

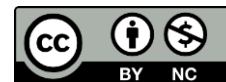
ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ВВОД
В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
DESIGN, MANUFACTURE AND COMMISSIONING
COMMISSIONING OF EQUIPMENT
NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

<https://doi.org/10.26583/gns-2026-02-04>

УДК 621.791

EDN ENJUNС

Оригинальная статья / Original paper




Исследование высокочастотного воздействия на свойства сварочной дуги

Е.С. Бурдаков¹ , С.М. Бурдаков²  , Н.Н. Подрезов² , Ю.В. Заяров² 

¹Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, г. Волгодонск, Ростовская обл.,
Российская Федерация

² Волгодонский инженерно-технический институт – филиал национального исследовательского ядерного
университета «МИФИ», г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация

 [SMBurdakov@mephi.ru](mailto: SMBurdakov@mephi.ru)






Аннотация. В статье представлены данные исследований дугового разряда при комбинированном питании сварочного контура от основного источника постоянного тока и в режиме с параллельно подключенным к нему дополнительным генератором. С помощью генератора происходит формирование вспомогательной квазигармонической компоненты питания частотой $f_{к1} = 40000,0$ Гц при заданных режимах сварочного процесса покрытыми электродами. Сфера практического применения данного способа питания – атомно-энергетическое машиностроение, где он востребован для обеспечения качества сварных соединений стальных конструкций и изделий на всех этапах: от изготовления до монтажа и ремонта. Качество и прочность сварных швов, а также производительность при изготовлении изделий в машиностроении, в значительной мере определяются правильным выбором режимов сварки и свойствами дугового разряда как ключевого элемента сварочного контура. Исследование свойств дугового разряда представляет собой важную задачу особенно при ручной дуговой сварке в условиях монтажа и сборки. Оценка свойств сварочной дуги в исследовании осуществлялась по заданному набору критериев и их значений, полученных осциллограмм сварочного тока и напряжения, таких как: статистические параметры в виде коэффициентов вариации сварочного тока, напряжения, мощности. Параметров, связанных с короткими замыканиями: частота, их длительность, постоянная времени дуги. Также были учтены параметры, характеризующие динамику сигналов: амплитуда колебаний тока и напряжения, скорость изменения тока и напряжения. Проведенный анализ выявил улучшение свойств сварочной дуги и уменьшение инерции изменения ее электросопротивления в заданных режимах при комбинированном питании сварочного контура.

Ключевые слова: свойства дугового разряда, комбинированное питание, сварочный контур, атомно-энергетическое машиностроение, строительство, ручная дуговая сварка, сварочный контур, критерии, частота переноса, осциллограммы сварочного тока и напряжения

Для цитирования: Бурдаков Е.С., Бурдаков С.М., Подрезов Н.Н., Заяров Ю.В. Исследование высокочастотного воздействия на свойства сварочной дуги. *Глобальная ядерная безопасность*. 2026;16(2):41-48. <https://doi.org/10.26583/gns-2026-02-04>


For citation: Burdakov E.S., Burdakov S.M., Podrezov N.N., Zayarov Yu.V. Study of high frequency impact on welding arc properties. *Nuclear Safety*. 2026;16(2):41-48. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2026-02-04>

Study of high frequency impact on welding arc properties

**Evgenij S. Burdakov¹ , Sergey M. Burdakov²  , Nikolaj N. Podrezov² ,
Yuriy V. Zayarov² **

¹«Атоммаш» the branch of «АЭМ-technologies» JSC in Volgodonsk, Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation

² Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation

 [SMBurdakov@mephi.ru](mailto: SMBurdakov@mephi.ru)

