

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.791

*С. В. Болотов, В. П. Куликов, А. В. Хомченко*

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

UDC 621.791

*S. V. Bolotov, V. P. Kulikov, A. V. Khomchenko*

### ANALYSIS OF WELDING EQUIPMENT LABORATORY TEST RESULTS

#### Аннотация

Приведена методика и результаты испытаний сварочного оборудования на подтверждение безопасности и соответствия паспортным данным контрольно-измерительной лабораторией Центра сертификации и испытаний.

#### Ключевые слова:

сварочное оборудование, установка для испытаний, требования безопасности, паспортные данные.

#### Abstract

The paper presents the method and results of welding equipment testing to confirm its safety and compliance with ratings performed by the Control and Measurement Laboratory of the Certification and Testing Center.

#### Keywords:

welding equipment, testing equipment, safety requirements, ratings.

Сегодня в мире выпускается большое количество сварочного оборудования, которое имеется почти на каждом предприятии [1].

К сварочному оборудованию предъявляются два основных требования:

– соблюдение технических характеристик, обеспечивающих необходимые параметры технологического процесса сварки [2];

– обеспечение безопасности при эксплуатации.

Эти требования регламентируются стандартами на различные типы сварочных аппаратов. В рамках ЕврАзЭС действует технический регламент ТР ТС 004/2011 *О безопасности низко-вольтового оборудования*. При этом про-

веряется соответствие стандартам – ГОСТ Р МЭК 60974-1-2012 *Оборудование для дуговой сварки. Часть 1. Источники сварочного тока* [3] (аналогичен международному стандарту EN 60974-1:2012) и ГОСТ 12.3.008-75 *Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Устройства электро-сварочные и для плазменной обработки. Требования безопасности*.

Кроме этих стандартов, требования к процедуре проверки соответствия реальных технических характеристик сварочных аппаратов паспортным данным изложены в нормативных документах Госпромнадзора, Госатомнадзора, Госстройнадзора.

Контрольно-измерительная лабо-



ратория Центра сертификации и испытаний Белорусско-Российского университета осуществляет испытания сварочного оборудования на соответствие требованиям безопасности и на соответствие паспортным данным. Результаты лабораторных испытаний, проводимых в течение пяти последних лет, позволяют косвенно судить о состоянии парка сварочного оборудования на предприятиях Республики Беларусь.

В структуре испытанного оборудования (рис. 1) преобладают источники питания для ручной дуговой сварки (ММА) – 51 %, что соответствует дан-

ным, приведенным в Концепции развития сварочного производства до 2020 г. (50...60 %) [4]. Доля сварочного оборудования для полуавтоматической MIG/MAG и автоматической SAW сварки составляет 23 и 3 % соответственно. Согласно [4], доля механизированных способов сварки должна составлять 60 %, а автоматизированных 15 %, что позволит повысить производительность труда на 15...20 %, экономить до 45 % электроэнергии, снизить потери электродного металла в 1,5–2,5 раза, улучшить качество сварных швов.

