

ОТЗЫВ

официального оппонента

**доктора технических наук Дмитриева Андрея Николаевича
на диссертацию Анахова Сергея Вадимовича**

**«Развитие научных принципов и методов проектирования плазмотронов
для повышения эффективности и безопасности электроплазменных
технологий», представленную на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности
05.02.10 - Сварка, родственные процессы и технологии**

Электроплазменные технологии, основанные на применении генераторов низкотемпературной плазмы – плазмотронов, – один из широко применяемых инструментов промышленного производства и научных исследований. Сферы современного внедрения плазмотронов – металлургия, металлообработка, плазмохимия, утилизация отходов и т.д. В свою очередь, разработка самих плазмотронов и технологий их применения требует знаний по широкому спектру направлений – в технологической, конструкторской, физической, материаловедческой, нормативной и других сферах деятельности. В основе такой конструкторской деятельности должны лежать как общие, зарекомендовавшие себя принципы и методы проектирования, так и новые разработки, за счет которых можно добиться новых показателей эффективности и безопасности электроплазменных технологий.

Широкий спектр применения электроплазменных технологий, а также большая конструктивная вариативность самих плазменных горелок делает задачу нахождения универсальных принципов и методов проектирования плазмотронов почти неразрешимой. В этой связи следует заметить, что наибольшее применение электроплазменные технологии нашли в промышленной разделке металлов (в том числе под сварку) и родственных областях: сварке, термообработке, напылении и т.д., в которых задача проектирования плазмотронов часто решается на основе ряда универсальных принципов и методов, а достигаемые цели также, как правило, однотипны – максимальная производительность, качество и безопасность. В этом смысле диссертационную работу Анахова Сергея Вадимовича «Развитие научных принципов и методов проектирования плазмотронов для повышения эффективности и безопасности электроплазменных технологий», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.10 - Сварка, родственные процессы и технологии, можно считать весьма масштабной, своевременной и отвечающей современным представлениям теории и практики конструирования плазменных устройств.

Далее будут более подробно рассмотрены основные оценочные показатели, рекомендуемые ВАК России при анализе диссертационной работы.

1. Актуальность выбранной темы

В диссертационной работе справедливо отмечено, что плазменные технологии могут сыграть значительную роль в реализации целого ряда государственных промышленных приоритетов, включая как направления НТИ (Национальной Технологической Инициативы), так и Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Особенно актуальными являются исследования в сфере плазменной разделки металла и металлолома, поскольку, несмотря на имеющийся значительный задел у российских и советских разработчиков подобных технологий, в настоящий момент по большинству позиций сравнительные параметры импортной продукции имеют предпочтительные показатели (по автоматизации, материалоемкости, энергоэффективности, качеству реза и т.д.). Следует также отметить отсутствие отечественных импортозамещающих плазменных технологий сопоставимого с лазерной разделкой качества резки металлов небольших толщин и отсутствие внимания при проектировании к актуальной проблеме безопасности плазменных процессов. Данная проблема обусловлена снижением интереса отечественных разработчиков плазменного оборудования к поиску новых принципов и методов конструкторской деятельности, отсутствием системного подхода и пренебрежением отдельными аспектами проектирования, в частности. В этой связи, диссертационное исследование Анахова С.В., направленное на развитие имеющихся и поиск эффективных решений в сфере проектирования плазменных технологий, является, несомненно, актуальным и важным с точки зрения интересов отечественной промышленности. Актуальность работы обоснована автором в процессе анализа технологических параметров большого числа отечественных и зарубежных плазмотронов, опыта теоретических исследований в сфере плазменных технологий и подтверждена большим количеством авторских проектов, поддержанных по различным программам грантового финансирования.

2. Краткое содержание диссертационного исследования

Автором был проведён системный анализ известных методик проектирования электроплазменных технологий, на базе которого была выявлена необходимость применения современных автоматизированных и экспериментальных методов конструирования плазменного оборудования, основанных на применяемых ранее и вновь разработанных принципах проектной деятельности. На этой основе сформулирована цель диссертационной работы, которая заключается в развитии принципов и методов проектирования электродуговых плазмотронов, повышающих эффективность их применения в электроплазменных технологиях по показателям функциональности, качества и безопасности.

Для реализации поставленной цели было предложено решить следующие, достаточно корректно сформулированные задачи, среди которых можно выделить следующие:

- Определение комплекса параметров, определяющих эффективность проектирования по показателям функциональности, качества и безопасности. Развитие на их основе системных принципов проектирования плазмотронов.

- Развитие на основе газодинамического анализа плазмотронов для резки металлов принципов и методов проектирования с целью повышения эффективности их работы.

- Разработка на основе экспериментальных исследований и анализа механизмов генерации акустического и оптического излучения в электроплазменных технологиях принципов и методов проектирования плазменного оборудования по критериям производственной безопасности.