Abstract. The article presents the data of arc discharge studies with combined power supply of the welding circuit from the main DC source and in the mode with an additional generator connected to it in parallel. The generator is used to form an auxiliary quasi-harmonic power supply component with frequency $f_{k1} = 40000.0$ Hz under given welding process conditions with coated electrodes. The scope of practical application of this method of feeding is nuclear power engineering, where it is in demand to ensure the quality of welded joints of steel structures and products at all stages: from manufacture to installation and repair. The quality and strength of welds, as well as the productivity in the manufacture of products in mechanical engineering, are largely determined by the correct choice of welding modes and the properties of arc discharge as a key element of the welding circuit. The study of arc discharge properties is an important task especially for manual arc welding under installation and assembly conditions. The properties of the welding arc in the study were evaluated according to a given set of criteria and their values, obtained oscillograms of the welding current and voltage, such as: statistical parameters in the form of coefficients of variation of the welding current, voltage, power. Parameters related to short circuits: frequency, their duration, arc time constant. Parameters characterizing the dynamics of signals were also taken into account: the amplitude of current and voltage fluctuations, the rate of change in current and voltage. The analysis revealed an improvement in the properties of the welding arc and a decrease in the inertia of changing its electrical resistance in given modes with combined power supply of the welding circuit.

Keywords: arc discharge properties, combined power supply, welding circuit, nuclear power engineering, construction, manual arc welding, welding circuit, criteria, transfer frequency, welding current and voltage oscillograms

Введение

Интенсификация темпов производства и модернизации в машиностроительном комплексе Российской Федерации, особенно в сегменте тяжелого атомно-энергетического и тепломеханического оборудования, выдвигает на первый план вопросы гарантированной долговечности и надежности сварных соединений. В контексте ремонта и монтажа оборудования, атомных и тепловых станций (паровых котлов, турбоагрегатов, систем магистральных трубопроводов высокого давления) ручная дуговая сварка покрытыми электродами сохраняет статус критически важной, а зачастую и безальтернативной технологии. Ее применение в сборочно-монтажных условиях, непосредственно на объекте, и цеховых условиях для наплавки изношенных элементов роторов, заварки трещин в корпусах аппаратов, трубопроводов, монтажа камер сгорания и пароперегревателей сопряжено с повышенными рисками, обусловленными сложной пространственной компоновкой, ограниченным доступом к зоне сварного соединения.

В этих условиях свойства сварочной дуги становятся определяющим фактором, непосредственно формирующим служебные характеристики сварного соединения. Нестабильное горение дуги приводит к ряду взаимосвязанных дефектообразующих факторов: нарушение теплового цикла сварки, металлургических процессов. Кроме того, хаотич-

ные короткие замыкания и крупнокапельный перенос, характерные для нестабильной дуги, увеличивают разбрызгивание и способствуют неравномерности проплава. При ремонте тонкостенных труб поверхностных нагревателей или выполнении корневых проходов многослойных швов это напрямую ведет к необходимости трудоемкой зачистки и повышенному риску непроваров, недопустимых в герметичных системах, работающих под давлением в сотни атмосфер [1].

Таким образом, целенаправленное исследование свойств дуги и разработка методов их повышения, это системное решение для улучшения в конечном итоге ресурса сварных соединений в ответственных узлах энергооборудования [2]. Перспективным направлением, напрямую вытекающим из этих исследований, является внедрение систем питания нового поколения с расширенным функционалом микроэлектронной базы. Такие источники способны не только компенсировать колебания длины дуги, но и динамически стабилизировать тепловложение, перенос металла при формировании сварного шва [3,4].

Методы исследования

Основной целью представленной работы является определение воздействия накладываемого вспомогательного напряжения $U_{QPS40} = 80,0$ В, частотой $f_{QPS40} = 40000,0$ Гц на свойства дуги постоянного тока, их оцен-

ка в разных режимах сварочного процесса на основе ее определенных критериев.

Выполнена оценка при питании сварочного контура от источника постоянного тока ВДУ-504 и в режиме с параллельно подключенным к нему дополнительным генератором.

Применяемый в составе цифровой системы для измерения электрических параметров исследуемого контура генератор, формирует специальный высокочастотный квазигармонический сигнал QPS40 по напряжению, переменной частоты для подачи на сварочную дугу [5]. Эксперименты проводились по методике, представленной в литературных источниках [5,6], в нижнем положении сварочной ванны на пластине из стали (Ст3) толщиной $\delta = 10$ мм, в режимах 100, 120, 140 А, с QPS40 и без, электроды марки УОНИИ 13/45, $\varnothing 3$ мм.