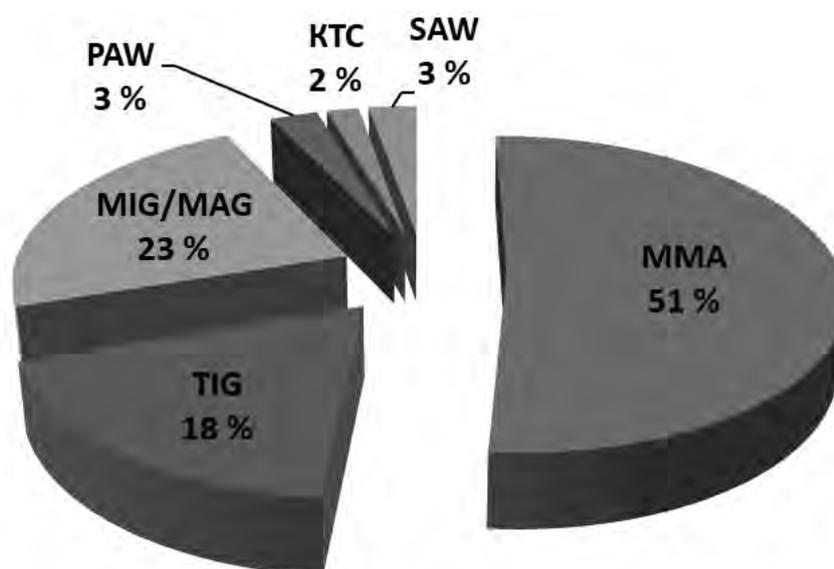


Рис. 1. Структура сварочного оборудования по способам сварки: ММА (Manual Metal Arc) – ручная дуговая сварка штучными (покрытыми) электродами; TIG (Tungsten Inert Gas) – ручная дуговая сварка в среде инертного газа неплавящимся электродом; MIG/MAG (Metal Inert/Active Gas) – дуговая полуавтоматическая сварка в защитной среде инертного/активного газа с помощью плавящегося электрода; PAW (Plasma Arc Welding) – плазменная сварка (сварка сжатой дугой); SAW (Submerged Arc Welding) – автоматическая дуговая сварка металлическим электродом (проволокой) под слоем флюса

Среди испытанного оборудования для дуговой сварки доля источников питания с инверторными преобразователями составляет 72 %, выпрямительного типа – 25 %, трансформаторов – всего 3 %, что свидетельствует о широком использовании современных источников питания, обладающих улучшенными энергетическими и технологическими характеристиками [5].

На рис. 2 представлена структура испытанного оборудования по стра-

нам-производителям. Так, наибольшую долю составляют производители из Китая – 43 %. Оборудование ведущих мировых производителей из Европы и США Fronius (Австрия), КЕМРПИ (Финляндия), ESAB (Швеция), EWM (Германия), Lincoln Electric (США) имеет объем 34 %. Доля оборудования, произведенного в России, составляет 8 %, в других странах – 15 %. Следует отметить, что наибольший объем сварочного оборудования, которое не



соответствует требованиям стандартов по безопасности и паспортным данным, имеет оборудование китайских производителей – 8 %. Все оборудование ведущих европейских производителей, США и России прошло подтверждение на соответствие.

Испытания сварочного оборудования на безопасность проводятся в следующем порядке:

1) внешний осмотр;

- 2) требования к корпусу;
- 3) средства погрузки-разгрузки;
- 4) стойкость к ударам при падении;
- 5) защита, обеспечиваемая корпусом;
- 6) сопротивление изоляции;
- 7) диэлектрическая прочность;
- 8) номинальное напряжение холодного хода;
- 9) допуски на электрические параметры.