- Конструирование на основе разработанных принципов и методов проектирования одно- и двухпоточных плазмотронов для прецизионной резки металлов.

- Анализ возможности применения разработанного плазморезательного оборудования для резки низколегированных сталей в технологиях производства сварных конструкций без дополнительной механической обработки кромки реза.

Анализ представленных в работе результатов свидетельствует о последовательном выполнении автором всех запланированных исследований в соответствии с целью и поставленными задачами. Изложение результатов в работе строится на логической схеме перехода от экспериментально-теоретического анализа к принятию конкретных проектных решений, их обоснованию и практической реализации в эффективно работающей технологии. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложений, изложена на 291 странице, содержит 156 рисунков, 52 таблицы. Библиографический список содержит 167 наименований.

Во введении дано краткое обоснование актуальности темы диссертации, определена его цель и задачи, сформулированы положения, определяющие научную новизну и практическую ценность диссертационной работы.

В первой главе проведен анализ современных принципов и методов проектирования и использования плазмотронов. Представлена классификация плазмотронов, учитывающая различные способы структурирования их модификаций и технологического применения с обобщением многочисленного материала (Быховского Д.Г., Жукова М.Ф., Васильева К.В., Донского А.В., Аньшакова А.С., В.С. Чередниченко, Дресвина С.В. и др.) и обосновано особое внимание к разделительной резке металлов. Отмечено отставание отечественного плазменного оборудования от лучших зарубежных образцов, а также отсутствие отечественных аналогов технологии «точной» или «сжатой» плазмы. В целях преодоления данных недостатков сформулированы системные принципы проектирования плазмотронов, обращено внимание на газодинамический фактор, определяющий функциональные параметры и

безопасность плазменных технологий, представлена и проиллюстрирована классификация методов проектирования электроплазменного оборудования. Определены и детализированы параметры функциональности, качества и безопасности применительно к технологии плазменной резки.

Вторая глава посвящена разработке принципов и методов проектирования металлорежущих плазмотронов по газодинамическим и теплофизическим критериям. При решении задачи газодинамического анализа влияния конструктивных особенностей газовоздушного тракта плазмотрона на эффективность и безопасность его работы определялись скорости, давление и потери динамического напора, характер течения газового потока путем расчета в программных средах MathCAD и SolidWorks с приложениями Flow Simulation и EFD.lab для базовых конструкций газовоздушных трактов (ГВТ) плазмотронов для резки ПМВР-М, ВПР-410, ПЗ-400ВА. По результатам анализа разработана методика и введены критерии оценки равномерности распределения скорости потока плазмообразующего газа (ПОГ) по каналам ГВТ плазмотрона, сформулированы основные методы и принципы газодинамического проектирования плазмотронов, которые конкретизированы применительно к отдельным участкам ГВТ. Проведён теплофизический анализ влияния температуры плазменной дуги на эффективность её газовихревой стабилизации, а также работу системы охлаждения плазмотронов. Предложены конструкции плазмотронов для резки: однопоточные – типа ПМВР-2М и -3М и двухпоточные узкоструйные типа ПМВР-5.

В третьей главе проведён анализ факторов производственной безопасности в электроплазменных технологиях. Справедливо отмечено, что проектирование плазмотронов необходимо вести с учетом фактора безопасности по критериям акустического и оптического излучения с применением разработанной методики расчета газодинамических параметров потока ПОГ. На основе экспериментального исследования акустического и оптического излучения большого числа металлорежущих плазмотронов (ПМВР-М, ВПР-410, ПЗ-400ВА, РПВ-401 ПВР-402У4 и Kjellberg PB S-45W) выявлены сверхнормативные особенности излучения, определены его источники и факторы, выявлено технологическое и конструктивное влияние на особенности звуковой и оптической генерации. Предложены физические модели и методы расчета интегральных и спектральных параметров излучения, связанных с различными механизмами его генерации.

Четвертая глава посвящена разработке принципов и методов проектирования плазменного оборудования по критериям производственной безопасности. На основании выводов, сформулированных в главе 3, предложены принципы и методы акустического («безопасного») проектирования плазмотронов для резки и сварки, основанные на профилировании отдельных участков ГВТ. С применением этих методов предложены и рассчитаны конкретные конфигурации различных элементов конструкций плазмотронов, показаны их преимущества и недостатки с акустической и технологической точек зрения.