Результаты проведенных исследований

Свойства сварочной дуги оценивались на основе обработки осциллограмм сварочного тока и напряжения. Для количественной оценки использовался следующий набор критериев и их значений, описанных далее. Коэффициенты вариации: $KV(I_{св.i})$ – сварочного тока, $KV(U_{д.i})$ – напряжения [7], $KV(P_i)$ – мощности. Так же использованы параметры, связанные с короткими замыканиями: $f_{к.з.}$ – частота коротких замыканий, их $\tau_{к.з.}$ – длительность, $\theta_{дт}$ – постоянная времени. Были учтены параметры, характеризующие динамику и форму сигналов: амплитуда колебаний тока и напряжения (ΔI , ΔU), которые определялись как размах между минимальным и максимальным значением. Использовали такие параметры как скорость изменения тока и напряжения соответственно, $dI(t) = dI_{св.i}/dt$, $dU(t) = dU_{д.i}/dt$. Резкие скачки зависимости могут указывать на резкий, взрывной характер переноса металла, вызывая его повышенное разбрызгивание.

Функция $dI(t)$ обуславливает способность источника питания изменять ток в сварочном контуре. Она определяется индуктивностью сварочного контура, напряжением холостого хода и быстродействием силовой электроники источника. Функция $dI(t)$ влияет значительно на время отрыва

капли и формирование пинч-эффекта, определяет скорость нарастания тока при коротком замыкании.

Зависимость $dU(t)$ играет большую роль в быстродействии системы регулирования при изменении длины дуги. Она характеризует способность источника восстанавливать напряжение после короткого замыкания и может быть использована для оценки состояния стабилизации длины дуги при возмущениях, а так же вероятности обрывов дуги.

Постоянная времени дуги $\theta_{дт}$ – это время, за которое степень ионизации плазмы и, соответственно, проводимость столба дуги изменяются при скачкообразном изменении тока. Другими словами: $\theta_{дт}$ является мерой инерционности плазмы. Она зависит от сварочного тока и скорости его изменения, степени турбулентности плазмы, типа источника питания и динамики сварочного контура [8,9].

Для расчета значений выбранных критериев устойчивости дуги были обработаны осциллограммы сварочного тока и напряжения с использованием РТС©Mathcad. Исходя из этого, формировались зависимости мощности дугового разряда, скоростей изменения сварочного тока и напряжения от времени проведения их замера, что показано на рисунке 1.

В стандартном режиме $I_{св.i} = 100,0$ А, были рассчитаны заявленные критерии устойчивости:

$$\begin{aligned}KV(I_{св.i}) &= 18,823 \% \\KV(U_{д.i}) &= 15,254 \% \\KV(P_i) &= 14,288 \% \\f_{к.з.} &= 2 \text{ Гц} \\ \tau_{к.з.} &= 0,022 \text{ с} \\ \Delta U &= 24,762 \text{ В} \\ \Delta I &= 163,529 \text{ А} \\ \theta_{дт} &= 5,0 \times 10^{-2} \text{ с} \\ dI(t) &= 8,564 \times 10^3 \text{ А/с} \\ dU(t) &= 1,512 \times 10^3 \text{ В/с}.\end{aligned}$$

В режиме 100 А с использованием QPS:

$$\begin{aligned}KV(I_{св.i}) &= 21,782 \% \\KV(U_{д.i}) &= 14,23 \% \\KV(P_i) &= 15,543 \% \\f_{к.з.} &= 4 \text{ Гц} \\ \tau_{к.з.} &= 0,018 \text{ с} \\ \Delta U &= 17,905 \text{ В}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta I &= 147,5 \text{ A;} \\ \theta_{Дт} &= 2,334 \times 10^{-3} \text{ с;} \\ dI_3(t) &= 1,475 \times 10^5 \text{ A/с;} \\ dU_3(t) &= 4,209 \times 10^4 \text{ В/с.}\end{aligned}$$