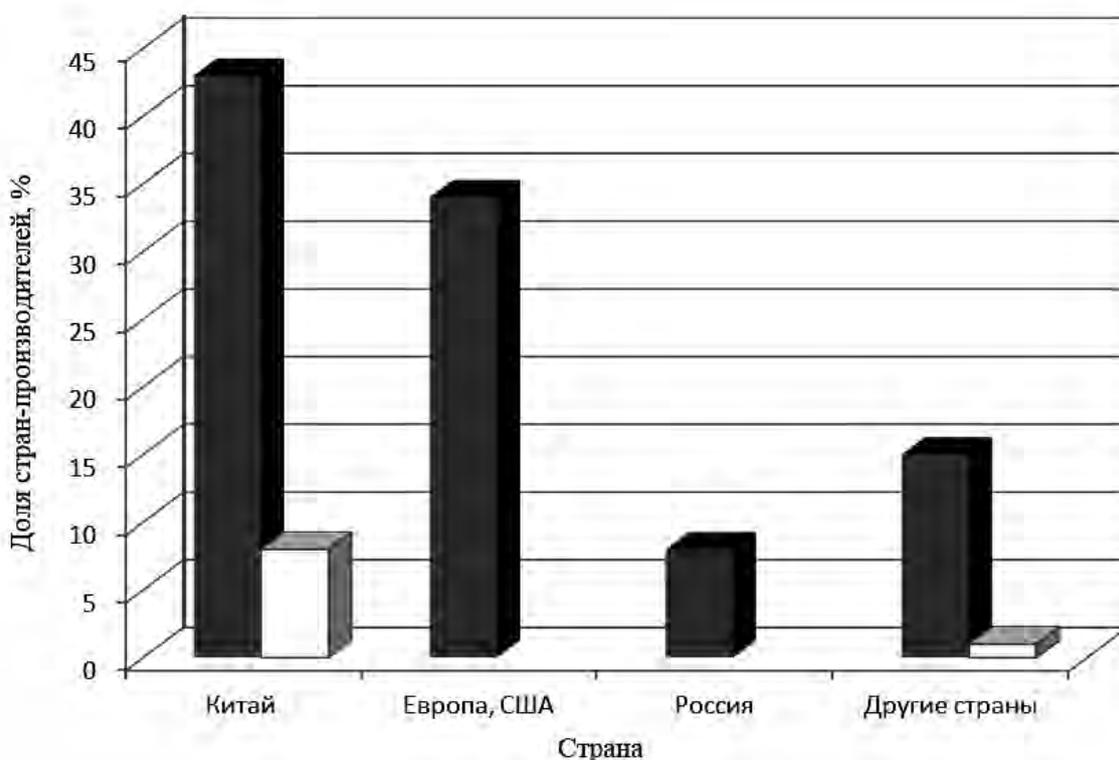


Рис. 2. Структура сварочного оборудования по странам-производителям: ■ – всего; □ – не соответствующего требованиям стандартов

При испытаниях на соответствие паспортным данным пп. 2–4 не выполняются.

Внешний осмотр предполагает обеспечение следующих требований [3]:

- защита от поражения электрическим током в режиме прямого контакта (защита, обеспечиваемая корпусом, конденсаторы, изоляция цепи сварочного тока, ток прикосновения);
- защита от поражения электри-

ческим током в условиях отказа (изоляция между обмотками цепи питания и цепи сварочного тока, внутренние электрические провода и соединения);

- тепловая защита (общие требования, конструкция, расположение, индикация);
- подключение к сети электропитания (напряжение электропитания, электропитание от источников разных напряжений, средства подключения к



цепи электропитания, маркировка зажимов, цепь защиты, анкерное крепление кабеля, входные отверстия, выключатель цепи питания, силовые кабели, сетевое соединительное устройство);

- выход (соединительные элементы сварочной цепи, питание внешних устройств, вспомогательный источник питания);

- табличка с техническими данными;

- регулирование выходной мощности (маркировка регулирующего устройства, индикация регуляторов тока или напряжения).

Самыми распространенными нарушениями, выявляемыми при внешнем осмотре, являются несоответствие номинального тока сетевого соединительного устройства (штепсельной розетки) или сечения сетевого кабеля максимальному эффективному току питания  $I_{\text{Ieff}}$ , несоответствие длины сетевого кабеля (не менее 2 м). Отдельные производители комплектуют сварочные источники питания вилкой на 16 А для подключения к бытовой сети 220 В при максимальном эффективном токе питания  $I_{\text{Ieff}}$  20 А и более, что недопустимо.

Проверка требований к корпусу источника питания проводится с использованием специальной установки РЭ-ПП010. Корпус должен выдержать энергию удара 10 Н·м по одной точке в каждой стороне аппарата. Проверка средств, обеспечивающих выполнение погрузочно-разгрузочных работ или переноски (ручек, лямок и т. п.), осуществляется приложением усилия четырехкратного веса источника (не менее 600 Н) в течение 10 с на специальной установке РЭ-ПП9. Стойкость к ударам при падении проверяется трехкратным сбросом источника на твердую и жесткую поверхность (металлическую плиту) с высоты  $250^{+10}$  мм для источника до 25 кг и с высоты  $100^{+10}$  мм для источника массой более 25 кг. Зафиксированы лишь единичные случаи невыполнения требований механической проч-

ности при испытаниях оборудования.

