

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

УДК 621.791.03

<https://doi.org/10.26583/gns-2023-04-03>

EDN HSMYWQ



**Оперативное определение вольтамперных характеристик
сварочных источников питания в атомном машиностроении**

В.А. Винныйчук¹  , Н.Н. Подрезов¹ , Ю.В. Доронин² 

¹ Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Ростовская обл., Россия

² Аттестационный центр городского хозяйства, г. Москва, Россия

 VAVinniichuk@mephi.ru

Аннотация. Сварочное оборудование повсеместно оснащается современными цифровыми системами питания сварочной дуги на микропроцессорной и других логических элементных базах. Одновременно наблюдается тенденция к минимизации информации не только на китайское, но и на оборудование фирм известных брендов, поэтому важно оперативно отслеживать достоверность сопроводительной документации, во избежание ухудшения качества производимой продукции и траты времени переоборудование. Современные регистраторы сварочных процессов позволяют в несколько раз сократить время проверки заявленных характеристик всех источников питания, аттестованных для использования в атомной энергетике. Среди характеристик и сервисных функций, анализируемых регистратором, следует отметить статические вольтамперные характеристики, осциллограммы «горячего старта», «форсажа» и «антистикинга». В работе приведены данные выборочных испытаний на соответствие заявленным паспортным данным инверторных источников питания ИНЭМ-200Т (ММА процесс), Artsen CM-500 (MAG процесс) и ИОН 48-900 (SAW процесс). По результатам проведенных исследований сделаны выводы о пользе использования предложенной модели регистратора сварочных процессов на предприятиях тяжелого атомного машиностроения.

Ключевые слова: регистратор сварочных процессов, система питания сварочной дуги, источник питания, электронный балластник, нагрузочная характеристика, статическая вольт-амперная характеристика, динамическая вольт – амперная характеристика, MMA процесс, MAG процесс, Pulse SAW процесс.

Для цитирования: Винныйчук В.А., Подрезов Н.Н., Доронин Ю.В. Оперативное определение вольтамперных характеристик сварочных источников питания. *Глобальная ядерная безопасность*. 2023;13(3):22–26. <https://doi.org/10.26583/gns-2023-04-03>

For citation: Vinniichuk V.A., Podrezov N.N., Doronin Yu.V. Operational determination of current-voltage characteristics of welding power sources in nuclear engineering. *Global nuclear safety*. 2023;13(3):22–26 (In Russ.) <https://doi.org/10.26583/gns-2023-04-03>

**Operational determination of current-voltage characteristics welding power sources
in nuclear engineering**

Vitaliy A. Vinniichuk¹  , Nikolay N. Podrezov¹ , Yuriy V. Doronin² 

¹ Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Rostov region, Russia

² Certification Moscow Center of municipal services, Moscow, Russia

 VAVinniichuk@mephi.ru

Abstract. Welding equipment is everywhere equipped with modern digital welding arc power systems based on microprocessor and other logical element bases. At the same time, there is a tendency to minimize information not only for Chinese, but also for equipment of well-known brands, so it is important to quickly monitor the accuracy of the accompanying documentation in order to avoid deterioration in the quality of products and waste of time re-equipment. Modern recorders of welding processes allow several times to reduce the time for checking the declared characteristics of all power sources certified for use in the nuclear power industry. Among the characteristics and service functions analyzed by the recorder, it should be noted static current-voltage characteristics, oscillograms of «hot start», «afterburner» and «anti-sticking». The paper presents the data of selective tests for compliance with the declared passport data of inverter power supplies INEM-200T (MMA process), Artsen CM-500 (MAG process) and ION 48-900 (SAW process). Based on the results of the research, conclusions were drawn about the benefits of using the proposed model of the welding process recorder at enterprises of heavy nuclear engineering.

Keywords: welding process recorder, welding arc power system, power source, electronic ballast, load characteristic, static current-voltage characteristic, dynamic volt-ampere characteristic, MMA process, MAG process, SAW process.

К настоящему времени сварочное оборудование повсеместно оснащается современными цифровыми системами питания сварочной дуги на микропроцессорной и других логических элементных базах, что заметно расширяет технологические возможности оборудования [1-4]. Так же наблюдается тенденция к минимизации информации на оборудование фирм известных брендов, поэтому важно вовремя и оперативно отслеживать достоверность сопроводительной документации. В данной работе выполнено выборочное оперативное тестирование и проверка статических вольтамперных характеристик (ВАХ) источников питания (ИП) для ручной дуговой сварки ИНЭМ-200Т (Россия), в сварочном аппарате для механизированной сварки МEGMEET Artsen CM-500 (Китай) и российском источнике питания для автоматической сварки под слоем флюса [5] ИОН 48-900. Определение свойств источников питания (ИП), в т.ч. определение статических вольт-амперных характеристик (ВАХ) выполняли на регистраторе сварочных процессов ИНЭМ-ЭКСПЕРТ, разработанном фирмой ООО «Электронмаш-Систем», (рис.1).



