

## Improving the Reliability of the First Two-Contour Circuit Nuclear Power Plant

A.V. Razuvaev

*Balakovsky Institute of Technology NIIAU MIFI, Balakovo, Russia  
e-mail: vipdomik@mail.ru*

**Abstract** – The paper examines the modernized scheme of installing a pressure compensator in the first contour of two contoured nuclear power plant, which contributes to improving the reliability of the pressure compensator body itself and in general the contour itself at the expense of evenly warm it up. As well as reduce the cost of electricity for heat-heating devices, which are part of the pressure compensator and thereby increase the overall efficiency of the entire power plant. The hydraulic parameters of the pressure compensator system are detailed.

*Keywords:* pressure compensator, hydraulic scheme with pressure compensator, upgraded scheme of connecting the compensator to the scheme of the first circuit.

УДК 621.791

## УПРАВЛЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДУГОВОГО РАЗРЯДА С ПОМОЩЬЮ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ ПИТАНИЯ

**С.М. Бурдаков, А.В. Чернов, О.Ф. Цуверкалова, К.Д. Зокиров**

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния дополнительного низковольтного напряжения частотой 40кГц на газодинамические характеристики дугового разряда, при сварке покрытыми электродами.

*Ключевые слова:* производство, сборка, монтаж, ремонт оборудования АЭС, несущие металлические конструкции, устойчивость горения дугового разряда, квазигармоническая компонента питания, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, скорость изменения силы тока и напряжения дуги, уравнения динамики дуги, среднестатистическое давление, силы давления дуги, скоростной напор плазмы.

Производство, сборка, монтаж, ремонт оборудования и несущих металлических конструкций объектов атомно-энергетического комплекса связано с применением ручной дуговой сварки покрытыми электродами. Улучшение качества сварных соединений в большой степени связано с протекающими газодинамическими процессами дугового разряда и его устойчивости. Повышение устойчивости дугового разряда, улучшит его технологические свойства, эксплуатационную надежность изделий атомно-энергетического комплекса [1].

В данном случае было использовано комбинированное применение постоянного тока основного сварочного источника (ВДУ–504) и переменного от вспомогательного устройства для формирования квазигармонической компоненты питания (ККП) (Напряжение 80В, частота воздействия на дуговой разряд постоянного тока 40кГц) [1].

Эксперименты выполнялись в соответствии с методикой работы [2].

Исследовали устойчивость горения дуги в нижнем положении сварочной ванны с использованием покрытого электрода марки УОНИ 13/55  $d=3\text{мм}$ ,  $I_{св}=100\text{А}$ , с наложением и без наложения ККП на дуговой разряд постоянного тока (рис. 1).

На основе обработки осциллограмм были получены коэффициенты вариации:  $KVI_{св}$ ,  $KVU_{д}$  [3]. Так при сварке (исследование осциллограмм рисунке 1) на  $I_{св}=100$  (без наложения ККП),  $KVI_{св}= 19,324$ ;  $KVU_{д}= 15,935$ ; среднее значение напряжения на дуге  $\mu_{U_{д}}= 21,964$  В; среднее значение сварочного тока  $\mu_{I_{св}}= 91,036$  А. Для сварки на  $I_{св}=100$  (при наложении ККП  $f=40кГц$ ),  $KVI_{св}= 22,387$ ;  $KVU_{д}= 15,349$ ;  $\mu_{U_{д}}= 22,336$  В – среднее значение напряжения на дуге;  $\mu_{I_{св}}= 89,925$  А – среднее значение сварочного тока.

Повышение значения падения напряжения на дуговом разряде свидетельствует о повышении его устойчивости при наложении ККП [4]. Увеличение коэффициента вариации  $KVI_{св}$  в 1,7 раза может свидетельствовать о повышении числа коротких замыканий и увеличении частоты каплепереноса в процессе сварки при использовании ККП. Снижение коэффициента вариации  $KVU_{д}$  в 1,04 раза говорит о повышении стабильности падения напряжения на дуге при наложении ККП  $f=40кГц$ .

