

## ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПАРА В ВАКУУМНОЙ ДУГЕ

А.В. Устинова, студент  
 Российский университет транспорта (МИИТ)  
 (Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-2-2-129-131

**Аннотация.** В статье рассматривается измерение плотности пара в вакуумной дуге, которое производилось по методике, предполагающей ослабление тока в электронном пучке, пронизывающем облако пара. Автор приходит к выводу о том, что данные о плотности среды в межэлектродном промежутке можно получить посредством зондирования вакуумной дуги электронным пучком, а количество газа, адсорбированного в контактах, сильно влияет на  $pdl$ .

**Ключевые слова:** вакуумный, дуга, плотность.

Плотность пара в вакуумной дуге, возникающей между контактами из железа в вакуумном выключателе при размыкании постоянного тока 10-50 а и восстанавливаемомся напряжении 110 в, измерялась по ослаблению электронного пучка с энергией 4-10 кэВ. При токе 25-35 а, температуре обезгаживания контактов 800-900 °С и давлении окружающей среды 10-6 мм рт. ст. средняя плотность пара и выделившегося газа  $\rho$  составляет 0.95 -  $1.2 \cdot 10^{-6}$  г/см<sup>3</sup>. Увеличение количества газа, адсорбированного на поверхности контактов, приводит к значительному увеличению  $\rho$ ; при токе 30 а  $\rho$  может достигать  $1.7 \cdot 10^{-5}$  г/см<sup>3</sup>.

Как известно, при размыкании тока контактами, помещенными в вакуум, в парах материала контактов возникает дуга, которая при определенных условиях гаснет через некоторый промежуток времени. Это явление используется в вакуумных выключателях.

Современные вакуумные выключатели с успехом отключают постоянные токи в несколько десятков и переменные в несколько сотен и даже тысяч ампер. Очевидно, что процесс образования и обрыва дуги существенно зависит от абсолютной величины плотности пара, изменения ее во времени и распределения в междуэлектродном промежутке. Однако, за исключением ориентировочных данных о плотности пара в вакуумном разряде, полученных

А. Г. Зимелевым в импульсных рентгеновских трубках с холодным катодом, в известной нам литературе не имеется сведений по этому вопросу. Вместе с тем наличие данных о плотности пара в вакуумной дуге было бы очень полезным при разработке вакуумных выключателей.

**1. Методика.** В настоящей работе измерение плотности пара в вакуумной дуге производилось по ослаблению тока в электронном пучке, пронизывающем облако пара. Этот метод весьма чувствителен и сравнительно прост. Если электроны не претерпевают на своем пути многократных соударений с атомами среды и апертура приемника мала, можно считать, что подавляющая часть электронов, испытавших соударение и отклонившихся от первоначального направления, в приемник не попадает. В этом случае ток электронов  $I$ , попадающих в приемник после прохождения пути  $l$  в среде с плотностью  $\rho$ , равен

$$I = I_0 e^{-\alpha \int_0^l p dt} \quad (1)$$

$$-\alpha \int_0^l p dt = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

где  $I_0$  - ток пучка электронов при  $l=0$ ;  $\alpha$  - массовый коэффициент ослабления в см<sup>2</sup>/г, убывающий с ростом энергии электронов. Зная  $I$ ,  $I_0$ ,  $\alpha$  и  $l$ , можно вычислить и среднюю плотность пара на пути электронного пучка.