Рисунок 1. Сварочный регистратор ИНЭМ-ЭКСПЕРТ
Figure 1. Recorder of welding processes INEM-EXPERT

Регистратор необходим для определения и анализа сварочно-технологических свойств источников питания постоянного и переменного тока, предназначенных для электродуговой сварки, а именно [6]:

- измерения статических вольтамперных характеристик (ВАХ) сварочных источников с выходным током до 500А и напряжением холостого хода не превышающим 180В;

- записи и анализа осциллограмм «горячего старта», «форсажа» и «антистикинга»;

- осциллографирования процессов сварки;

- измерения параметров питающей сети и др.

В состав регистратора входят:

- встроенный охлаждаемый электронно-управляемый балластный реостат, который изолирован от корпуса теплоизоляцией и выводит тепло в гофрированный рукав;

- управляемый трехступенчатый имитатор входной сети (160в, 220в, 280в);

- двухканальная автоматизированная система сбора информации (сварочные ток, сварочное напряжение, напряжение на входе тестируемого источника

и его потребление от сети) и управления балластным реостатом и имитатором сети;

- специализированный вычислитель с экраном, клавиатурой и мышью.

При выборе оборудования для обеспечения процесса сварки конкретных конструкций следует учитывать технические возможности применения конкретных источников питания, их вероятное поведение в сварочных контурах исследуемых процессов.

Известно, что качество сварных соединений металлоконструкций во многом обусловлено сварочно-технологическими требованиями к ИП на всех стадиях их работы: при зажигании дуги, ведении сварочного процесса и его окончании. Например, при низких показателях надёжности зажигания и устойчивости процесса сварки, дуга горит с частыми и длительными перерывами. Что приводит к образованию сварных соединений с непроварами, подрезами, различными включениями и другими дефектами. Для оптимального управления процессами сварки необходимо знать и обеспечивать оптимальные текущие параметры режима с учетом требований каждой стадии процесса. Таким образом, ИП – основной инструмент управления процессами сварки.

На первом этапе исследовали ВАХ программируемого источника ИНЭМ-200Т, которая представляет из себя совокупность Z-образных характеристик [7], одна из которых приведена на рисунке 2.

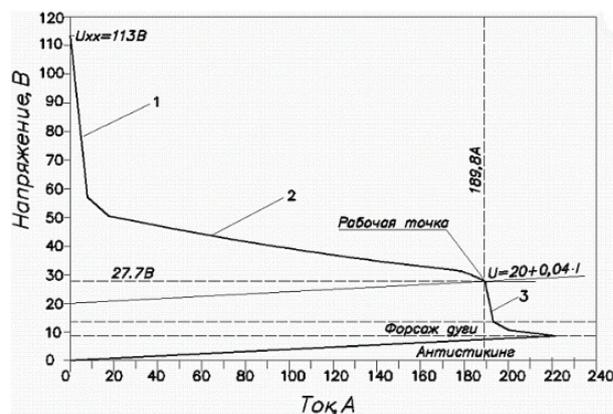


Рисунок 2. Статическая ВАХ ИП ИНЭМ-200Т при заданном $I_z = 200\text{А}$, рабочая точка $I = 189,8\text{А}$; $U = 27,7\text{В}$, участки ВАХ: 1 – подпитки (задания U_{xx}); 2 – пологопадающий; 3 – рабочий для MMA процесса

Figure 2. Static CVC of IP INEM-200T at a given $I_z = 200\text{A}$, operating point $I = 189,8\text{A}$; $U = 27,7\text{V}$, sections of the CVC: 1 – recharge (tasks U_{xx}); 2 – gently dipping; 3 – operating for MMA process

Анализ типовой статической ВАХ ИП ИНЭМ-200Т при заданном $I_z = 200\text{А}$, рабочая точка $I = 189,8\text{А}$ приведен в таблице 1.

Статическая внешняя ВАХ, предназначенной для реализации MAG процесса на одном из режимов сварки инверторной системы питания Artsen CM-500 представлено на рисунке 3.