В стандартном режиме $I_{св.и} = 120 \text{ A}$:

$$\begin{aligned}KV(I_{св.и}) &= 15,408 \text{ %;} \\ KV(U_{д.и}) &= 15,187 \text{ %;} \\ KV(P_i) &= 11,684 \text{ %;} \\ f_{к.з.} &= 2,4 \text{ Гц;} \\ \tau_{к.з.} &= 0,025 \text{ с;} \\ \Delta U &= 24,8193 \text{ В;} \\ \Delta I &= 148,815 \text{ A;} \\ \theta_{Дт} &= 2,8 \times 10^{-2} \text{ с;} \\ dI_3(t) &= 6,888 \times 10^3 \text{ A/с;} \\ dU_3(t) &= 1,326 \times 10^3 \text{ В/с.}\end{aligned}$$

При 120 А (QPC):

$$\begin{aligned}KV(I_{св.и}) &= 18,233 \text{ %;} \\ KV(U_{д.и}) &= 13,628 \text{ %;} \\ KV(P_i) &= 11,366 \text{ %;} \\ f_{к.з.} &= 4,286 \text{ Гц;} \\ \tau_{к.з.} &= 0,022 \text{ с;} \\ \Delta U &= 19,629 \text{ В;} \\ \Delta I &= 126,67 \text{ A;} \\ \theta_{Дт} &= 1,037 \times 10^{-3} \text{ с;}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}dI_3(t) &= 1,649 \times 10^5 \text{ A/с;} \\ dU_3(t) &= 3,711 \times 10^4 \text{ В/с.}\end{aligned}$$

В стандартном режиме 140А:

$$\begin{aligned}KV(I_{св.и}) &= 12,723 \text{ %;} \\ KV(U_{д.и}) &= 14,211 \text{ %;} \\ KV(P_{д.осц}) &= 9,2 \text{ %;} \\ f_{к.з.} &= 4 \text{ Гц;} \\ \tau_{к.з.} &= 0,022 \text{ с;} \\ \Delta U &= 19,021 \text{ В;} \\ \Delta I &= 98,93 \text{ A;} \\ \theta_{Дт} &= 2,3 \times 10^{-2} \text{ с;} \\ dI_3(t) &= 4,422 \times 10^3 \text{ A/с;} \\ dU_3(t) &= 9,19 \times 10^2 \text{ В/с.}\end{aligned}$$

При 140 А (QPC):

$$\begin{aligned}KV(I_{св.и}) &= 15,672 \text{ %;} \\ KV(U_{д.и}) &= 13,567 \text{ %;} \\ KV(P_i) &= 9,95 \text{ %;} \\ f_{к.з.} &= 4,571 \text{ Гц;} \\ \tau_{к.з.} &= 0,018 \text{ с;} \\ \Delta U &= 19,629 \text{ В;} \\ \Delta I &= 97,85 \text{ A;} \\ \theta_{Дт} &= 8,102 \times 10^{-3} \text{ с;} \\ dI_3(t) &= 1,086 \times 10^5 \text{ A/с;} \\ dU_3(t) &= 3,564 \times 10^4 \text{ В/с.}\end{aligned}$$