В пятой главе представлена диагностика электроплазменных технологий и процессов по критериям эффективности, качества и безопасности, позволяющая произвести оценку достигнутых в ходе проектирования результатов. Представлены результаты сравнительного теоретического анализа эффективности проектирования по газодинамическим критериям, экспериментального исследования качества реза по параметрам газосодержания и микроструктуры в приповерхностной области реза, а также регламентируемым по ГОСТ 14792-80 характеристикам разделочного шва. Отдельно рассмотрен вопрос применимости новых металлорежущих плазмотронов в технологии «чистовой» резки под сварку. Помимо качественных результатов представлены и количественные сравнения отдельных параметров качества реза и эксплуатационных свойств полученных после плазменной и механической резки сварных соединений. Для интегрального сравнения разработан метод квалиметрического анализа, позволивший сделать вывод об эффективности проектирования и работы новых плазмотронов, а также их применимости для производства сварных конструкций без дополнительной механической обработки для конструкционных сталей средних толщин.

Анализ рассмотренных в работе вопросов позволяет сделать вывод, что диссертация Анахова С.В. представляет собой целенаправленное, развернутое исследование, способствующее развитию как теоретических оснований проектной деятельности в сфере электроплазменных технологий, так и практическому применению достигнутых в ходе исследования результатов для повышения их эффективности и безопасности.

3. Научная новизна и теоретическая значимость работы

Диссертационная работа Анахова С.В. обладает новизной и представляет собой самостоятельное и полноценное по своей научной и теоретической значимости исследование. Автором впервые обосновано системное влияние газодинамических особенностей течения плазмообразующего газа (ПОГ) на эффективность, качество и безопасность работы плазмотрона и разработана методика оценки эффективности систем газовихревой стабилизации плазменной дуги, опирающаяся на определение критерия равномерности распределения потока ПОГ по сечению каналов ГВТ. Кроме этого предложены принципы и методика автоматизированного проектирования ГВТ плазмотронов по газодинамическим критериям, найдены эффективные конструктивные решения для новых газовихревых систем с комплексом газодинамических фильтров (ГДФ), выявлено влияние температуры плазменной дуги на равномерность распределения потока ПОГ.

Особое внимание следует обратить на обоснованную необходимость при проектировании плазменного оборудования учитывать принцип безопасности, на основе которого объяснена существенная зависимость процессов акустической генерации от конструктивных и технологических параметров

плазмотронов и электроплазменных технологий, предложены теоретические модели резонансной генерации тонального шума и модель генерации шума двухструйными плазмотронами.

Впервые показано, что разработка двухпоточных плазмотронов, работающих по технологии узкоструйной плазмы, является эффективным и универсальным проектным решением в технологиях резки металлов не только по показателям качества, но также эффективности и безопасности процесса.

К новым теоретически значимым результатам следует отнести и установление комплекса параметров, определяющих эффективность проектирования по критериям функциональности, качества и безопасности, а также предложенный метод квалитетического анализа для оценки эффективности проектирования.

4. Практическая значимость и рекомендации по использованию

Практическая ценность заключается в разработке методов и принципов проектирования плазмотронов по газодинамическим, теплофизическим и акустическим критериям, а также методики оценки газодинамических параметров, позволяющей выявить конструктивные недостатки в ГВТ плазмотронов и повысить эффективность течения ПОГ при их проектировании.

С применением разработанной методики разработаны, изготовлены и испытаны импортозамещающие конструкции одно- и двухпоточных плазмотронов с высокими показателями эффективности и безопасности работы. Особое внимание следует обратить на разработку не имеющих отечественных аналогов моделей плазмотрона для прецизионной («точной») плазменной резки металлов малых и средних толщин, работающего по технологии узкоструйной плазмы. Новизна конструкций плазмотронов защищена авторскими свидетельствами и патентами, практическая значимость подтверждена актами внедрения.

В диссертации показана возможность подготовки заготовок под сварку без предварительного механического удаления слоя металла кромки реза за счет применения ряда модернизированных отечественных плазмотронов (включая созданные в рамках данной работы). Данное исследование является одним из фундаментов для перспективного развития полученных в работе результатов и, как справедливо отмечается в диссертации, может заключаться в совершенствовании технологии узкоструйной плазмы, а также в полноценном обосновании и регламентировании применимости чистовой резки металлов под сварку современными отечественными и импортными плазмотронами.

5. Степень достоверности и конкретное участие автора в получении результатов

Степень достоверности полученных в работе результатов подтверждается большим объемом экспериментального материала, полученного и

обработанного с применением современных методов исследований. Положения и выводы по работе не противоречат известным научным представлениям и результатам. Достоверность результатов подтверждается также внедрением разработанной методики проектирования плазмотронов в ООО НПО «Полигон» для модернизации однопоточных плазмотронов серии ПМВР-М и производства двухпоточных плазмотронов серии ПМВР-5, а также внедрением плазмотронов ПМВР-2М в технологии производства трубного проката на Волжском заводе металлоконструкций и Синарском трубном заводе (г. Полевской).

