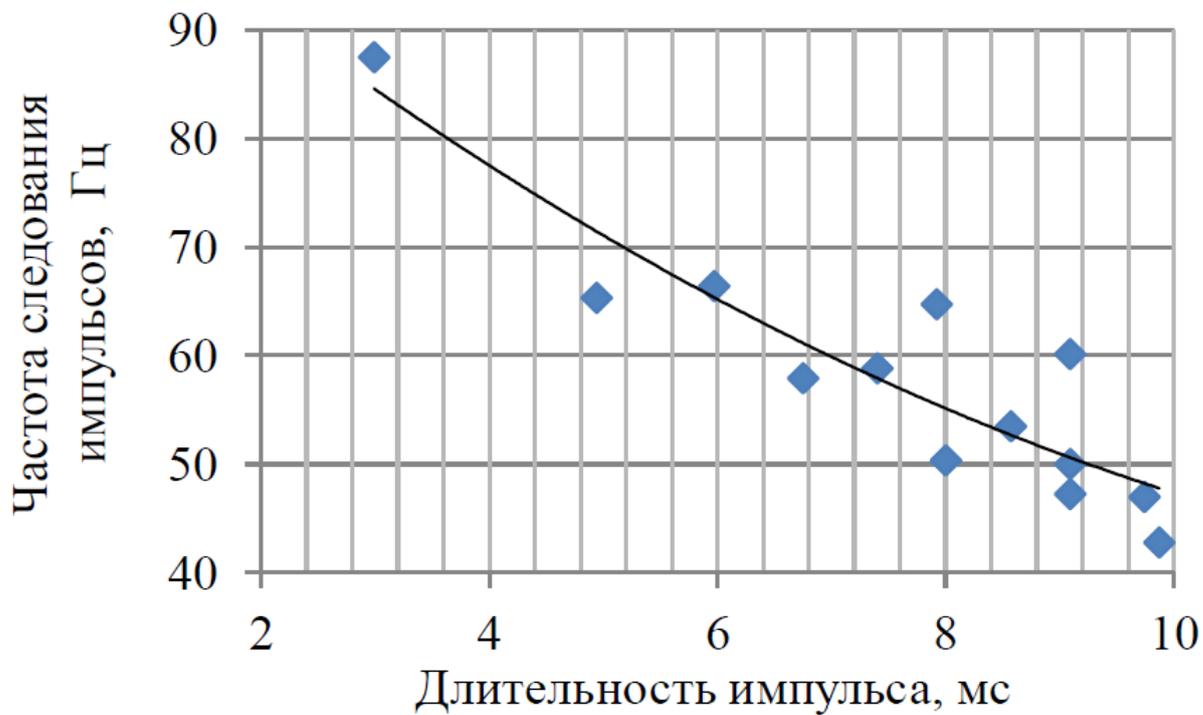


Рисунок 26 – Частота следования импульсов в зависимости от длительности импульса

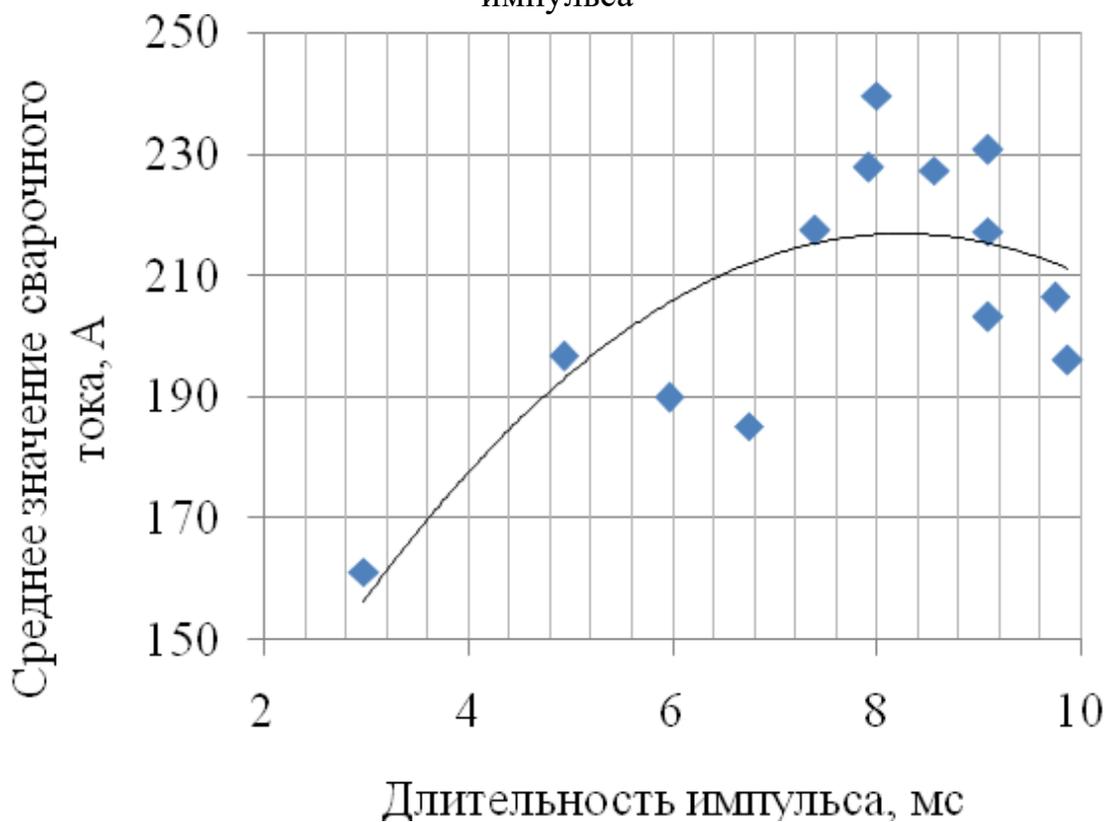


Рисунок 27 – Величина среднего значения сварочного тока в зависимости от длительности импульса

«Наблюдаемое при увеличении длительности импульса повышение среднего значения сварочного тока объясняется обратной зависимостью размеров капли расплавленного электродного металла от частоты следования импульсов. Иными словами, чем выше частота следования импульсов, тем меньше размер капли расплавленного металла. Если размер капли металла увеличивается, это приводит к дополнительному нагреву электрода и увеличению длины дугового промежутка, в результате повышается среднее значение сварочного тока, а частота следования импульсов уменьшается» [27].