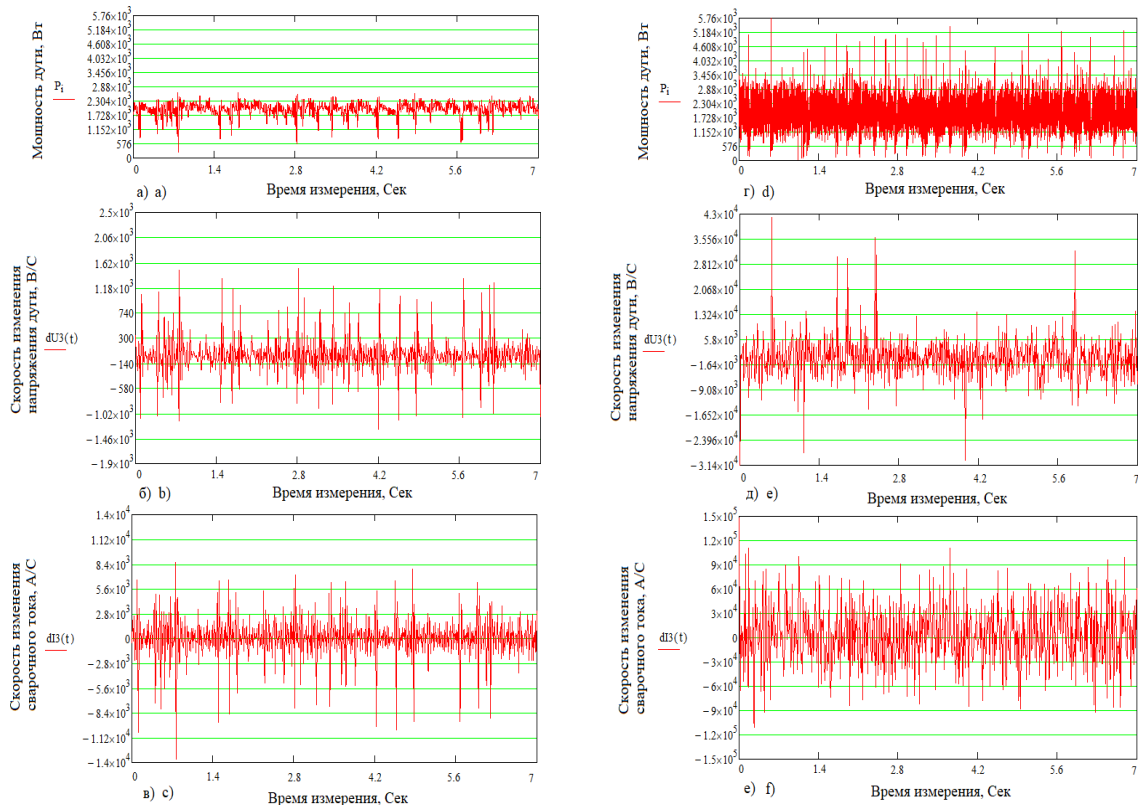


Рисунок 1. Зависимости мощности дугового разряда от времени протекания сварки: а, б, в – стандартный режим 100А; г, д, е – режим 100А с QPC40.

Figure 1. Dependence of arc discharge power on welding time: a, b, c – standard 100A mode; d, e, f – 100A mode with QPC40

Заключение

Стандартные режимы соответствуют классическому крупнокапельному переносу, реализуемому на источниках с естественной внешней характеристикой. Крупная капля металла формируется, примерно 0,5 сек, затем замыкает ванну, на 0,022 сек, отрывается. Перенос имеет инерционный характер. Исходя из анализа $KV(I_{св.и})$, $KV(U_{д.и})$ эти режимы характеризуются умеренной стабильностью тока, пониженной стабильностью напряжения. Повышенная амплитуда тока короткого замыкания и напряжения на дуге увеличивает риск разбрызгивания металла. В этих режимах, исходя из величин $dI_3(t)$, $dU_3(t)$ доминирует инерционная стабилизация тока и напряжения. Низкие скорости изменения параметров обеспечивают малую чувствительность к высокочастотным возмущениям и высокое постоянство средних значений $KV(I_{св.и})$, однако ограничивают частоту переноса и обуславливают крупнокапельный характер переноса с повышенным разбрызгиванием. Зафиксированы пониженные значения θ_d , что соответствует высокой инерционности плазменного столба. Физический смысл здесь раскрывается через сопоставление θ_d с длительностью коротких замыканий. Здесь θ_d больше $\tau_{к.з.}$, следовательно, ионизационное состояние плазмы за время существования жидкой перемычки не успевает подстроиться под изменяющиеся электрические параметры. Дуга реагирует на короткое замыкание с запозданием, процесс переноса металла носит инерционный, квазистатический характер.

В сварочных режимах с использованием QPS40 демонстрируются признаки увеличенного переноса металла. Несмотря на несколько более высокий коэффициент вариации тока, данный режим обеспечивает лучшее качество формирования шва [10], минимальное разбрызгивание и технологические возможности сварки благодаря высокой частоте и малой длительности коротких замыканий. Можно сказать в данном случае реализуется динамическая стабилизация тока и напряжения сварочной дуги на основе форсированного пинч-эффекта с активным отрывом капли. Высокие скорости изменения тока и напряжения позволяют в два раза

увеличить частоту коротких замыканий, сократить их длительность и снизить амплитуду тока при одновременном улучшении стабильности напряжения. Таким образом, с позиций технологичности эти режимы предпочтительны, особенно при изготовлении ответственных изделий.