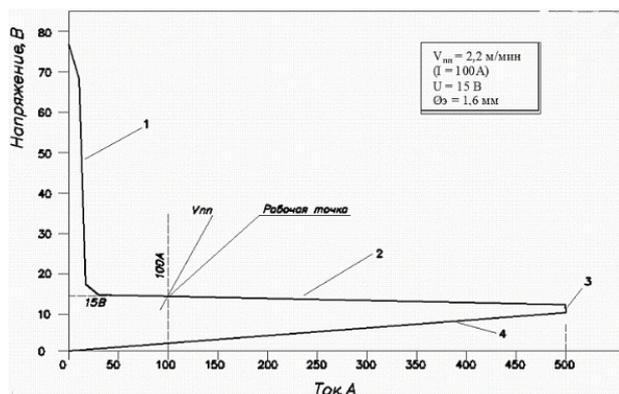


Рисунок 3. Статическая ВАХ ИП ARTSEN CM-500 при заданном режиме MAG – сварки, участки ВАХ: 1 – подпитки (задания U_{xx}); 2 – жесткий (рабочий для MAG); 3 – отсечки по току 500А; 4 – функция Antistick, V_{pp} – скорость подачи проволоки

Figure 3. Static I-V characteristic of SP ARTSEN CM-500 at a given mode MAG - welding, CVC sections: 1 - make-up (tasks U_{xx}); 2 - hard (working for MAG); 3 - cutoff current 500A; 4 - Antistick function, V_{pp} – wire feed speed

С помощью программного обеспечения регистратора возможно проводить испытания при различных параметрах режима с определением необходимых характеристик. Кроме того, выполняется автоматическое измерение энергетических параметров при испытании сварочно-технологических свойств ИП. Анализ типовой статической ВАХ ИП ARTSEN CM-500 приведен в таблице 2.

В результате оперативной проверки статических ВАХ ИП установлено, что паспортные данные иссле-

дованных систем питания сварочной дуги соответствуют действительности.

Экспериментально определенное семейство статических ВАХ ИП ИОН 48-700 представлено на рисунке 4. Анализ типовых участков семейства статических ВАХ ИП ИОН 48-900 для рабочей точки 39,6В/491,2А приведен в таблице 3.

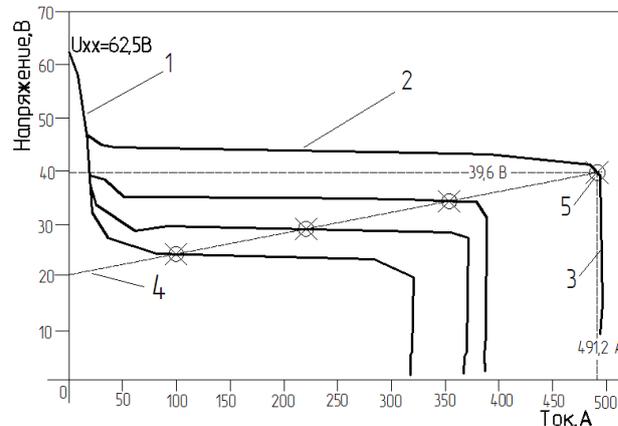


Рисунок 4. Семейство статических ВАХ ИП ИОН 48-900: 1 – участок подпитки (задания U_{xx}); 2 – рабочий участок SAW; 3 – отсечка по току («штыковой» участок); 4 – нагрузочная прямая; 5 – рабочая точка $U = 39,6$ В $I = 491,2$ А

Figure 4. Family of static I-V characteristics of IP ION 48-900: 1 - make-up section (tasks U_{xx}); 2 - working area SAW; 3 - current cutoff («bayonet» section); 4 - load line; 5 - operating point $U = 39.6$ V $I = 491.2$ A

Таблица 1. Анализ статической ВАХ ИП ИНЭМ-200Т

Table 1. Analysis of static VAC IP ARTSEN CM-500

№ уч.	Границы участка, напряжение, В / ток, А	Характеристика участка
1	113-50В/0-20А	Участок подпитки и задания напряжения холостого хода $U_{xx} = 113$ В, кроме того создаются условия ММА процесса для неквалифицированных сварщиков, позволяющие легко удерживать длинную дугу.
2	50-27,7В/20-189,8А	Пологопадающий участок
3	27,7-0В/220-0А	Обеспечивает наличие сервисных функций, улучшающих качество сварки и повышающих безопасность сварочных работ: «горячий старт» (Hotstart), «антиприлипание» (Antistick), «форсаж дуги» (Arcforce).