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что при работе предлагаемой системы импульсного управления с обратной связью по напряжению широкими возможностями управления обладает длительность накладываемых импульсов. Изменение длительности накладываемых импульсов позволяет регулировать средний ток в импульсе и частоту следования импульсов. Применение системы с обратной связью позволяет повысить стабильность процесса каплепереноса в условиях различных возмущений.

#### Выводы по второму разделу

В ходе выполнения настоящего раздела выпускной квалификационной работы выполнены поставленные в предыдущем разделе задачи. На основании анализа источников научно-технической информации предложен способ импульсного управления сварочной дугой, для реализации которого предложена схема модернизации сварочного выпрямителя ВДУ-504, эксплуатация которого происходит в течение длительного времени на предприятиях Российской Федерации. Исследовано влияние параметров импульсного управления на стабильность каплепереноса и возможность управлением сваркой в условиях возмущений. Дальнейшие работы следует проводить в направлении экологического и экономического обоснования предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.

### **3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений**

#### **3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. В ходе работы над исполнительским разделом выпускной квалификационной работы предложены меры по расширению технологических возможностей отечественных сварочных выпрямителей, заключающиеся в обеспечении управляемого переноса электродного металла с применением разработок отечественных исследователей-сварщиков. В настоящем разделе рассматривается вопрос обеспечения промышленной безопасности при реализации типового технологического процесса сварки магистрального трубопровода с использованием предлагаемого модернизированного источника питания. Анализ проектной технологии сборки и сварки трубопровода представлен в таблице 1. Проектный технологический процесс укрупненно предусматривает последовательное выполнение шести операций: подготовка кромок, сборка, предварительный подогрев, сварка, зачистка и контроль качества. Для выполнения каждой операции привлекается соответствующий технический персонал, приведенный во втором столбце таблицы 1, и технологическое оборудование, приведенное в третьем столбце таблицы 1. Также для выполнения операции могут потребоваться расходные материалы, которые приведены в четвертом столбце таблицы 1. Таким образом, проектный технологический процесс условно разбивается на шесть операций, особенности кадрового и технического обеспечения выполнения которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Паспортизация технического объекта

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
«Подготовка кромок	Слесарь-сборщик	Станок подготовки кромок СПК-1423, шлифмашинка	Вода техническая, круг абразивный
Сборка	Слесарь-сборщик	Центратор наружный	Воздух сжатый
Предварительный подогрев	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Индукционный подогреватель	-
Сварка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Сварочный источник ВД-306Д, центратор наружный, полуавтомат ПДГО-510	Сварочная проволока, электроды LB-62
Зачистка шва	Слесарь-сборщик	Шлифмашинка, молоток, зубило	Круг абразивный
Контроль качества» [14]	Дефектоскопист рентгенографирования	Аппарат РПД-200	Радиографическая плёнка

На основании данных таблицы 1 может быть выполнена идентификация негативных производственных факторов, оказывающих воздействие на персонал и окружающую среду.

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Профессиональные риски при реализации проектной технологии сборки и сварки магистрального трубопровода возникают по причине наличия негативных факторов, источниками которых является применяемое технологическое оборудование, элементы обрабатываемых деталей. Кроме того, при реализации технологического процесса с применением сварочных технологий источником негативных факторов является сварочная дуга (сжатая или горячая свободно в зависимости от особенностей применяемого способа сварки или наплавки). В таблице 2 представлены негативные факторы (опасные и вредные), возникновение которых происходит при реализации соответствующей операции технологического процесса.

Таблица 2 – Идентификация негативных производственных факторов

Операция	Негативный фактор
«Подготовка кромок	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования
Сборка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования
Предварительный подогрев	- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
Сварка	- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - повышенный уровень ультрафиолетовой радиации - повышенный уровень инфракрасной радиации
Зачистка шва	- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования
Контроль качества» [14]	- повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне

Источниками негативных факторов при реализации проектного технологического процесса выступают: оборудование для подготовки кромок, оборудование для подготовки поверхности, измерительное оборудование, сборочное оборудование, сварочное оборудование, оборудование для термической обработки и аппаратура контроля.

Представленные в таблице 2 негативные факторы в количестве семи штук, не являются новыми и успешная нейтрализация может быть обеспечена стандартными техническими средствами и методиками, находящимися в резерве промышленного предприятия.

В случае, если применение стандартных технических решений, средств индивидуальной защиты и организационных мероприятий будет недостаточно для проведения комплексной защиты персонала может потребоваться разработка специальных средств и методик.

### 3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков

На основании ранее проведенных работ по идентификации профессиональных рисков, возникновение которых происходит при реализации предлагаемой технологии, могут быть предложены мероприятия и технические средства из имеющихся в арсенале промышленного предприятия решений, которые для наглядности были сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Устранение профессиональных рисков

Наименование негативного фактора	Средство устранения негативного фактора	Индивидуальная защита
1. «Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	Инструктаж по технике безопасности	Перчатки, спецодежда.
2. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	Предостерегающие надписи, соответствующая окраска, ограждения	-
3. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Инструктаж по технике безопасности	Спецодежда, перчатки
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Заземление электрических машин. Периодический контроль изоляции.	-
5. Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации	Экранирование места сварки щитами,	Спецодежда, маска сварщика
6. Повышенный уровень инфракрасной радиации	Экранирование места сварки щитами,	Спецодежда, маска сварщика
7. Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне» [14]	Экранирование, увеличение расстояния от источника излучения и ограничение времени пребывания оператора в опасной зоне.	-

На основании анализа состава таблицы 3 можно заключить, что для предотвращения воздействия на работников негативных производственных факторов достаточно применения средств и методик из стандартного арсенала предприятия. Применение предлагаемых средств защиты позволяют снизить до приемлемого уровня возникающие производственные риски.

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

При реализации технологических процессов с применением сварочного оборудования повышается опасность возникновения пожара по сравнению с другими технологическими процессами. Это объясняется наличием электрической дуги, характеризующейся высокой температурой и интенсивностью излучения. Также следует принимать во внимание наличие электрической аппаратуры высокой мощности, для работы которой необходимо подведение тока, что также становится потенциальным источником возникновения пожара. В таблице 4 представлена идентификация потенциального пожара, который может возникнуть на рассматриваемом технологическом участке.

