

**ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ  
В ЛАБОРАТОРИЯХ**

УДК 621.3.082 + 537.523

**СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И  
ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЖЭЛЕКТРОДНОГО  
ПРОМЕЖУТКА ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКЕ**

© 2026 г. С. В. Ильин, Н. А. Панькин

Поступила в редакцию 01.11.2025 г.

После доработки 25.11.2025 г.

Принята к публикации 23.12.2025 г.

Низковольтные электрические разряды нашли свое практическое применение при электроискровой обработке (ЭИО) металлических поверхностей, основанной на взаимном переносе вещества анода и катода (обрабатываемый объект). При этом может происходить нанесение покрытий, легирование поверхностного слоя обрабатываемого металла или его эрозия [1]. Указанные особенности ЭИО позволяют широко применять ее в различных областях промышленности [1] для восстановления и модификации свойств деталей механизмов.

Физико-химические свойства поверхности, формируемой при воздействии электрических разрядов, зависят от химического состава электродов, среды обработки, а также временных и энергетических параметров электрических импульсов [2]. Для регистрации последних собран измерительный стенд, включающий в себя установку электроискрового нанесения покрытий Alier-31 (можно использовать также и другие аналогичные приборы), электродные материалы, датчики тока и напряжения, фотодетектор, осциллограф и компьютер. В качестве катода взяты пластины стали 35ХГСЛ. Анодом служила проволока из оловянной бронзы ERCuSn-C (по стандарту AWS A5.7-84). Регистрация и синхронизации одиночных импульсов тока и напряжения, а также оптического сигнала из межэлектродного промежутка осуществлялись с помощью многоканального осциллографа Tektronix TPS2024.

Оптическое излучение из области искрового разряда регистрировалось с помощью разработанного в лаборатории фотодетектора. В качестве его светочувствительного элемента

взят кремневый PIN-фотодиод BPW34 со спектральным диапазоном от 400 до 1100 нм и временем переключения 20 нс. Для получения электрического сигнала от фотодиода изготовлен усилитель на основе микросхемы AD8656 (рис. 1а). Его электрическая схема состоит из трансимпедансного усилителя ( $DA_{1.1}$ ,  $R_1$ ,  $C_1$ ), фильтра низких частот ( $R_2$ ,  $C_2$ ) и дополнительного каскада усиления ( $DA_{1.2}$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ). Время переключения фотодетектора составило 0.3 мкс с шириной полосы пропускания 1.9 МГц.

**Рис. 1.**

Электрический ток межэлектродного промежутка регистрировался с помощью собранного датчика тока (рис. 1б). Основным его элементом является трансформатор тока ( $TA_1$ ). Резистор  $R_2$  определяет величину тока во вторичной обмотке при регистрации электрического импульса. Резистор  $R_1$  предназначен для затухания колебаний во вторичной обмотке и размагничивания магнитопровода во время паузы между импульсами. Диод  $VD_1$  задает направление тока. Разработанный датчик имеет следующие характеристики: максимальная измеряемая величина тока 800 А, рабочий частотный диапазон от 50 Гц до 0.9 МГц, коэффициент трансформации  $k = 1000$ . В качестве магнитопровода трансформатора выбран материал N87 (TDK Electronics).

Для примера на рис. 2 показаны временные зависимости силы тока, напряжения и электрического сигнала с фотодетектора при регистрации одиночного импульса электроискрового разряда с помощью собранного стенда. На нем можно выделить характерные временные участки. В частности, перед непосредственным разрядом напряжение между электродами составляло 31 В. В момент их касания разность потенциалов равна нулю. Это позволяет получить сигнал на схеме управления для разрядной цепи установки Alier-31. Через 4 мкс коммутирующее устройство осуществляет подачу энергии с конденсаторов установки к разрядному промежутку. По истечении некоторого времени (в рассматриваемом случае, равному 8 мкс) после начала подачи тока формируются условия для начала электрического разряда – регистрируется резкое возрастание интенсивности оптического сигнала. Он может возникать при непосредственном контакте электродов, когда площадь соприкосновения недостаточна для прохождения импульса тока. Это приводит к локальному разогреву контактирующих частей электродов, выбросу вещества и формированию разряда. Местом для возникновения искрового разряда могут быть также области с максимальным градиентом электрического поля – частицы, находящиеся в межэлектродном пространстве, а также вершины неоднородной поверхности анода и катода (возникновение последующих всплесков интенсивности оптического сигнала).