Коэффициент вариации мощности $KV(P_i)$ показывает практически равную стабильность тепловложения в среднем. Однако пиковые показатели мощности выделяемой в сварочной дуге на стандартном режиме 100А: $P_{св.100А} = 2,633 \cdot 10^3$ Вт и режиме 100 А с использованием QPS40 $P_{св.100А(QPS)} = 5,184 \cdot 10^3$ Вт. При этом разность значений максимальных импульсных мощностей по базовой и предлагаемой технологии составляет: $\Delta_{св.реж.} = 2,551 \cdot 10^3$ Вт. При этом исследованные режимы принципиально различаются по динамике ввода этой мощности. Ввод энергии QPS40 в сварочную ванну происходит в виде ультразвуковых колебаний от генератора с вводимой в сварочную ванну энергией 7226 Дж.

В режимах с использованием QPS40 в дугу вводится мощность с частотой переноса металла в 2 раза выше, чем в стандартных режимах и более мелкими порциями. Под воздействием электромагнитного воздействия QPS40 происходит двукратное измельчение структуры кристаллизующегося металла, что свидетельствует о его влиянии на технологические свойства дуги. В данном случае QPS40 способствует возникновению кавитационного режима в ограниченном поверхностном слое заданной толщины жидкой фазы металла сварочной ванны. Происходит надлом растущих кристаллов при колебаниях жидкой фазы за счет сил трения, возникающих между движущейся жидкой фазой и растущим кристаллом, в ограниченной на уровне среднего диаметра зерна кристалла зоне. В месте надлома кристалла образуются новые зоны переохлажденного металла, что ведет к появлению новых центров кристаллизации, что ведет к образованию мелкозернистой структуры сварного шва. Такое сварное соединение характеризуется более высокими показателями ударной вязкости [10].

Исследования подтвердили, что ни один параметр в отдельности не является достаточным критерием для оценки свойств дугового разряда. Только системное рассмотрение всего комплекса: коэффициентов вариации $KV(I_{св.i})$, $KV(U_{д.i})$, $KV(P_i)$, характеристик: $f_{к.з.}$, $\tau_{к.з.}$, ΔI , ΔU , динамических показателей: $dI_3(t)$, $dU_3(t)$ и, в особенности $\theta_{д.}$, как параметра инерционности плазмы, с учетом физической модели дугового разряда, позволяет корректно классифицировать режим, прогнозировать структуру сварного соединения и обоснованно выбирать оборудование под конкретную производственную задачу.

Полученные результаты с модифицированными режимами демонстрируют, что постоянная времени и скорость изменения тока и напряжения являются не просто улучшенными числовыми показателями, а маркерами перехода на принципиально иной техно-

логический уровень. Оборудование, способное реализовать такие режимы, обеспечивает не количественное, а качественное преимущество: оно превращает ручную дуговую сварку из искусства, основанного на многолетнем опыте, в воспроизводимый, контролируемый, сертифицируемый технологический процесс с предсказуемыми металлургическими и механическими результатами.