Таблица 4 – Идентификация класса потенциального пожара

Наименование участка	Участок сборки и сварки магистрального трубопровода
Наименование оборудования	«Оборудование для подготовки кромок, поверхности деталей, сварочное оборудование, сборочное оборудование, оборудование для термической обработки, аппаратура контроля
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке» [14]

По результатам анализа данных, сведенных в таблицу 4, потенциальный пожар, опасность возникновения которого следует рассмотреть применительно к технологическому участку, относится к классу «Е», так как помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей электрическим током. В числе негативных факторов рассматриваемого пожара следует указать поток горячего воздуха, движущийся по направлению от места горения; тепловое излучение;

токсичные выделения от продуктов горения; затруднение видимости из-за образования аэрозоля при горении веществ; разлет искр; выгорание кислорода. Также в результате пожара происходит нарушение изоляции технологического оборудования и электрической проводки на производственном участке, из-за чего персонал предприятия и спасатели могут подвергаться опасности поражения электрическим током. В таблице 5 представлены предлагаемые средства по нейтрализации негативных факторов потенциального пожара.

Таблица 5 – Средства нейтрализации негативных факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [14]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Для обеспечения пожарной безопасности производственного участка предлагаются стандартные средства из резерва предприятия. Особое внимание при организации противопожарных мероприятий следует уделить подготовке персонала предприятия, который должен обладать навыками использования первичных средств тушения пожара, уметь проводить согласованные действия по обнаружению, локализации пожара и эвакуации с производственного участка. От правильности действия персонала в экстренном случае зависит тяжесть последствия возникающего пожара и количество жертв.

### 3.5 Экологическая безопасность

При построении технологических процессов на современном промышленном предприятии необходимо руководствоваться не только соображениями безопасности процессов для персонала, но и безопасности процессов для окружающей среды. Поскольку современное общество осознало ответственность человечества за сохранение природных ресурсов, в мировую повестку включены вопросы природосбережения. Разрабатываемые технологические процессы рассматриваются с точки зрения антропогенных факторов, которые нарушают естественное состояние природы и могут стать причиной экологической катастрофы вследствие кумулятивного эффекта. Предлагаемые мероприятия предполагают уменьшение антропогенного действия и защиту основных составляющих природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. Для обеспечения защиты окружающей среды могут применены стандартные средства и методики, которые для наглядности сведены в таблицу 6. Применение указанных средств позволяет обеспечить разумный уровень антропогенного действия производства.

Таблица 6 – Средства и методики по обеспечению экологической безопасности

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [2]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [2]
действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [2]

## Выводы по экологическому разделу

Проектная технология с применением разрабатываемого в настоящей выпускной квалификационной работе оборудования характеризуется наличием негативных производственных факторов, действие которых на персонал предприятия может вызвать последствия в виде резкого ухудшения состояния работника или формирования у него профессиональных заболеваний. В экологическом разделе проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов. На основании анализа этих факторов представлены стандартные технические средства и организационные мероприятия, применение которых на производстве позволяет устранить действующих фактор или уменьшить его действие до приемлемого уровня. Представленные в работе средства являются стандартными из резерва современного предприятия, разработки специальных мер по обеспечению безопасности персонала не требуется.

Так как сварочное производство характеризуется повышенной опасностью возникновения пожара, в настоящем разделе выполнена идентификация опасных факторов возможного пожара и предложены меры по обеспечению пожарной безопасности.

С учётом мировой экологической повестки были рассмотрены антропогенные факторы, возникновение которых возможно при реализации проектной технологии. Были предложены мероприятия по обеспечению экологической безопасности и повышению экологической грамотности работников и руководства предприятия.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе методики и средства являются стандартными и имеются в резерве предприятия. Разработки специальных средств и методик для защиты персонала и окружающей среды не требуется.

## **4 Экономическое обоснование проектных решений**

### **4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварочных технологий при использовании отечественного сварочного оборудования, модернизированного с применением достижений отечественных исследователей-сварщиков в области импульсного управления горением сварочной дуги и переносом электродного металла. При обосновании эффективности предлагаемых решений необходимо рассмотреть, как и на сколько изменятся показатели производства при использовании предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений применительно к типовой операции – исправление варкой дефектов несущих металлических конструкций подъемной техники. При реализации базового технологического процесса применяется стандартный сварочный выпрямитель ВДУ-504. При реализации проектного технологического процесса применяется модернизированный выпрямитель, оснащенный формирователем сварочных импульсов ИРС-1200АДМ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы для повышения эффективности технологии выполнено обоснование замены способа сварки и предложены меры по расширению технологических возможностей сварки с применением отечественных разработок в области импульсного управления переносом электродного металла. Для выполнения экономических расчётов все исходные данные по применяемым технологиям и расчётным коэффициентам приведены в таблице 7. Проведенная модернизация позволяет повысить производительность работ, уменьшить расход сварочных материалов и получить положительный экономический эффект, размер которого должен быть рассчитан.

Таблица 7 – Исходные данные для экономического обоснования

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$P_p$	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$K_d$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	100 тыс.	400 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	12	12
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,2	3,2
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	$S$	$m^2$	100	100
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ $m^2$ )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ $m^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [27]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

На основании представленных данных предстоит выполнить расчёт себестоимости (технологическая, цеховая, заводская) по базовому и проектному вариантам. Далее следует оценить величину капитальных затрат. Для оценки эффективности предлагаемых решений будут вычислены основные экономические показатели: «повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, снижение трудоемкости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект» [27].

## 4.2 Фонд времени оборудования

Принимаемые для рассмотрения варианты технологического процесса предусматривают применение технологического оборудования и персонала, работу на производственных площадях. При этом для вычисления годовой программы, расходов и капитальных вложений требуется знание размеров фонда рабочего времени  $F_H$  и эффективного фонда рабочего времени  $F_3$ , который отличается от фонда рабочего времени  $F_H$  по причине наличия потерь времени, величина которых задается коэффициентом потерь рабочего времени  $B$ . Для расчётов принимается  $B=7\%$ .