Проверка степени защиты, обеспечиваемой корпусом, выполняется по методике ГОСТ 14254–2015 *Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)*. Минимальная степень защиты сварочного источника IP 21S, что соответствует защите от проникновения внешних твердых предметов диаметром более 12,5 мм (используется испытательный шарнирный палец) и защите от вредного воздействия проникновения воды при вертикальном каплепадении, выполняемом с помощью специальной установки по проведению испытаний защиты оболочек от воды РЭ-ПП8. Источник испытывается в обесточенном состоянии. После окончания испытания он переносится в безопасную среду и производится испытание сопротивления изоляции и диэлектрической прочности.

Измерение сопротивления изоляции производится мегаомметром ЭСО202/2Г испытательным напряжением постоянного тока 500 В. При этом сопротивление изоляции между цепью питания и сварочным контуром должно составлять не менее 5 МОм, между цепью питания и цепью защиты, а также между сварочным контуром и цепью защиты – не менее 2,5 МОм. Результаты испытаний показали, что сопротивление изоляции сварочных источников питания значительно выше нормы и составляет от 400 до 10000 МОм. Незначительное снижение сопротивления изоляции до 100...200 МОм наблюдалось у отдельного сварочного оборудования, бывшего в эксплуатации и прошедшего проверку на соответствие паспортным данным.

Диэлектрическая прочность изоляции проверяется с помощью пробойной установки УПУ-1М. При этом испытательное синусоидальное напряжение 1100 и 1875 В частотой 50 Гц для номинального питающего напряжения 220 и 380 В прикладывается между цепью питания и корпусом, сварочной цепью и корпусом, а испытательное синусо-



соидальное напряжение 2200 и 3750 В частотой 50 Гц для номинального питающего напряжения 220 и 380 В – между цепью питания и цепью сварки. Изоляция должна быть способна выдержать испытательное напряжение в течение 60 с при токе отключения 100 мА. Нарушение диэлектрической прочности изоляции при испытаниях является достаточно редким.

Проверка требований к теплоизо-

ляции, а также испытания тепловой защиты не являются обязательными пунктами стандартных испытаний и выполняются по требованию заказчика по методике, изложенной в [6] с использованием специальной установки РЭ-ППЗ.

Отдельную группу составляют электрические испытания, которые проводятся для подтверждения требований безопасности и паспортных данных на специальной установке (рис. 3).