Для предприятий теплового и энергетического машиностроения, ремонтных служб и монтажных организаций внедрение режимов с минимальной постоянной времени дуги и высокими динамическими характеристиками может обеспечить: повышение конкурентоспособности; снижение эксплуатационных затрат за счет увеличения ресурса сварных соединений; технологическую независимость и импортозамещение в сегменте высококачественного сварочного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Хромченко Ф.А. Надежность сварных соединений труб котлов и паропроводов. Москва: Энергоиздат, 1982. 120 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001115162?ysclid=mocu7o45zl297416202> (дата обращения: 16.02.2026).
Khrunchenko F.A. Reliability of welded joints of boiler pipes and steam pipelines. Moscow: Energoizdat, 1982. 120c. (In Russ.). Available at: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001115162?ysclid=mocu7o45zl297416202> (accessed: 16.02.2026).
2. Скобцов И.Г., Дербин М.О. Оценка надежности сварных соединений стальных магистральных трубопроводов. *Инженерный вестник Дона*. 2025;6(126):584-594. Режим доступа: <https://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10121#top> (дата обращения: 16.02.2026).
Skobtsov I.G., Derbin M.O. Assessment of reliability of welded joints of steel main pipelines. *Engineering Bulletin of the Don*. 2025;6(126):584-594. (In Russ.). Available at: <https://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10121#top> (accessed: 16.02.2026).
3. Уваров А.Ф. Транзисторный инверторный источник питания для импульсной дуговой сварки. *Сварочное производство*. 1988;10:25-26. Режим доступа: по запросу в редакцию.
Uvarov A.F. Transistor inverter power supply for pulsed arc welding. *Welding production*. 1988;10:25-26. (In Russ.). Available at: по запросу в редакцию.
4. Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н., Ленивкин В.А. Оборудование для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. Москва: Энергоатомиздат, 1985. 80 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001273840?ysclid=mocuv9kka8846245767> (дата обращения: 16.02.2026).
Dyurgerov N.G., Sagirov Kh.N., Lenivkin V.A. Equipment for pulse arc welding with a melting electrode. Moscow: Energoatomizdat, 1985. 80 p. (In Russ.). Available at: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001273840?ysclid=mocuv9kka8846245767> (accessed: 16.02.2026).
5. Чернов А.В., Полетаев Ю.В., Кавришвили З.О., Бурдаков С.М. Повышение устойчивости горения дуги при сварке покрытыми электродами. *Сварочное производство*. 2000;2:7-9. Режим доступа: <https://elcat.bntu.by/index.php?url=/notices/index/IdNotice:39771/Source:default> (дата обращения: 16.02.2026).
Chernov A.V., Poletaev Yu.V., Kavrishvili Z.O., Burdakov S.M. Increasing the stability of arc combustion during welding with coated electrodes. Gorenje. *Welding production*. 2000;2:7-9. (In Russ.). Available at: <https://elcat.bntu.by/index.php?url=/notices/index/IdNotice:39771/Source:default> (accessed: 16.02.2026).
6. Бурдаков С.М., Чернов А.В., Цуверкалова О.Ф., Зокиров К.Д. Управление газодинамическими характеристиками дугового разряда с помощью квазигармонической компоненты питания. Безопасность ядерной энергетики : тезисы докладов XVI Международной научно-практической конференции, 12-13 ноября 2020 г. Волго-

донск: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2020. С. 63-66. ISBN 978-5-72622472-5. Режим доступа: <https://nps.viti-mephi.ru/ru/arhiv-konferencii/> (дата обращения: 16.02.2026).

Burdakov S.M., Chernov A.V., Tsuverkalova O.F., Zokirov K.D. Control of gas-dynamic characteristics of an arc discharge using a quasi-harmonic power supply component. Nuclear Energy Safety : abstracts of the XVI International Scientific and Practical Conference, November 12-13, 2020. Volgograd: VITI NRU MEPhI, 2020. pp. 63-66. ISBN 978-5-72622472-5. (In Russ.). Available at: <https://nps.viti-mephi.ru/ru/arhiv-konferencii/> (accessed: 16.02.2026).

7. Букаров В.А. Ермаков С.С., Дорина Т.А. Оценка стабильности дуговой сварки по осциллограммам процесса с использованием статистических методов. *Сварочное производство*. 1990;12:30-32. Режим доступа: по запросу в редакцию.

Bukarov V.A. Ermakov S.S., Dorina T.A. Evaluation of arc welding stability from process oscillograms using statistical methods. *Welding production*. 1990;12:30-32. (In Russ.). Available at: по запросу в редакцию.

8. Бурдаков С.М., Цуверкалова О.Ф., Заяров Ю.В., Постой Л.В., Ткачев В.Г. Исследование критериев устойчивости дугового разряда на предельном режиме сварки покрытыми электродами. *Глобальная ядерная безопасность*. 2023;13(2):31-38. <https://doi.org/10.26583/gns-2023-02-04> EDN: SMBSCO

Burdakov S.M., Tsuverkalova O.F., Zayarov Yu.V., Postoy L.V., Tkachev V.G. Arc stability study at the limit mode of welding with coated electrodes. *Global nuclear safety*. 2023;13(2):31-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2023-02-04> EDN: SMBSCO

9. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. Москва: Издательство иностранной литературы, 1961. 370 с. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_006381938/?ysclid=mocvkov9c7599034679 (дата обращения: 16.02.2026).