Поскольку в проектном варианте технологии предлагается использовать имеющуюся производственную базу, то годовой фонд времени по сравнению с базовым вариантом технологии не изменится. Для расчёта фонда времени необходимо задать количество смен  $K_{см}$  и количество рабочих дней в году  $D_p$ , для рассматриваемого в выпускной квалификационной работе технологического объекта принимаем  $K_{см}=1$  и  $D_p=277$ . С учётом нормативов труда продолжительность рабочей смены составляет  $T_{см}=8$  часов. В течение одного года есть предпраздничные дни в количестве  $D_{п}=7$  дней, в эти дни на величину  $T_{п}=1$  час происходит уменьшение продолжительности смены. С учётом представленных данных годовой фонд времени составит

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Для рассматриваемой технологии коэффициент потерь рабочего времени принимается равным  $B = 7\%$ , таким образом, рассчитываем эффективный фонд времени:

$$F_3 = F_H(1 - B/100) = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Для проведения дальнейших расчётов по обоснованию эффективности предлагаемых решений принимаем эффективный фонд времени  $F_3 = 2054$  часов.

### 4.3 Штучное время и годовая программа

Годовая программа выпуска и составляющие технологической себестоимости проведения сварочных работ зависят от объемов времени, которое затрачивается на проведение рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических операций при изготовлении (ремонте) одного изделия – штучного времени  $t_{шт}$ . Для расчета величины штучного времени  $t_{шт}$  необходимо применить знания по нормированию труда. «Рабочее время затрачивается непосредственно на выполнение основных операций, что учитывается частью рабочего времени, обозначаемой как  $t_{маш}$  – машинное время. Вспомогательное время  $t_{всп}$  является частью штучного времени, которое расходуется на действия по обеспечению основной работы, упрощенно можно принять  $t_{всп} = 0,1t_{маш}$ . На обслуживание рабочего места расходуется время  $t_{обсл}$ , для которого в настоящей выпускной квалификационной работе можно принять  $t_{обсл} = 0,05t_{маш}$ . На личный отдых работника» [27] затрачивается время  $t_{отд}$ , для выполнения расчётов в настоящей выпускной квалификационной работе можно упрощенно принять  $t_{отд} = 0,05t_{маш}$ . На подготовку к сварке, изучение документации и сдачу работ расходуется подготовительно-заключительное время, которое упрощенно принимается как  $t_{п-з} = 0,01t_{маш}$ . Таким образом, расчёт штучного времени для базового  $t_{шт.баз}$  и проектного  $t_{шт.проектн.}$  вариантов технологии составит:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . \quad (3)$$

$$t_{шт.баз} = 5 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 9 \text{ часов}$$

$$t_{шт.проектн.} = 3 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 5 \text{ часов}$$

Для расчёта экономического эффекта необходимо знание годовой программы  $П_g$ , значение которой зависит от штучного времени  $t_{шт}$  и эффективного фонда времени  $F_э$ , расчёт годовой программы выполняется по формуле

$$\Pi_{\Gamma} = F_{\text{э}} / t_{\text{шт.}} \quad (4)$$

Согласно (4) были получены для базового варианта  $\Pi_{\Gamma} = 2054/9 = 228$  дефектов за год, для проектного варианта  $\Pi_{\Gamma} = 2054/5 = 410$  дефектов за год.

С учётом реальной потребности производства предлагается для выполнения дальнейших экономических расчётов принимать 200 исправляемых дефектов в год.

С учётом годового эффективного фонда времени  $F_{\text{э}} = 2054$  часов, годовой программы  $\Pi_{\Gamma} = 100$ , коэффициента выполнения нормы  $K_{\text{вн}} = 1,03$ , штучного времени  $t_{\text{шт}}$  количество оборудования рассчитывается как

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_{\text{э}} \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

По расчётам согласно (5) для базового варианта получаем для  $t_{\text{шт}} = 9$  часов,  $n_{\text{расч.}} = 9 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$ , при подстановке исходных данных в формулу (5) для проектного варианта получаем для  $t_{\text{шт}} = 5$  часов,  $n_{\text{расч.}} = 5 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,2$ . При построении технологического процесса принимаем количество технологического оборудования в базовом варианте и проектном варианте  $n=1$ . Расчётное и реальное количество оборудования связаны через коэффициент загрузки  $K_3$  следующим образом

$$K_3 = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

По расчётам согласно (6) коэффициент загрузки оборудования для базового варианта равен  $K_3 = 0,4/1 = 0,4$ , для проектного варианта коэффициент загрузки равен  $K_3 = 0,2/1 = 0,2$ . Вычисленные таким образом значения коэффициента загрузки оборудования для рассматриваемых вариантов построения технологического процесса будут использованы для расчётного определения капитальных затрат. Снижение коэффициента загрузки оборудования в проектном варианте относительно базового варианта технологии объясняется повышением производительности труда, достигнутым за счёт внедрения предлагаемых технологических решений.

#### 4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии

При реализации рассматриваемых вариантов построения технологического процесса помимо электрической энергии и труда затрачиваются материалы, в качестве которых вступают сварочные и наплавочные материалы, стоимость которых рассчитывается с учетом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным  $K_{ТЗ} = 1,05$ , нормы расхода  $H_p$  и цены  $C_M$  материалов:

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{ТЗ} \cdot \quad (7)$$

Согласно (7) для базового варианта построения технологии получаем  $M_{\text{баз.}} = (178,00 \text{ р/кг} \cdot 1,0 \text{ см}^2 \cdot 50 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 1,2 \cdot 1,05 : 1000 + 46) \cdot 1,2 = 160$  рублей. Для проектного варианта технологического процесса стоимость материалов будет  $M_{\text{баз.}} = 178,00 \text{ р/кг} \cdot 1,0 \text{ см}^2 \cdot 50 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 1,2 \cdot 1,05 : 1000 + 46 = 133$  руб.

Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  является составной фонда заработной платы ФЗП, который, в свою очередь, входит в состав технологической себестоимости. Эта величина определяется для рассматриваемых вариантов построения технологии исходя из ранее определенных значений штучного времени  $t_{\text{шт}}$ , и тарифной ставки, которая для рассматриваемого производства составляет  $C_{\text{ч}} = 200$  рублей. Также при расчёте основной заработной платы следует учитывать коэффициент доплат, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным  $K_d = 1,88$ . Таким образом, для проектной и базовой технологии:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_d \quad (8)$$

Для базового варианта построения технологии значение штучного времени составляет  $t_{\text{шт}} = 9$  часов, поэтому согласно (8) размер основной заработной платы  $Z_{\text{осн}} = 9 \cdot 200 \cdot 1,88 = 3384$  рублей; для проектного варианта

построения технологии значение штучного времени составляет  $t_{шт} = 5$  часов, согласно (8) основная заработная плата  $Z_{осн.} = 5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1880$  рублей.