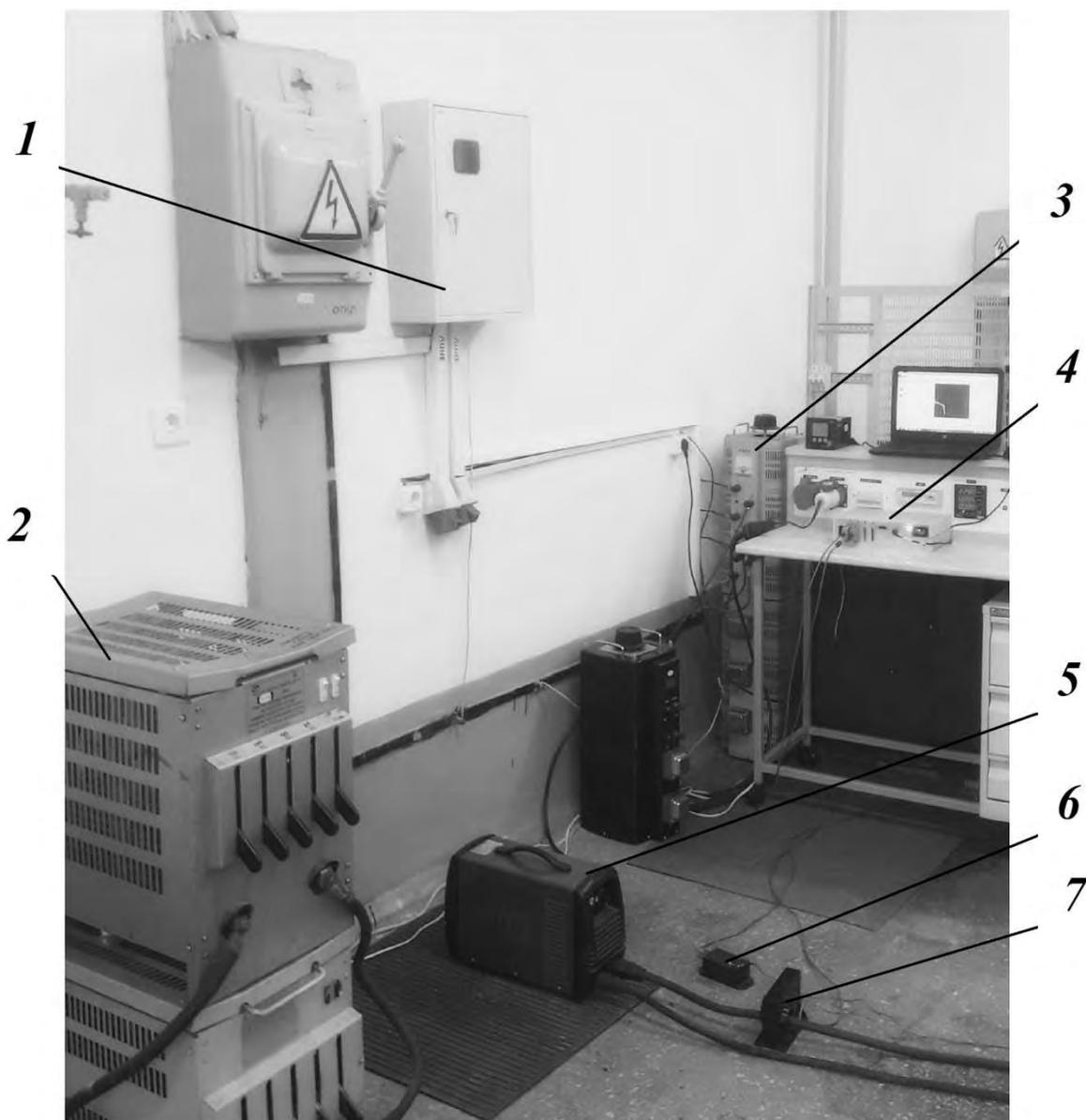


Рис. 3. Установка для электрических испытаний сварочного оборудования: 1 – щиток силовой; 2 – балластные реостаты; 3 – лабораторный автотрансформатор; 4 – регистратор параметров сварочных процессов; 5 – испытываемый сварочный источник питания; 6 – датчик напряжения; 7 – датчик тока

Питание установки осуществляется от трехфазной сети переменного тока 380 В, 50 Гц со щитка силового ЩС (поз. 1), в котором установлены аппараты защиты и счетчик электрической энергии СЕ301ВУ S31, подключенный к компьютеру по интерфейсу RS-485 и позволяющий регистрировать действующие значения входного напряжения  $U_1$ , тока питания  $I_1$ , потребляемой мощности  $P_1$ , частоту питающего напряжения  $f$ . Для регулирования входного питающего напряжения испытываемых сварочных источников используется лабораторный автотрансформатор TSGC-30k (поз. 3), позволяющий изменять трехфазное линейное напряжение от 0 до 430 В при токе до 40 А. Измерение номинального напряжения без нагрузки  $U_0$ , напряжения нагрузки  $U_2$  и сварочного тока  $I_2$  осуществляется с помощью регистратора РКДП-0401 (поз. 4) с датчиками напряжения LV 100/SP83 (поз. 6) и тока LT 1000-SI (поз. 7), работа которых основана на эффекте Холла. Приведенная погрешность измерений составляет не более 1 %. Регулирование нагрузки испы-

тываемого сварочного источника питания (поз. 5) в диапазоне от 5 до 600 А осуществляется с помощью двух параллельно включенных балластных реостатов РБ-302У2 (поз. 2).

Предельное значение номинального напряжения холостого хода источника питания  $U_0$  по ГОСТ Р МЭК 60974-1-2012 составляет на постоянном токе 113 В (пиковое значение) и на переменном токе 80 В (пиковое значение). Для источников с механически удерживаемыми горелками допустимое напряжение – 141 В (пиковое значение) и для плазменной резки – 500 В (пиковое значение). Следует отметить, что ГОСТ 12.2.007.8-75 устанавливает предельное значение напряжения холостого хода 100 В среднего значения. Зарегистрировать пиковое значение напряжения  $U_{0max}$  возможно по его осциллограмме (рис. 4) или с помощью схемы, представленной на рис. 5 при изменении подстроечного сопротивления  $R_1$  от 0 до 5 кОм. Для приведенной на рис. 4 осциллограммы пиковое значение напряжения  $U_{0max} = 94,4$  В, в то время как среднее  $U_{0cp} = 89,19$  В.