Динамическая характеристика дугового разряда в большой степени зависит от скорости изменения силы тока, т. е. от величины  $dI_{св}/dt$  [4, 5].

Нарушение устойчивости горения дуги происходит при малых значениях  $dI_{св}/dt$ , что приводит к нестабильному процессу сварки, нарушению газодинамических процессов дугового разряда, отрицательно отражается на качестве сварного шва.

Анализируя полученные зависимости (рис. 1), можно сделать вывод, что при наложении ККП на дуговой разряд скорость изменения сварочного тока повышается в 1,3 и в 1,1 скорость изменения напряжения на дуге и его динамические характеристики.

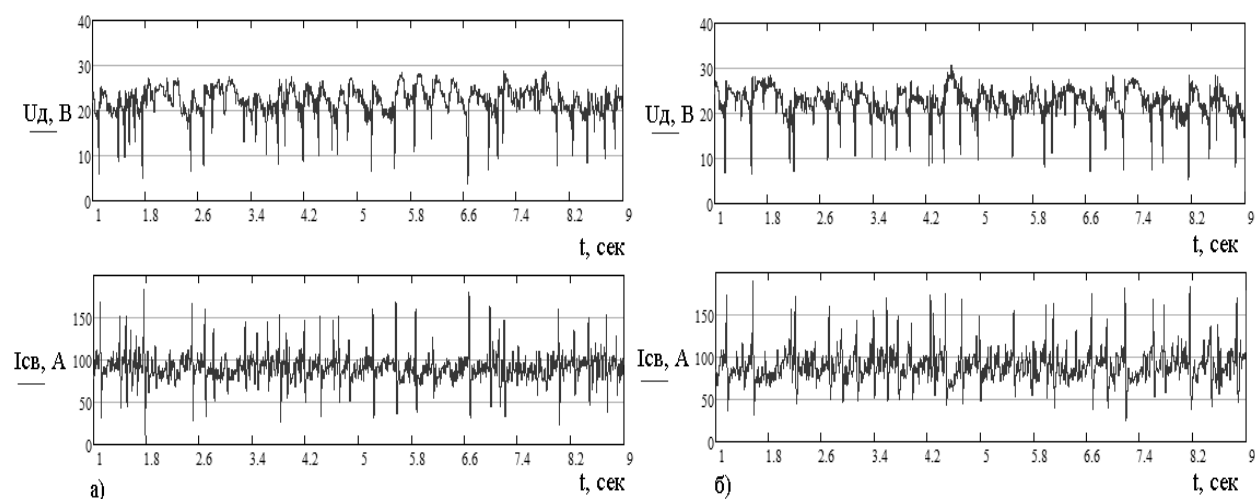


Рисунок 1 – Осциллограммы сварочного тока и напряжения на дуге, время измерения 8 сек (после фильтрации): а)  $I_{св}=100А$ ; б)  $I_{св}=100А$  с наложением на дугу ККП

$$\frac{dI_{д.макс.}}{dt} = 9,027 \cdot 10^3 \text{ – максимальная скорость изменения } I_{св} \text{ без ККП на дугу, А/сек;}$$

$$\frac{dI_{д.макс.ВЧ}}{dt} = 1,138 \cdot 10^4 \text{ – максимальная скорость изменения } I_{св} \text{ с ККП на дугу, А/сек;}$$

$$\frac{dU_{д.макс.}}{dt} = 1,888 \cdot 10^3 \text{ – максимальная скорость изменения } U_{д} \text{ без ККП, В/сек;}$$

$$\frac{dU_{д.макс.ВЧ}}{dt} = 2,031 \cdot 10^3 \text{ – максимальная скорость изменения } U_{д} \text{ с ККП, В/сек;}$$

Оценку динамических характеристик дугового разряда можно попробовать провести с использованием параметра импульсного воздействия,  $(d^3I_{св}/dt^3, d^3U_{д}/dt^3)$  – векторной физической величины, характеризующей темп изменения второй производной скорости изменения сварочного тока (напряжения на дуге).