Ещё одной составляющей фонда заработной платы ФЗП является дополнительная заработная плата  $Z_{доп.}$ , для расчёта необходимо задаться коэффициентом дополнительных доплат, который применительно к рассматриваемой технологии составит  $K_{доп.} = 0,12$ . Величина  $Z_{доп.}$  пропорциональная основной заработной плате  $Z_{осн.}$ :

$$Z_{доп.} = Z_{осн.} \cdot K_{доп.} \quad (9)$$

Для базового варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет  $Z_{осн.} = 3384$  рублей, поэтому согласно (9)  $Z_{доп.} = 3384 \cdot 0,12 = 406$  рублей. Для проектного варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет  $Z_{осн.} = 1880$  рублей, поэтому согласно (9) дополнительная заработная плата  $Z_{доп.} = 1880 \cdot 0,12 = 226$  рублей.

Фонд заработной платы ФЗП, являющийся составляющей технологической себестоимости, представляет собой сумму основной  $Z_{осн.}$  и дополнительной  $Z_{доп.}$  заработной платы. При выполнении операций согласно базового процесса размер ФЗП =  $3384 + 406 = 3790$  рублей. При выполнении операций согласно проектного технологического процесса размер ФЗП =  $1880 + 226 = 2106$  рублей.

Размер отчислений на социальные нужды  $O_{сн.}$  пропорционален размеру фонда заработной платы ФЗП, для рассматриваемых условий принимается значение коэффициента отчислений на социальные нужды  $K_{сн.} = 0,34$ , с учётом которого:

$$O_{сн.} = ФЗП \cdot K_{сн.} \quad (10)$$

Для базового варианта технологии ранее рассчитано значение ФЗП = 3790 рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды  $O_{сн.} = 3790 \cdot 34/100 = 1289$  рублей. Для проектного варианта

технологии ранее получено  $\PhiЗП = 1289$  рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды  $O_{сн.} = 2106 \cdot 34 / 100 = 716$  рублей.

Амортизационные отчисления  $A_{об}$  являются составляющими затрат на оборудование  $Z_{об}$  и рассчитываются с учётом нормы амортизации, которая принимается  $N_a = 21,5\%$ : эффективного фонда времени  $F_э$ , стоимости оборудования  $\Pi_{об}$ , которое для базового варианта составляет  $\Pi_{об} = 100000$  рублей, для проектного варианта  $\Pi_{об} = 400000$  рублей; машинного времени  $t_{маш}$ , которое для базового варианта составляет  $t_{маш} = 5$  часов, для проектного варианта  $t_{маш} = 3$  часов.

$$A_{об} = \frac{\Pi_{об} \cdot N_a \cdot t_{маш}}{F_э \cdot 100}. \quad (11)$$

«Для базового варианта технологии согласно (10)  $A_{об} = 100000 \cdot 21,5 \cdot 5 / 2054 / 100 = 52$  рублей. Для проектного варианта технологии согласно (10)  $A_{об} = 400000 \cdot 21,5 \cdot 3 / 2054 / 100 = 125$  рублей.

Ещё одной составляющей затрат на оборудование  $Z_{об}$  являются затраты на электрическую энергию  $P_{ээ}$ . Эти затраты рассчитываются с учётом цены электрической энергии  $\Pi_{ээ}$ , которая для рассматриваемого варианта принимается  $\Pi_{ээ} = 3,2$  руб/кВт·ч; коэффициента полезного действия КПД, машинного времени  $t_{маш}$  и установленной мощности оборудования  $M_{уст}$ .

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot \Pi_{ээ} / \text{КПД}. \quad (12)$$

Согласно (12) для базового варианта  $P_{ээ} = 5 \cdot 12 \cdot 3,2 / 0,7 = 274$  рублей. Согласно (12) для проектного варианта  $P_{ээ} = 3 \cdot 12 \cdot 3,2 / 0,85 = 226$  рублей.

Затраты на оборудование  $Z_{об}$  являются составляющей технологической себестоимости и определяются с учётом ранее рассчитанных  $A_{об}$  и  $P_{ээ}$ :

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ}. \quad (13)$$

С учётом ранее определенных значений, при подстановке в (13) для базового варианта технологии  $Z_{об} = 52 + 274 = 326$  рублей, для проектного варианта технологии  $Z_{об} = 125 + 226 = 351$  рублей» [27].

Технологическая себестоимость  $C_{\text{тех}}$  является суммой фонда заработной платы (в базовом варианте  $\PhiЗП = 3790$  рублей, в проектном варианте  $\PhiЗП = 2160$  рублей), затрат на материалы (в базовом варианте  $M = 160$  рублей, в проектном варианте  $M = 133$  рублей) отчислений на социальные нужды (в базовом варианте  $O_{\text{сс}} = 1289$  рублей, в проектном варианте  $O_{\text{сс}} = 716$  рублей), затрат на оборудование (в базовом варианте  $З_{\text{об}} = 326$  рублей, в проектном варианте  $З_{\text{об}} = 351$  рублей). Таким образом:

$$C_{\text{тех}} = M + \PhiЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{об}} . \quad (14)$$

По расчётам согласно (14) технологическая себестоимость для базового варианта  $C_{\text{тех}} = 160+3790+1289+326 = 5535$  рублей, для проектного варианта себестоимость составляет  $C_{\text{тех}} = 133 + 2106 + 716 + 351 = 3206$  рублей.

Расчёт цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  ведется с учётом основной заработной платы  $З_{\text{осн}}$  и коэффициента цеховых расходов  $K_{\text{цех}} = 1,5$ :

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + З_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}} . \quad (15)$$

По расчётам согласно (15) цеховая себестоимость для базового варианта технологии  $C_{\text{цех}} = 5535 + 1,5 \cdot 3384 = 5535 + 5076 = 10641$  рублей, для проектного варианта  $C_{\text{цех}} = 3206 + 1,5 \cdot 1880 = 3206 + 2820 = 6126$  рублей.