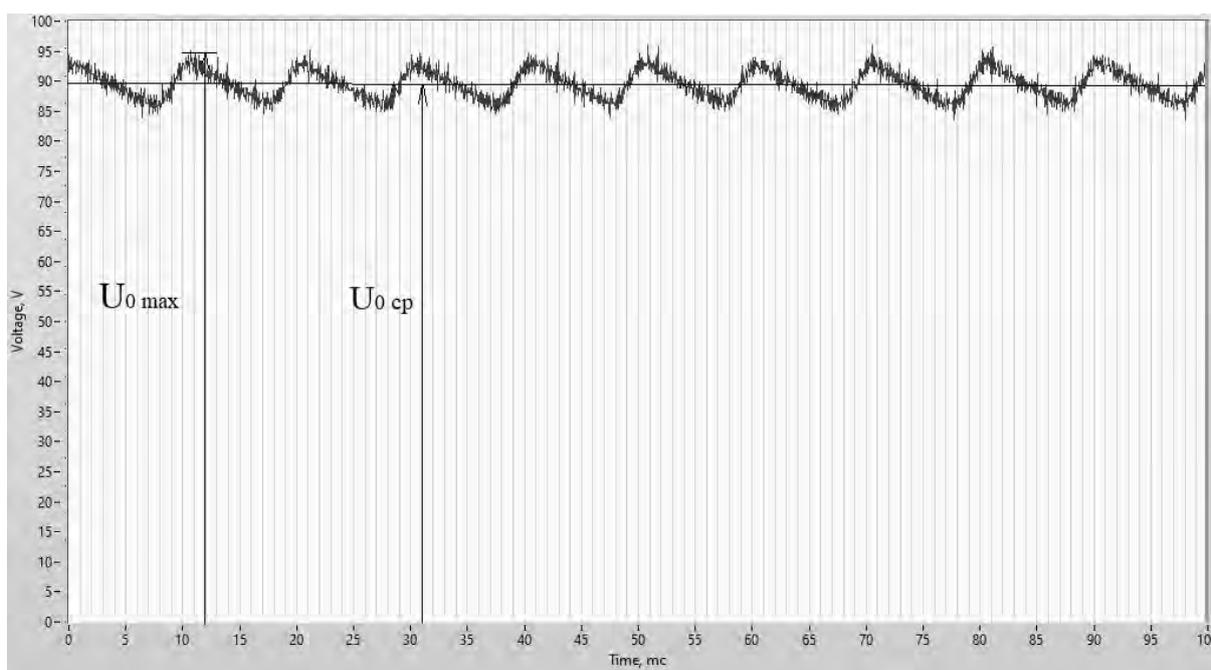


Рис. 4. Осциллограмма напряжения холостого хода источника ОЛИВЕР MMA200 (цена деления 20 В, 5 мс)



На рис. 6 представлена гистограмма частот распределения номинальных напряжений холостого хода испытанных источников питания, работающих на постоянном токе. Напряжение холостого хода в диапазоне 50...60 В имеет

максимальное число сварочного оборудования – 26 %, что достаточно для нормального зажигания дуги. Напряжение выше 113 В (пикового значения) выявлено менее, чем у 1 % испытанных источников.