$$\frac{d^3 I_{д.макс.}}{dt^3} = 6,686 \cdot 10^9 \text{ – максимальное импульсное воздействие } I_{св} \text{ без ККП, А/сек}^3;$$

$$\frac{d^3 I_{д.макс.ВЧ}}{dt^3} = 1,582 \cdot 10^{10} \text{ – максимальное импульсное воздействие } I_{св} \text{ с ККП, А/сек}^3;$$

$$\frac{d^3 U_{д.макс.}}{dt^3} = 9,396 \cdot 10^7 \text{ – максимальное импульсное воздействие } U_{д} \text{ без ККП, В/сек}^3;$$

$$\frac{d^3 U_{д.макс.ВЧ}}{dt^3} = 1,783 \cdot 10^9 \text{ – максимальное импульсное воздействие } U_{д} \text{ с ККП, В/сек}^3;$$

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при наложении ККП на дуговой разряд импульсное воздействие сварочного тока повышается в 2, 4 раза и в 19 раз импульсное воздействие напряжения на дугу.

Анализ устойчивости дугового разряда может быть произведен с применением уравнения динамики дуги, и анализа постоянной времени  $\theta$ , характеризующей инерционность изменения проводимости дуги при изменении тока [5].

Так при сварке на  $I_{св}=100$  А (без ККП),  $\theta = 0,205$ сек; соответственно; для сварки на  $I_{св}=100$ ; (с ККП),  $\theta = 7,03 \cdot 10^{-3}$ сек; соответственно. Полученные результаты говорят о существенном (в 29,2 раза) снижении инерционности изменения проводимости дугового разряда при ККП, что связано с протекающими в нем физическими процессами [6] и приближает данный вариант питания дугового разряда к работе с современными источниками питания ( $\theta=15\dots 50 \cdot 10^{-3}$ сек) [5].

Силовое воздействие дуги определяет движение жидкого металла в сварочной ванне и может вызвать появление различных дефектов [7]. Для управления газодинамическими процессами дугового разряда помимо регулирования динамических характеристик необходимо определение среднестатистического давления, силы давления дуги, скоростного напора плазмы [7, 8].

Среднее значение статической составляющей давления у поверхности сварочной ванны  $P_{ср.ст}$  [8]. При использовании сварочного режима  $I_{св}=100$  А (без ККП),  $P_{ср.ст} = 32,834$  Па ( $R=2$ мм); соответственно; для сварки на  $I_{св}=100$ ; (с устройством наложения ККП  $f=40$  кГц),  $P_{ср.ст} = 39,553$  Па ( $R=1,8$ мм); соответственно. Полученные результаты говорят о увеличении (в 1,2 раза) среднего значения статической составляющей давления у поверхности сварочной ванны при наложении ККП, за счет 20% обжата дугового разряда [6]. Возникающий при наложении ККП эффект контрагирования дуги с увеличением  $P_{ср.ст}$  приводит к увеличению концентрации тепловой энергии в ней и, следовательно, к увеличению глубины проплавления [9].

Среднее значение скоростного напора плазмы  $P_{ср.к}$  определим по [8]. При использовании сварочного режима  $I_{св}=100$  А (без наложения квазигармонического сигнала),  $P_{ср.к} = 18,892$  Па ( $R=2$ мм,  $r=1,5$ мм); соответственно; для сварки на  $I_{св}=100$ ; (с устройством наложения квазигармонического сигнала  $f=40$  кГц),  $P_{ср.к} = 14,423$  Па ( $R=1,8$ мм,  $r=1,5$ мм); соответственно. Полученные результаты говорят об уменьшении (в 1,3 раза) среднего значения скоростного напора плазмы при наложении ККП, что будет способствовать улучшению структуры металла шва и его ударной вязкости [9].

Сила статического (газокинетического) давления на поверхность сварного шва  $F_r$  не зависят ни от закона распределения плотности тока по сечению дуги и активного пятна, ни от размеров столба и активного пятна [7].