Расчёт заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  ведется с учётом основной заработной платы  $З_{\text{осн}}$  и коэффициента заводских расходов  $K_{\text{зав}} = 1,15$ :

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + З_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}} . \quad (16)$$

Согласно (16)  $C_{\text{зав}} = 10641+1,15 \cdot 3384 = 10641+3892 = 14533$  рублей для базовой технологии и  $C_{\text{зав}} = 6126+1,15 \cdot 1880 = 6126+2162 = 8288$  рублей для проектной технологии.

Рассчитанные выше составляющие заводской себестоимости сведены в таблицу 8, по которой может быть построена сравнительная диаграмма, представленная на рисунке 28.

Таблица 8 – Данные для расчёта заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы»	М	160	133
2. Фонд заработной платы	ФЗП	3790	2106
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	1289	716
4. Затраты на оборудование	Зоб	326	351
5. Технологическая себестоимость	С <sub>тех</sub>	5565	3206
6. Цеховые расходы	Р <sub>цех</sub>	5076	2820
7. Цеховая себестоимость	С <sub>цех</sub>	10641	6126
8. Заводские расходы	Р <sub>зав</sub>	3892	2162
9. Заводская себестоимость» [27]	С <sub>зав</sub>	14533	8288

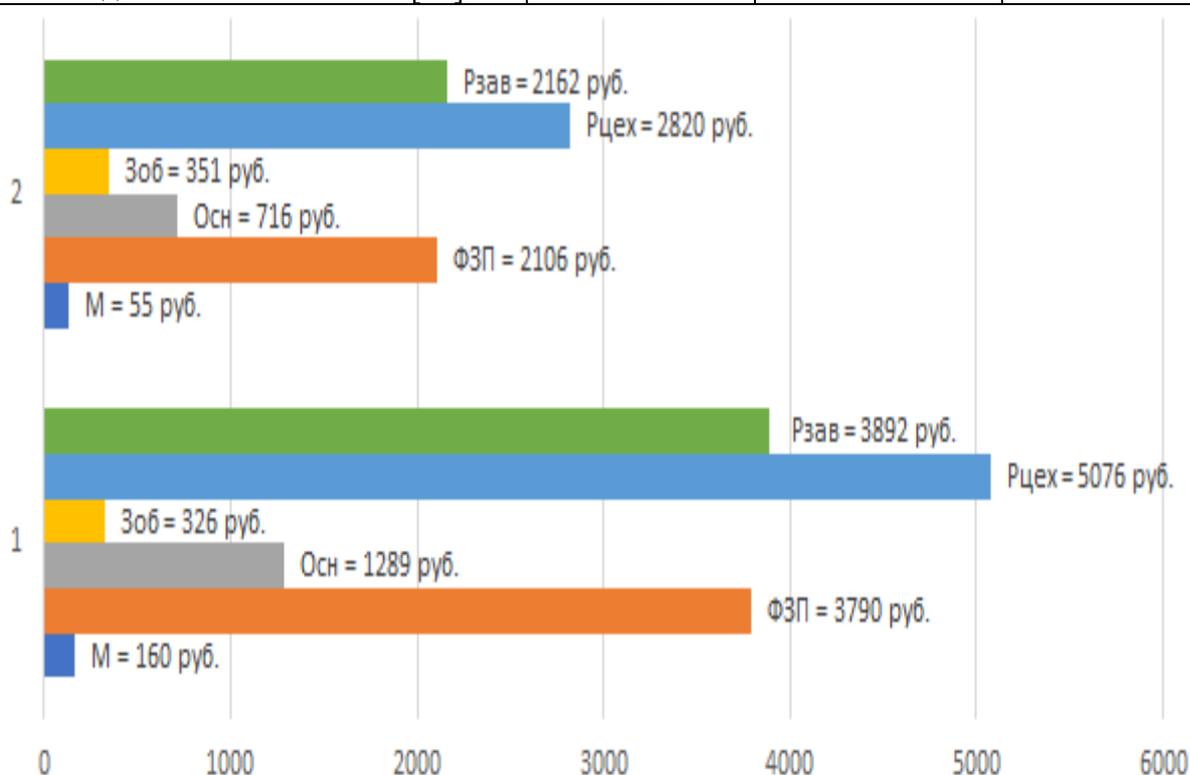


Рисунок 28 – Состав заводской себестоимости

На основании анализа структуры заводской себестоимости рассматриваемых вариантов технологии следует признать высокую эффективность предлагаемых решений. При этом в проектном варианте по сравнению с базовым отмечается существенное снижение затрат на материалы, фонд заработной платы и отчисления на социальные нужды. Несмотря на повышение производительности затраты на оборудование не уменьшились, так как выросла стоимость применяемого оборудования.

#### 4.5 Расчёт капитальных затрат

Остаточная себестоимость оборудования  $\Pi_{об.б.}$  определяется расчётным путем исходя из продолжительности эксплуатации, которая принимается  $T_c = 2$  года, и цены нового оборудования на рынке  $\Pi_{перв.}$ , которая принимается  $\Pi_{перв.} = 100000$  рублей. Расчеты ведем с учетом нормы амортизационных отчислений  $H_a = 21,5 \%$ . Таким образом, остаточная стоимость оборудования составляет:

$$\Pi_{об.б.} = \Pi_{перв.} - (\Pi_{перв.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (17)$$

Согласно (17)  $\Pi_{об.б.} = 100000 - (100000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 57000$  рублей.

Ранее для базового варианта был рассчитан коэффициент загрузки оборудования  $K_z = 0,4$ , с учётом которого для остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{об.б.} = 57000$  рублей общие капитальные затраты составят:

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 57000 \cdot 0,4 = 22800 \text{ рублей}. \quad (18)$$

«Для расчета размеров капитальных затрат  $K_{общ. пр.}$  по проектному варианту необходимо определить величину капитальных вложений в производственные площади  $K_{пл. пр.}$ , капитальных затрат на оборудование  $K_{об. пр.}$  и сопутствующих затрат  $K_{соп.}$ :

$$K_{общ. пр.} = K_{об. пр.} + K_{пл. пр.} + K_{соп.} \quad (19)$$

Согласно исходным данным для проектной технологии в настоящей выпускной квалификационной работе принимаем цену оборудования  $\Pi_{об. пр.} = 400000$  рублей, коэффициент транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз} = 1,05$  и коэффициент загрузки оборудования  $K_z = 0,2$ . Далее выполним расчёт капитальных затрат на оборудование  $K_{об. пр.}$ :

$$K_{об. пр.} = \Pi_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп.} \quad (20)$$

По результатам подстановки в (20) исходных данных размер капитальных затрат на оборудование при реализации проектной технологии составляет  $K_{об.пр} = 400000 \cdot 1,05 \cdot 0,2 = 84000$  рублей.