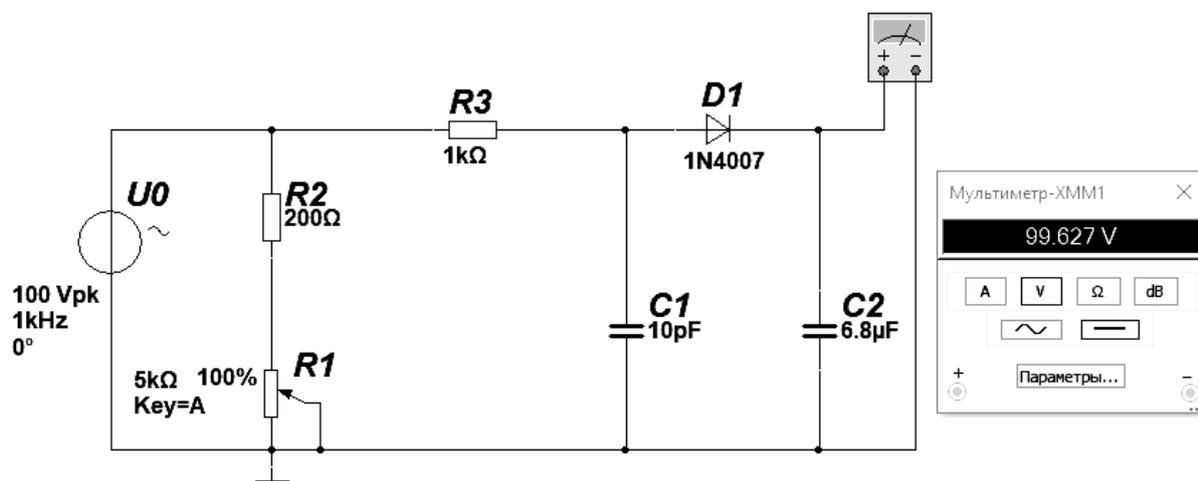


Рис. 5. Схема для выделения пикового значения напряжения

На рис. 7 представлена гистограмма частот распределения номинальных максимальных значений сварочного тока испытанных источников питания. Сварочный ток в диапазоне от 151 до 200 А имеет подавляющее преимущество сварочного оборудования – 43 %, на токах до 150 А работает только 9 %, а на токах свыше 401 А – 5 % источников питания. Следует отметить, что 7 % испытанного сварочного оборудования не прошли подтверждение соответствия по заявленному в паспорте номинальному максимальному сварочному току и максимальной потребляемой мощности, из них – 90 % китайского производства.

### Выводы

1. В структуре испытанного сварочного оборудования доля аппаратов для ручной дуговой сварки составляет 51 %, механизированной – 23 %,

автоматической – 3 % при оптимальных значениях 25, 60, 15 % соответственно, что свидетельствует о недостаточном применении на производстве высокопроизводительных способов сварки. Доля сварочного оборудования с инверторными преобразователями составляет 72 %, что свидетельствует о широком использовании современных источников питания, обладающих улучшенными энергетическими и технологическими характеристиками.

2. Наибольшее количество сварочного оборудования поступает из Китая – 43 %. При этом 8 % его общего количества не подтверждает соответствие требованиям безопасности и паспортным данным. Основными нарушениями являются несоответствие номинального тока сетевого соединительного устройства (штепсельной розетки) или сечения сетевого кабеля максимальному эффективному току питания, несоответствие длины сетевого кабеля, несоответствие



допусков на электрические параметры.

3. Напряжение холостого хода большинства испытанного сварочного оборудования лежит в диапазоне 50...60 В, а сварочного тока – в диапазоне от 151 до 200 А. Превышение напряжения хо-

лостного хода выявлено менее, чем у 1 % источников, а несоответствие заявленному номинальному максимальному сварочному току – у 7 % сварочного оборудования.