Изменение длины дуги или радиуса активного пятна дуги приведет к изменению площади, на которой приложена сила  $F_r$ , а ее значение останется постоянным [10].

Так при сварке на  $I_{св}=100$  А (без ККП),  $F_r = 4,124 \cdot 10^{-4}$  Н; соответственно; для сварки на  $I_{св}=100$ ; (с ККП),  $F_r = 4,024 \cdot 10^{-4}$  Н; соответственно. Полученные результаты говорят о незначительном изменении силы газокинетического давления на поверхность сварного шва.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов, А. В. и др. Повышение устойчивости горения дуги при сварке покрытыми электродами / А. В. Чернов, Ю. В. Полетаев, З. О. Кавришвили, С. М. Бурдаков // Сварочное производство. – 2000. – № 2. – С. 7-9.
2. Бурдаков, С. М. Экспериментальные исследования устойчивости горения сварочной дуги с использованием информационно-измерительной и управляющей системы / С. М. Бурдаков // Сборник докладов 5-й Международной научной-практической конференции «Качество науки–качество жизни», Россия, Тамбов, 26-27 февраля 2009г. – Тамбов : Центр Конференций ТГТУ, 2009. – С. 54.
3. Букаров, В. А., Ермаков С. С., Дорина Т. А. Оценка стабильности дуговой сварки по осциллограммам процесса с использованием статистических методов / В. А. Букаров, С. С. Ермаков, Т. А. Дорина // Сварочное производство. – 1990. – №12. – С. 30–32.
4. Финкельбург, В. и др. Электрические дуги и термическая плазма В. Финкельбург, Г. Меккер. – Москва : Изд-во иностр. лит., 1961. – 370 с.
5. Соколов, О. И. Источники питания для дуговой сварки: учебное пособие / О. И. Соколов. – Москва : МГИУ, 2011. – 194 с.
6. Бурдаков, С. М. и др. Физическая модель электрического дугового разряда с наложением высокочастотного напряжения / С. М. Бурдаков, А. В. Чернов, Ю. В. Полетаев, С. В. Полежаев. // Сварочное производство. – 2001. – № 11.– С.13-16.
7. Кубарев, В. Ф., Рыбачук, А. М., Доронин, Ю. В. Влияние распределения плотности тока в дуге на статическое давление дуги / В. Ф. Кубарев, А. М. Рыбачук, Ю. В. Доронин // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – №3(24). – С. 61–67.
8. Ленивкин, В. А., Петров, П. И. Скоростной напор плазмы в сварочной дуге / В. А. Ленивкин, П. И. Петров // Сварочное производство. – 1985. – №7. – С. 34–36.
9. Новые методы теоретических и экспериментальных исследований материалов, приборов и технологий: сб. научн. тр. / Волгодонский ин-т. ЮРГТУ. Новочеркасск : ЮРГТУ, 2001. – 131с.

### Control of Gas-Dynamic Characteristics of an Arc Discharge by a Quasi-Harmonic Power Component

S.M. Burdakov<sup>1</sup>, A.V.Chernov<sup>2</sup>, O.F.Cuverkalova<sup>3</sup>, K.D.Zokirov<sup>4</sup>

*Volgodonsk Engineering Technical Institute – branch of National Research Nuclear University "MEPhI"*

<sup>1</sup>*e-mail: SMBurdakov@mephi.ru*

<sup>2</sup>*e-mail: AVChernov@mephi.ru*

<sup>3</sup>*e-mail: OFTsuverkalova@mephi.ru*

<sup>4</sup>*e-mail: zokirovkarim45@yandex.ru*

**Abstract** – The article presents the results of an experimental study of the effect of additional low-voltage voltage with a frequency of 40 kHz on the gas-dynamic characteristics of an arc discharge, when welding with coated electrodes.

**Keywords:** production, assembly, installation, repair of NPP equipment, supporting metal structures, stability of arc discharge burning, quasi-harmonic power component, standard deviation, coefficient of variation, rate of change of current and arc voltage, equations of arc dynamics, average statistical pressure, arc pressure, velocity head plasma.