Finkelburg Von W., Maecker H. Elektrische Bogen und thermisches Plasma (Handbuch der Physik. Bd. 22. 1956). Moscow: Publishing House of Foreign Literature, 1961. 370 p. (In Russ.). Available at: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_006381938/?ysclid=mocvkov9c7599034679 (accessed: 16.02.2026).

10. Бурдаков С.М., Дамаскина М.Б., Желецкий Д.И. Исследование структуры металла сварных соединений при импульсном воздействии на дуговой разряд. *Глобальная ядерная безопасность*. 2021;11(1):38-43. <https://doi.org/10.26583/gns-2021-01-04>

Burdakov S.M., Damaskina M.B., Zheletskiy D.I. Study of Welded Joint Metal Structure under Pulsed Impact on Arc Discharge. *Global nuclear safety*. 2021;11(1):38-43. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2021-01-04>

ВКЛАД АВТОРОВ:

Бурдаков Е.С. – разработка теории, оборудования, проведение экспериментов, расчетов, выполнение анализа результатов экспериментов, разработка программного обеспечения, работа с нормативной документацией, литературой;

Бурдаков С.М. – разработка теории, оборудования, выполнение расчетов, планирование и проведение экспериментов, анализ результатов экспериментов, результатов расчетов, создание рукописи статьи;

Подрезов Н.Н. – выполнение математического анализа значений полученных критериев свойств дугового разряда, выполнение анализа результатов экспериментов;

Заяров Ю.В. – выполнение анализа результатов экспериментов, расчетов, статистический анализ результатов.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Авторы заявляют об отсутствии финансовой помощи при проведении исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Авторы заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Евгений Сергеевич Бурдаков, инженер-технолог по сварке. Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация.

<https://orcid.org/0009-0003-3895-3405>

e-mail: konanxxxx@mail.ru

AUTHORS' CONTRIBUTION:

Burdakov E.S. - development of theory, equipment, experiments, calculations, analysis of experiment results, software development, work with regulatory documentation, literature;

Burdakov S.M. – development of theory, equipment, calculations, planning and conducting experiments, analysis of experiment results, calculation results, creation of an article manuscript;

Podrezov N.N. – performing mathematical analysis of the values of the obtained criteria for arc discharge properties, performing analysis of the results of experiments;

Zayarov Yu.V. – performing analysis of results of experiments, calculations, statistical analysis of results;

FUNDING:

The authors declare no external funding

CONFLICT OF INTEREST:

The authors declare no conflict of interest.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Evgenij S. Burdakov, welding process engineer, «Atom mash» the branch of «AEM-technologies» JSC in Volgograd, Volgograd, Rostov region, Russian Federation.

<https://orcid.org/0009-0003-3895-3405>

e-mail: konanxxxx@mail.ru

Сергей Михайлович Бурдаков, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных производств, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация.

<https://orcid.org/0000-0002-8599-6008>

e-mail: SMBurdakov@mephi.ru

Подрезов Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и прикладной механики Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация.

<https://orcid.org/0000-0002-0314-2413>

e-mail: NNPodrezov@mephi.ru

Юрий Владимирович Заяров, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительных производств, доцент кафедры строительных производств Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация.

<https://orcid.org/0000-0003-3353-8037>

e-mail: YVZayarov@mephi.ru

Sergey M. Burdakov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Construction Production Department, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation.

<https://orcid.org/0000-0002-8599-6008>

e-mail: SMBurdakov@mephi.ru

Nikolaj N. Podrezov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation.

<https://orcid.org/0000-0002-0314-2413>

e-mail: NNPodrezov@mephi.ru

Yuriy V. Zayarov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of Construction Production department, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation.

<https://orcid.org/0000-0003-3353-8037>

e-mail: YVZayarov@mephi.ru

Поступила в редакцию / Received 19.02.2026

После доработки / Revision 30.04.2026

Принята к публикации / Accepted 05.05.2026