Личный вклад диссертанта в представленной работе очевиден и сомнения не вызывает. Автором непосредственно сформулированы принципы и методы проектирования и на их основе разработана методика автоматизированного проектирования по газодинамическим, теплофизическим и акустическим критериям, при непосредственном участии автора спроектированы патентозащищенные конструкции плазмотронов, проведены экспериментальные исследования параметров эффективности и безопасности, предложен метод квалитетического анализа для плазменных технологий. Анаховым С.В. выносятся на защиту логически завершенное описание собственных теоретических исследований и обобщенные результаты экспериментальных работ, выполненных в рамках рассматриваемой проблемы.

6. Полнота изложения материалов в печати

Автореферат диссертации полноценно раскрывает ее содержание, публикации полностью соответствуют выбранной теме исследования и отражают направленность научных интересов автора и основное содержание работы. Положения и выводы диссертации прошли апробацию на международных и российских конференциях, опубликовано 44 основных работ, в том числе 3 монографии, 35 статей в журналах списка ВАК, включая 15 в журналах списка Scopus и WoS, получено 2 патента и 1 свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ.

7. Оценка содержания диссертации, замечания

Представленные в диссертации материалы изложены грамотным научным языком, логично и последовательно, с обоснованием полученных выводов и результатов. Тем не менее, в работе есть отдельные неясные моменты и недостатки. В качестве таких замечаний и уточняющих вопросов можно привести следующие.

1. Номенклатура исследуемых плазмотронов по различным направлениям исследования (газодинамике, акустике, газонасыщению, качеству реза и т.д.) не всегда идентична. Можно ли в этом случае делать универсальные выводы по всему классу плазмотронов для соответствующей технологии?

2. Оценки эффективности газодинамической стабилизации сделаны применительно к воздушному потоку потока плазмообразующего газа. Не повлияет ли на эффективность стабилизации применение других сред в качестве потока плазмообразующего газа?

3. В работе представлены конструктивные методы снижения уровней акустического и оптического излучения. Можно ли добиться подобных результатов за счет оптимизации режимов электроплазменных технологий?

4. В работе представлен анализ газонасыщения приповерхностной области при различных видах разделки металлов, однако практических рекомендаций на основании данного исследования не сделано.

5. В автореферате представлен достаточно широкий перечень мероприятий по апробации результатов диссертационной работы, однако зарубежные конференции ограничены лишь Украиной.

6. В работе недостаточно внимания уделено вопросам адаптации и проверки адекватности используемых математических моделей, программных сред, аналитических расчетов.

7. Промышленное применение плазмотронов далеко не ограничивается резкой металлов. В литературном обзоре следовало бы более широко показать место анализируемого в диссертационной работе использования плазмотронов в ряду других возможностей практического использования, например, в черной и цветной металлургии.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы и носят в большей степени дискуссионный характер.

8. Научный уровень диссертации

В представленной работе диссертант демонстрирует широкий научно-технический кругозор и глубокие знания в физике процессов (газодинамике, теплофизике, акустике, электрофизике и т.д.), конструкторской деятельности, технологии, материаловедении и т.д., использует современные, в том числе цифровые, методы теоретического и экспериментального анализа, демонстрирует самостоятельность суждений и умозаключений. Оценивая работу, в целом, оппонент считает, что диссертационная работа Анахова С.В. является целостной, завершенной и комплексной квалификационной работой, в которой получены новые и важные научные и практические результаты, имеющие существенное значение для широкого круга промышленных отраслей.

9. Соответствие специальности и требованиям «Положения ВАК РФ»


По результатам оценки проведенного Анаховым С.В. исследования, можно сделать вывод, что оно полностью соответствует паспорту специализации 05.02.10 - Сварка, родственные процессы и технологии, так как направлено на повышение эффективности и безопасности плазменных процессов и

технологий применительно к их использованию при подготовке заготовок для последующей сварки, включая и т.н. «чистовую» плазменную резку металлов под сварку.

Рецензируемая диссертация «Развитие научных принципов и методов проектирования плазмотронов для повышения эффективности и безопасности электроплазменных технологий» соответствует требованиям П.П.9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Анахов Сергей Вадимович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.10 - Сварка, родственные процессы и технологии.

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник
лаборатории пирометаллургии черных металлов
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт металлургии
Уральского отделения РАН
доктор технических наук



Дмитриев Андрей Николаевич

Россия, 620016 г. Екатеринбург,
ул. Амундсена, д. 101.
Телефон: 8 (343) 267-89-08
+79126273118
E-mail: andrey.dmitriev@mail.ru
15.05.2019

Подпись А.Н. Дмитриева удостоверяю
и.о. ученого секретаря ФГБУН Инсти
Уральского отделения РАН, к.х.н.

ии



Е.М. Жилина