**Рис. 2.**

При достижении максимального значения тока (через 25 мкс после начала импульса) коммутирующее устройство прекращает подачу энергии к электродам. В этот момент происходит быстрое уменьшение значения напряжения, а также наблюдается максимум сигнала с фотодетектора. Отличие формы импульса тока от прямоугольной связано с индуктивностями в цепи разряда.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

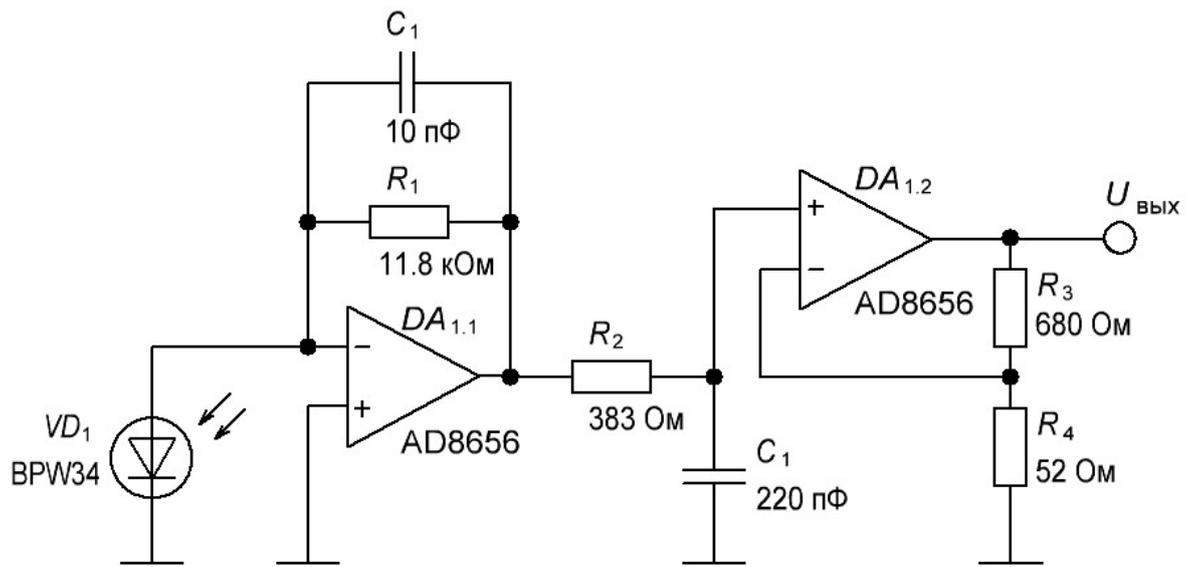
1. *Barile C., Casavola C., Pappalettera G., Renna G. // Coatings. 2022. V. 12. P. 1536. <https://doi.org/10.3390/coatings12101536>*
2. *Намитокоев К.К. Электроэрозионные явления. Москва: Энергия, 1978.*

*Адрес для справок: Россия, 430005, Саранск, ул. Большевистская, 68а, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, Институт наукоемких технологий и новых материалов. E-mail: sergey.v.ilin@mail.ru*

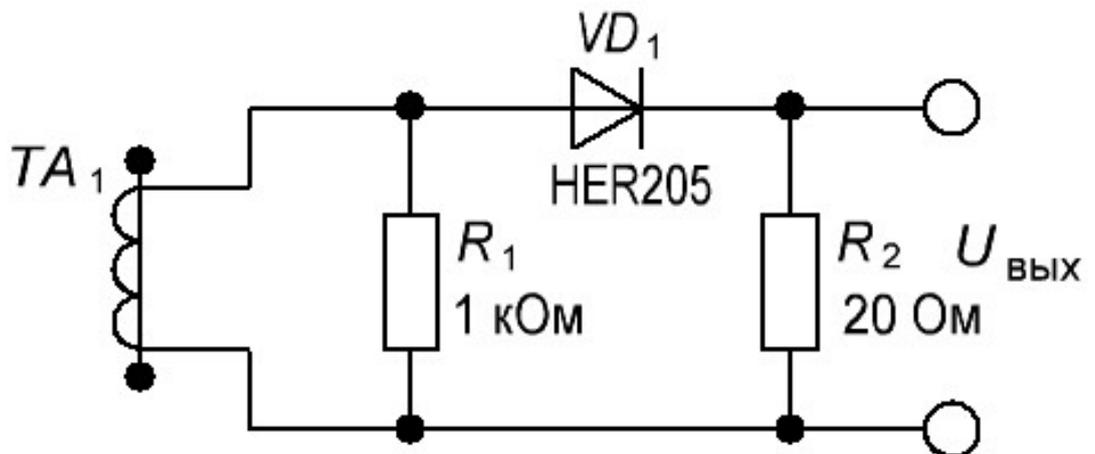
## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