Сопутствующие капитальные затраты  $K_{соп}$  рассчитываются с учётом расходов на монтаж нового оборудования  $P_{мон}$  и расходов на демонтаж оборудования, которое ранее было использовано при реализации базовой технологии  $P_{дем}$ . Расчёты ведутся по формуле» [27]

$$K_{соп} = P_{дем} + P_{монт}. \quad (21)$$

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимаем коэффициент расходов на демонтаж оборудования  $K_{дем} = 0,05$ . С учётом ранее заданной цены оборудования  $C_{об.б} = 1000000$  рублей расходы на демонтаж  $P_{дем}$  составят:

$$P_{дем} = C_{об. б.} \cdot K_{д} = 100000 \cdot 0,05 = 5000 \text{ рублей}. \quad (22)$$

Величина расходов на монтаж оборудования оценивается по цене оборудования  $C_{об. пр.}$  с учётом значения коэффициента расходов на монтаж, который принимается  $K_{мон} = 0,05$ :

$$P_{монт} = C_{об. пр.} \cdot K_{м} = 400000 \cdot 0,05 = 20000 \text{ рублей}. \quad (23)$$

Расчётное значение сопутствующих расходов  $K_{соп}$  согласно (21) составляет  $K_{соп} = 20000 + 5000 = 25000$  рублей.

Расчётное значение капитальных затрат по проектной технологии  $K_{общ. пр.}$  согласно (19) составляет  $K_{общ. пр.} = 84000 + 25000 = 109000$  рублей.

На основании рассчитанных ранее капитальных затрат по проектной технологии  $K_{общ. пр.} = 109000$  рублей и капитальных затрат по базовой технологии  $K_{общ. б.} = 22800$  рублей рассчитываем дополнительные капитальные затраты  $K_{доп}$ :

$$K_{доп} = K_{общ пр} - K_{общ б} = 109000 - 22800 = 86200 \text{ рублей}. \quad (24)$$

Удельные капитальные вложения  $K_{уд}$  рассчитываются как отношение величины капитальных вложений  $K_{общ}$  к годовой программе  $\Pi_{Г}$  согласно формулы

$$K_{уд} = K_{общ} / \Pi_{Г} . \quad (25)$$

Согласно (25) базовый вариант предполагает удельные капитальные вложения  $K_{уд} = 22800/100 = 228$  руб./ед. Проектный вариант предполагает удельные капитальные вложения  $K_{уд} = 109000/100 = 1090$  руб./ед.

#### 4.6 Расчёт экономических показателей

Для обоснования эффективности предлагаемых в работе решений применяются объективные показатели, расчёт которых выполняется с использованием полученных ранее значений.

Первым объективным показателем является снижение трудоемкости  $\Delta t_{шт}$ , которое определяется исходя из штучного времени для проектного варианта  $t_{шт пр} = 5$  часов и штучного времени для базового варианта  $t_{шт б} = 9$  часов:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт б} - t_{шт пр}) \cdot 100 \% / t_{шт б} = (9-5) \cdot 100 \% / 9 = 44 \% . \quad (26)$$

Следующим объективным показателем эффективности проектной технологии является повышение производительности труда  $\Pi_{Г}$ , рассчитываемая как

$$\Pi_{Г} = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = (100 \cdot 44) / (100 - 44) = 78 \% . \quad (27)$$

Следующим объективным показателем является снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$ , которая рассчитывается для технологической себестоимости по базовой технологии  $C_{тех.б} = 5565$  рублей и себестоимости по проектной технологии  $C_{тех.пр.} = 3306$  рублей:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б.}} = (5565 - 3306) \cdot 100\% / 5565 = 40\% \quad (28)$$

Для расчёта условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$  применяются ранее определенное значение заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам  $C_{\text{зав.б.}} = 14533$  рублей и  $C_{\text{тех.пр.}} = 8288$  рублей. Расчёты ведутся по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б.}} - C_{\text{зав.пр.}}) \cdot \Pi_{\Gamma} = (14533 - 8288) \cdot 100 = 624500 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений  $T_{\text{ок}}$  рассчитывается для  $K_{\text{доп}} = 86200$  рублей и  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 624500$  рублей по формуле:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}} = 86200 / 624500 = 0,2 \text{ года.} \quad (30)$$

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимается значение коэффициента окупаемости затрат  $E_{\text{н}} = 0,33$ . С учётом дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}} = 86200$  рублей и условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 624500$  рублей рассчитываем годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} = 624500 - 0,33 \cdot 86200 = 596054 \text{ рублей.} \quad (31)$$

На основании проведенных экономических расчётов продемонстрировано, что применение предлагаемых решений в построении технологических процессов обеспечивает получение условно-годовой экономии в размере 0,624 миллиона рублей. При этом за счёт модернизации производства трудоемкость снижается на 44 %, производительности труда повышается на 78 %. Технологическая себестоимость снижается на 40 %. Годовой экономический эффект оценивается в 0,6 миллиона рублей, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

## Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности длительно эксплуатируемого сварочного оборудования за счёт применения современных достижений российских ученых-сварщиков в области импульсного управления дугой и каплепереносом.

Показано, что импульсное управление горением сварочной дуги и переносом электродного металла позволяет повысить стабильность переноса электродного металла и устранить разбрызгивание при сварке. Кроме того, существенно повышается пространственная стабильность дуги, что улучшает качество сварки в условиях проведения ремонта металлических конструкций, в которых сварные швы могут иметь различное пространственное положение и иметь траекторию, отличную от прямолинейной. Уменьшение испарения и разбрызгивания повышает эффективный КПД сварки и позволяет уменьшить затрат электрической энергии. Импульсный характер воздействия на сварочную ванну позволяет уменьшить пористость и получить наплавленный металл с меньшей зернистостью.