Рис. 6. Гистограмма частот распределения номинальных напряжений холостого хода

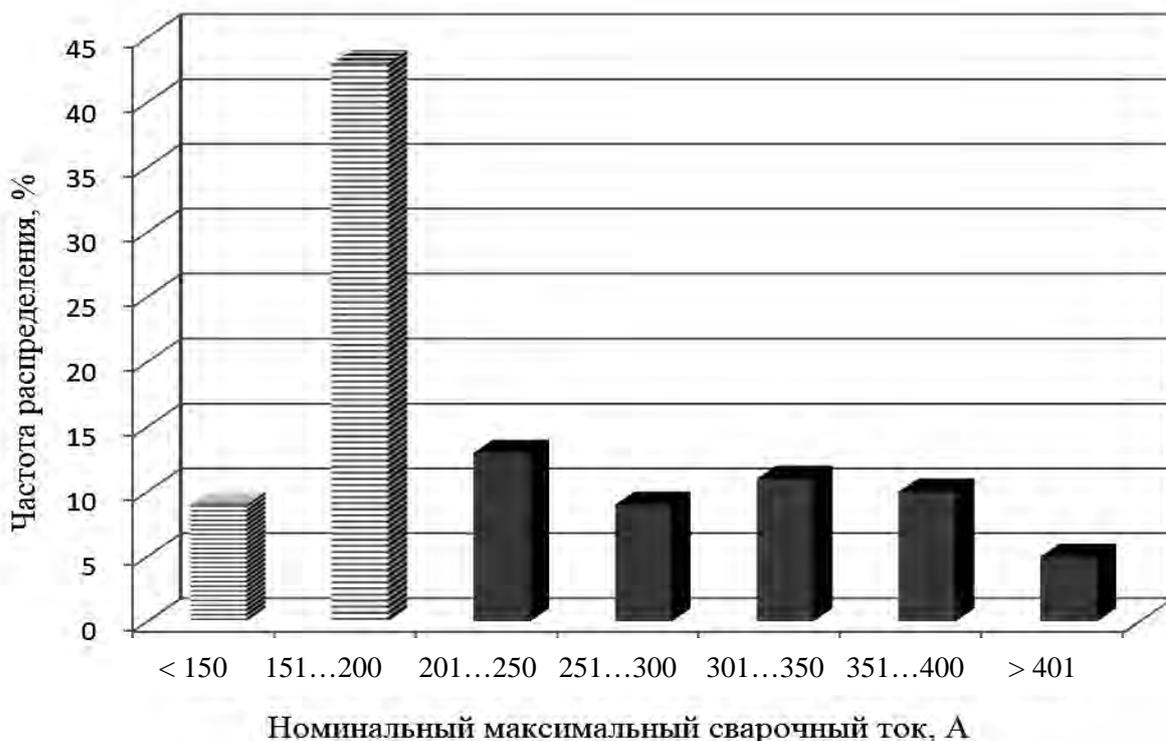


Рис. 7. Гистограмма частот распределения номинальных максимальных значений сварочного тока



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением: учебное пособие / Под ред. Г. Г. Чернышова и Д. М. Шашина. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 464 с.
2. **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением и термической резки: учебник / В. П. Куликов. – Минск : Новое знание; Москва : ИНФРА-М, 2016. – 463 с.
3. **ГОСТ Р МЭК 60974-1–2012.** Оборудование для дуговой сварки. Ч. 1: Источники сварочного тока. – Взамен ГОСТ Р МЭК 60974-1–2004 ; введ. 22.11.12. – Москва: Стандартиформ, 2014. – 85 с.
4. **Денисов, Л. С.** Основы концепции развития сварочного производства Республики Беларусь до 2025 г. / Л. С. Денисов. – Минск : Право и экономика, 2016. – 62 с.
5. **Лупачёв, В. Г.** Источники питания сварочной дуги / В. Г. Лупачёв, С. В. Болотов. – Минск: Высшая школа, 2013. – 207 с.
6. **Болотов, С. В.** Установка для электрических и тепловых испытаний источников питания дуговой сварки / С. В. Болотов, В. А. Игнатов, К. В. Овсянников // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2016. – № 3 (52). – С. 121–127.

*Статья сдана в редакцию 03 апреля 2020 года*

**Сергей Владимирович Болотов**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-296-99-31-56. E-mail: s.v.bolotov@mail.ru.

**Валерий Петрович Куликов**, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет.

**Александр Васильевич Хомченко**, д-р физ.-мат. наук, доц., Белорусско-Российский университет.

**Sergei Vladimirovich Bolotov**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: +375-296-99-31-56. E-mail: s.v.bolotov@mail.ru.

**Valery Petrovich Kulikov**, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University.

**Alexander Vasilyevich Khomchenko**, DSc (Physics and Mathematics), Associate Prof., Belarusian-Russian University.