Примечание. ИНЭМ-200Т хорошо реагирует на просадку сетевого питания и «держит» режимы, как установлено, вплоть до падения сетевого напряжения до 165 В. Отмечается отсутствие устройства снижения напряжения (VRD) – понижения напряжения холостого хода источника до безопасных для человека 9-12 В, когда аппарат включен, но сварка не производится.

Таблица 2. Анализ статической ВАХ ИП ARTSEN CM-500

Table 2. Analysis of static VAC IP ARTSEN CM-500

№ уч.	Границы участка, напряжение, В / ток, А	Характеристика участка
1	77-15В/0-40А	Участок подпитки
2	≈15В/40-500А	Наклон рабочих участков 2 (дифференциальное сопротивление ИП) находится в пределах – 0,005...0,01В/А, что по классификации ГОСТ Р МЭК 60974-1-2012 относится к жестким характеристикам.
3	≈15В/500А	Участок 3 защищает ИП от перегрева, величина тока на нем может устанавливаться программно.
4	≈15-0В/500-0А	Участок 4 предназначен для борьбы с возможными короткими замыканиями в процессе MAG – сварки.

Примечание. Установлено, что семейство настраиваемых ВАХ находится в заявленном по паспортным данным диапазоне регулирования по напряжению сварки 15,5-39В. Напряжение холостого хода (U_{xx}) составляет 77 В, В регуляторе системы питания Artsen CM-500 предусмотрен ряд синергетических программных функций [8]: – система питания устанавливает напряжение в зависимости от скорости подачи электродной проволоки V_{pp} (рис. 3), т.е. сварочного тока [9]; – регулирование индуктивности для сглаживания пульсаций и уменьшения разбрызгивания производится в электронном режиме и т.п.

Таблица 3. Анализ типовых участков семейства статических ВАХ ИП ИОН 48-900
Table 3. Analysis of typical sections of the static VAC family IP ION 48-900

№ уч.	Границы участка, напряжение, В / ток, А	Характеристика участка
1	62,5-46В/0-35А	Участок подпитки и задания напряжения холостого хода
2	≈40-39,6В/35-491,2А	Наклон рабочего участка поз. 2 (дифференциальное сопротивление ИП) рисунка 4, находится в пределах - 0,005...0,015В/А, что по классификации ГОСТ Р МЭК 60974-1 относится к жестким характеристикам.
3	≈39,6-10В/491,2А	Участок поз. 3 -штыковая характеристика, защищает ИП от перегрева, величина тока на нем устанавливается программно.
4	≈20-39,6В/0-491,2А	Нагрузочная прямая поз. 4 (стандартное напряжение нагрузки) задавали электронным реостатом по зависимости $U_2 = 20 + 0,04 \cdot I_2 \leq 600\text{А}$.

Примечание. Напряжение холостого хода ($U_{хх}$) ИП составляет 62,5 В. Сравнительно низкое напряжение холостого хода компенсируется набросом тока в момент зажигания дуги, наподобие сервисной функции «горячий старт» (Hotstart), обычно применяемой в аппаратах для реализации ММА-процесса. Пересечение нагрузочной прямой поз. 4 с каждым рабочим участком ВАХ поз. 2 формирует семейство рабочих точек (четыре на рисунке 4) электрических режимов SAW-процесса поз.5. Установлено также, что семейство настраиваемых ВАХ находится в заявленном по паспортным данным диапазоне регулирования по напряжению сварки 20,5-48В, а максимальная активная мощность, снимаемая с выходных клемм ИП составляет 30...33 кВт.

В результате исследования оперативно подтверждены основные сервисные функции и сварочно-технологические свойства источников питания для ручной дуговой сварки ИНЭМ-200Т, механизированной сварки Artsen CM-500, автоматической сварки под слоем флюса ИОН 48-900. Экспериментально определены статические ВАХ указанных систем питания. Применение информационно-измерительной