На основании анализа источников научно-технической информации предложен способ импульсного управления сварочной дугой, для реализации которого предложена схема модернизации сварочного выпрямителя ВДУ-504, эксплуатация которого происходит в течение длительного времени на предприятиях Российской Федерации. Исследовано влияние параметров импульсного управления на стабильность каплепереноса и возможность управлением сваркой в условиях возмущений.

Выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них. Также на основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Верёвкин А. А. Повышение эффективности сварки в CO<sub>2</sub> неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул: Томский политехнический университет. 2010.
2. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
3. Воропай Н. М., Илюшенко В. М., Мешенков В. А. Технологические возможности процессов импульсной двухдуговой сварки в защитных газах (обзор) // Автоматическая сварка. 2005. № 7. С. 44–48.
4. Карасев М. В., Работинский Д. Н. Черкасова Л. Г. Перспективы развития источников питания дуговой сварки для отечественного судостроения // Научно-технические ведомости СПбГТУ. Наука и образование. 2012. № 2. С. 144-150.
5. Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. и др. Искусственная формирующая линия в силовой части модулятора ИРС-1200АДМ // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 12. С. 28–30.
6. Князьков А. Ф., Крампит Н. Ю. Крампит А. Г. Процесс переноса электродного металла при сварке в углекислом газе длинной дугой // сварка в Сибири. 2006. № 1. С. 23-24.
7. Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Усовершенствование процесса сварки при модернизации оборудования // Ремонт, восстановление и модернизация оборудования. 2009. №9. С. 7-9.
8. Князьков А. Ф., Федько В. Т., Крампит Н. Ю. Искусственная формирующая линия в силовой части модулятора ИРС-1200АДМ // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 12. С. 28-30.

9. Крампит Н. Ю., Бурлакова Е. М., Крампит М. А. Краткий обзор управления процессом дуговой сварки в среде защитных газов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 11-18.

10. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 18-23.

11. Крампит Н. Ю., Крампит А. Г., Князьков С. А. Исследования влияния параметров импульсов на формирование шва при импульсном питании сварочной дуги // Автоматизация и современные технологии. 2004. № 2. С. 3-8.

12. Крампит Н. Ю., Крампит А. Г., Князьков С. А. Особенности импульсного управления процессом сварки в  $\text{CO}_2$  длинной дугой // Автоматизация и современные технологии. 2002. № 9. С. 12-15.

13. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Крампит М. А. Сварка с импульсным питанием в углекислом газе при работе системы с обратными связями // Вестник науки Сибири. 2011. № 1. С. 715-721.

14. Крампит А. Г., Князьков А. Ф., Крампит Н. Ю. Совершенствование процесса импульсно-дуговой сварки в  $\text{CO}_2$  в щелевую разделку // Сварочное производство. 2004. №1. С. 36–38.

15. Крампит Н. Ю., Крампит А. Г. Способ и устройство для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 2. С. 114-121.

16. Крампит А. Г. Формирование шва в щелевой разделке при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом в защитных газах. Диссертация на соискание уч. степени доктора технических наук. Ростов-на-Дону: Донской ГТУ, 2013.

17. Крюков А. В. Повышение эффективности механизированной сварки в углекислом газе за счёт применения импульсной подачи электродной

проволоки. Диссертация на соискание уч. степени кандидата технических наук. Барнаул: Алтайский ГУ им. И. И. Ползунова. 2008.

18. Лебедев В. А., Кузьмин С. А., Новгородский В. Г. Управление процессом механизированной сварки в углекислом газе с использованием параметров переноса электродного металла // Сварочное производство. 2002. № 5. С. 6-14.

19. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.

20. Мазур А. А., Маковецкая О. К., Пустовойт С. В. Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45-51.

21. Маковецкая О. К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных сварочных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54-61.

22. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.

23. Патон Б. Е., Римский С. Т., Галинич В. И. Применение защитных газов в сварочном производстве // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 17–24.

24. Патент № 2133660 РФ. Способ импульсно дуговой сварки / Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Петриков А.В.; Оpubл. 27.07.1999 г.

25. Патент № 2185941 РФ. Устройство для сварки / А.Ф. Князьков, С.А. Князьков, А.Г. Крампит, А.В. Веревкин; Оpubл. 27.07.2002 г.

26. Патент № 2190510 РФ. Устройство для сварки / Князьков А. Ф., Крампит Н. Ю., Петриков А. В.; Заявл. 14.12.2000; Оpubл. 10.10.2002, Бюл. № 7. 8 с.

27. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего :

монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.

28. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Ч. 1. Сварка в активных газах. – Київ: Екотехнологія, 2007. 192 с.

29. Сараев Ю. Н. Адаптивные импульсно-дуговые методы механизированной сварки при строительстве магистральных трубопроводов // Сварочное производство. 2002. № 1. С. 4-11.

30. Сараев Ю. Н. Поисковые исследования направлений повышения безопасности и живучести технических систем, эксплуатируемых в регионах Сибири и Крайнего Севера // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 11-19/

31. Сидоренко П. Ю., Рыжков Р. Н., Использование импульсных электромагнитных воздействий для управления процессом переноса электродного металла при дуговой сварке // Автоматическая сварка. 2010. № 6. С. 52-53.

32. Dixon K. Shielding gas selection for GMAW of steels // Welding and Metal Fabrication. 1999. № 5. P. 8–13.

33. Lucas W. Choosing a shielding gas. Pt 2 // Welding and Metal Fabrication. 1992. № 6. P. 269–276.

34. Yamamoto H., Okazaki K., Harata S. The effect of short circuiting current control on the spatter generation in CO<sub>2</sub> arc welding // Intern. Inst. of Welding : Doc. 212-649–86. 1986. P. 1–17.

35. Yamamoto, T., Ohji T., Miyasaka F., Tsuji Y. Mathematical modeling of metal active gas arc welding // Sci. and Technology of Welding & Joining. 2002. № 4. P. 260–264.

36. Wang, F., Hou W. K., Hu S. J. Modelling and analysis of metal transfer in gas metal arc welding // J. Phys. D: Applied Physics. 2003. vol. 36. P. 1–19.