**Рис. 1.** Электрические схемы фотодетектора (а) и датчика тока (б).

**Рис. 2.** Временные зависимости работы установки: 1 – ток, 2 – напряжение между электродами, 3 – сигнал с фотодетектора.



(a)



(б)

Рис. 1

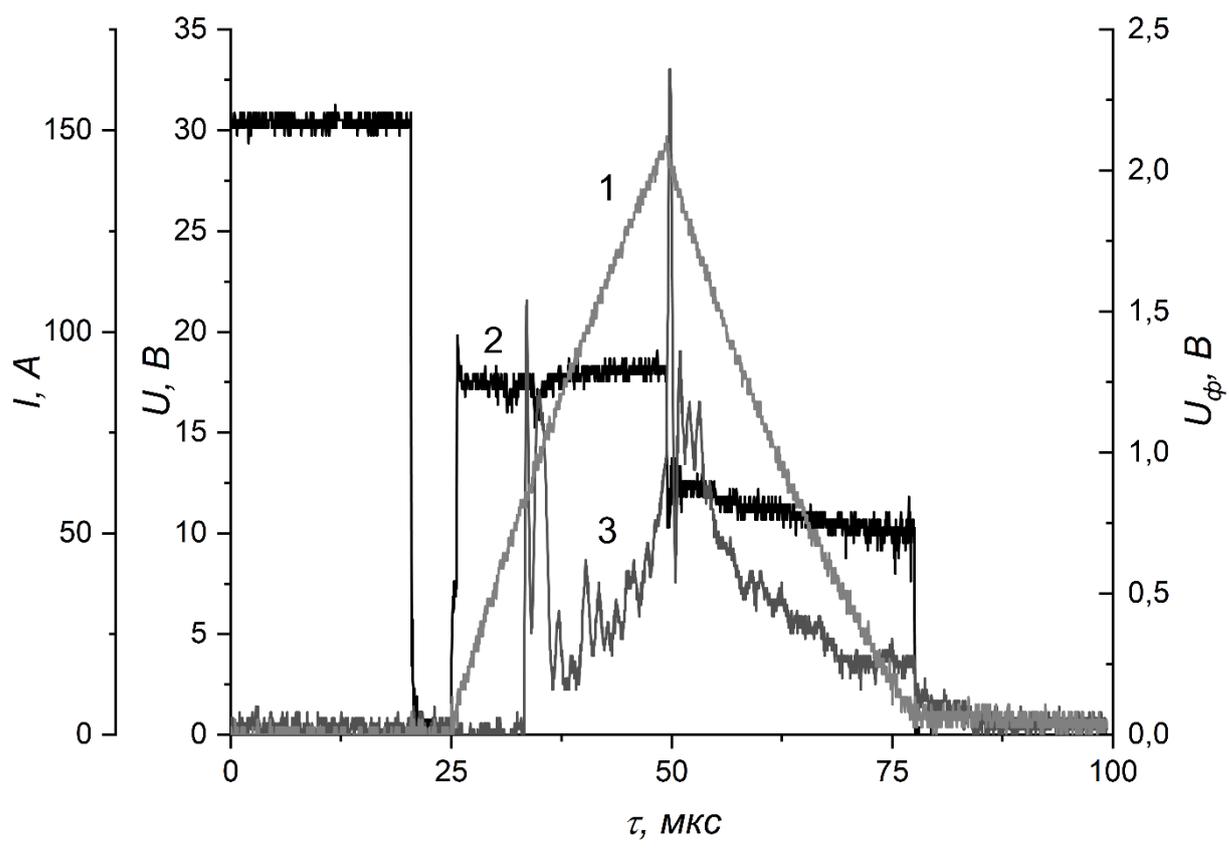


Рис. 2