системы ИНЭМ-ЭКСПЕРТ позволило в несколько раз ускорить процесс проверки паспортных данных ИП и построения статических ВАХ, что очень важно для современных технологических процессов атомного машиностроения. Есть возможность определения в оперативном порядке динамических вольт-амперных характеристик по записям осциллограмм тока и напряжения при сварке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Даровской Г.В., Авакян А.А. Программирование процессов дуговой сварки в защитных газах. *Сварка и диагностика*. 2017;3:24–29. Режим доступа: <http://svarka.naks.ru/archive/issue/detail.php?ID=540871749> (дата обращения: 02.05.2023).
2. Сараев Ю.Н., Семенчук В.М., Непомнящий А.С., Лунев А.Г., Григорьева А.А. Исследование влияния динамических свойств источника питания на стабильность тепломаппереноса при дуговой сварке плавящимся электродом в среде CO₂ с короткими замыканиями дугового промежутка. *Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии. Тезисы докладов. Томск, 05–09 октября 2020 года*. Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2020. С. 355–356. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44088144> (дата обращения: 02.05.2023).
3. Патон Б.Е., Лебедев В.К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. Москва: Машгиз, 1966. 359 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/record/01006477695> (дата обращения: 15.05.2023).
4. Zhao Y., Chung H. Influence of power source dynamics on metal and heat transfer behaviors in pulsed gas metal arc welding. *International journal of heat and mass transfer*. 2018;121:887–899. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.01.058>
5. Судник В.А., Ерофеев В.А., Масленников А.В., Цвелев Р.В. Моделирование процесса дуговой сварки под флюсом, исследование влияния напряжения дуги и диаметра электрода. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2015. Вып. 6. Ч. 2. С. 12–21. Режим доступа: https://tidings.tsu.tula.ru/tidings/pdf/web/file/tsu_izv_technical_sciences_2015_06_part_2.pdf (дата обращения: 02.05.2023).
6. Чернов А.В. *Обработка информации в системах контроля и управления сварочным производством*. Монография. Новочеркасский государственный технический университет. Новочеркасск: НГТУ, 1995. 180 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/record/01001729345> (дата обращения: 17.05.2023).
7. Коновалов Ю.Н. Сравнение свойств универсального инверторного источника питания сварочной дуги МАГМА-315 и традиционных выпрямителей для механизированной сварки. *Сварочное производство*. 2013;4:23–27. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_11725159_41585366.pdf (дата обращения: 17.05.2023).
8. Сараев Ю.Н., Чинахов Д.А., Ильященко Д.П., Киселев А.С., Гордынец А.С. Исследование стабильности плавления и переноса электродного металла в процессе дуговой сварки плавящимся электродом от источников питания с различными динамическими характеристиками. *Сварочное производство*. 2016;12:3–10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29290069> (дата обращения: 17.05.2023).
9. Lenivkin V.A., Kiselev D.V., Dyurgerov N.G. Pulsed arc welding with intermittent spray metal transfer by rectangular pulses. *Welding International*. 2017;(31)4:303–306. <https://doi.org/10.1080/09507116.2016.1257242>

ВКЛАД АВТОРОВ:

Виннийчук В.А. – разработка методической части исследований, организация и выполнение экспериментальных работ;

Подрезов Н.Н. – научное руководство проектом, обработка и анализ экспериментальных данных, подготовка заключения и результатов исследования к опубликованию;

Доронин Ю.В. – ресурсное обеспечение экспериментального исследования, участие в экспериментах.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Работа выполнена без привлечения внешних источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Конфликта интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Виталий Александрович Виннийчук, инженер кафедры машиностроения и прикладной механики, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»; г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2764-7530>

e-mail: VAVinniichuk@mephi.ru

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

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

e-mail: VAVinniichuk@mephi.ru

Юрий Викторович Доронин, д.т.н., профессор, заместитель руководителя Аттестационного центра городского хозяйства, г. Москва, Российская Федерация.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3294-882X>

e-mail: VAVinniichuk@mephi.ru

AUTHORS' CONTRIBUTION:

Vinniychuk V.A. – development of the methodological part of the research, organization and implementation of experimental work;

Podrezov N.N. – scientific research supervision, processing and analysis of experimental data, preparation of a conclusion and research results for publication;

Doronin Yu.V. – resource support for experimental research, participation in experiments.

FUNDING:

The study was carried out without external funding.

CONFLICT OF INTEREST:

No conflicts of interest.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Vitaliy A. Vinniychuk, engineer, Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2764-7530>

e-mail: VAVinniichuk@mephi.ru

Nikolay N. Podrezov, Cand. Sci. (Engineering), 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.

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

e-mail: NNPodrezov@mephi.ru

Yuriy V. Doronin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of the Attestation Center for City Services, Moscow, Russian Federation.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3294-882X>

e-mail: ac-mosgaz@yandex.ru ; acgh@naks.ru

Поступила в редакцию 11.09.2023

После доработки 25.10.2023

Принята к публикации 31.10.2023

Received 11.09.2023

Revision 25.10.2023

Accepted 31.10.2023