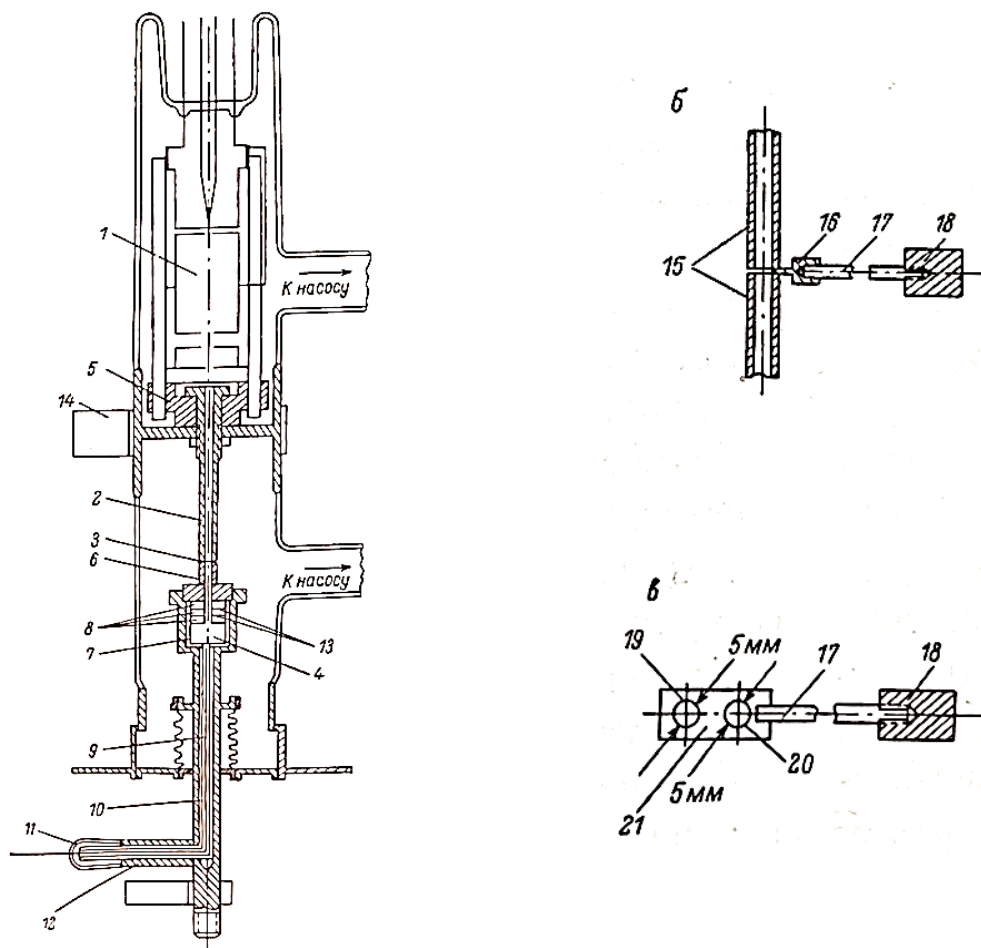


Рис. 1.

*а* - экспериментальная трубка. 3 - плоскость контакта электродов; 4 - коллектор; 5 - направляющая, обеспечивающая соосность электронной пушки и электродов; 7, 8, 10, - кварцевые изоляторы; 9 - вывод коллектора; 11, 12 - стеклянная трубка и коваровый переход, через которые впаян вывод коллектора; 14 - клемма подвода тока к неподвижному электроду. *б* - замыкатель 16 введен между контактами 15; 17 - соединительный железный стержень; 18 - железный якорь, *в* - никелевая рамка 21 с сеткой и пленкой Al 19 и с сеткой без пленки 20.

Недостатком этого метода является чувствительность электронного пучка к электрическим и особенно к магнитным полям. Измерения в вакуумной дуге осложняются еще и тем, что канал тока не сохраняет постоянного положения, а все время перемещается вместе с катодным пятном. Это наложило определенный отпечаток на методику измерений.

Конструкция экспериментальной трубки приведена на рисунке 1. Электронный пучок формировался в электронной пушке 1 с электростатической фокусировкой и прямонакальным вольфрамовым V-образным катодом, проходил внутри полых электродов 2, 6 (внутренний диаметр 4, наружный 8 мм) и улавливался коллек-

тором 4, выполненным в виде камеры Фарадея с отверстием диаметром в 4 мм. Поверхность неподвижного электрода в месте контакта была сферической, подвижного – плоской. Вследствие этого последний контактный мостик при размыкании всегда находился на периметре отверстия в электродах. Это ограничивало расстояние от оси электронного пучка до источника пара (по крайней мере, в начальный момент образования дуги) в пределах диаметра отверстия от 0,5 до 3,5 мм (диаметр электронного луча составлял около 1 мм).

## 2. Результаты измерений.

Измерения проводились при непрерывной откачке. С помощью двух насосов ЦВЛ-100 осуществлялась дифференциаль-

ная откачка камер электронной пушки и электродов. Трубки обезгаживались в электрической печи при температуре 450 °С, контакты в сомкнутом состоянии прогревались при температуре 800-900 °С путем пропускания через них переменного тока 300 а до тех пор, пока при этой температуре давление в вакуумной системе не достигало  $5-7 \cdot 10^{-6}$  мм рт. ст., далее производилось размыкание постоянного тока 25-50 а около 50 раз. При самих измерениях давление в вакуумной системе было  $5 \cdot 10^{-7}-2 \cdot 10^{-6}$  мм рт. ст. Измерения проводились в двух трубках. В первой трубке пары масла не вымораживались и в промежутках между опытами давление в трубке достигало  $5-8 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. Эти промежутки иногда лились несколько дней. Во второй трубке пары масла вымораживались жидким азотом, который сохранялся в ловушке и в промежутках между опытами. В течение всего времени работы с этой трубкой давление в ней не превышало  $0.5-1 \cdot 10^{-5}$  мм рт. ст. Это существенно сказалось на результатах измерений.

В первой трубке измерения были произведены при постоянных токах 9-30 а, а во второй 23-50 а. Во всех случаях восста-

навливающееся напряжение составляло 110 в, подвижный электрод перемещался на расстояние 1-1,5 мм, катодом был электрод, в котором помещался коллектор электронов. При токах 9-35 а энергия электронов в пучке задавалась равной 4-10 кэв, при 50 а – 10 кэв, при меньших энергиях электронный пучок отклонялся на электроды магнитным полем размыкаемого тока.

### 3. Вывод:

1. Зондируя вакуумную дугу электронным пучком, можно получить данные о плотности ( $\rho$ ) среды в межэлектродном промежутке.

2. Количество газа, адсорбированного в контактах, сильно влияет на  $pdl$

3. При токе 25-35 а в дуге между железными электродами, обезгаженными при температуре 800-900 °С и находящимися в вакууме  $10^{-6}$  мм рт. ст., средняя плотность пара и выделившегося газа составляет (0.95-1.20):  $10^{-6}$  г/см<sup>3</sup> [соответственно  $\rho_0=(2.8+3.7) \cdot 10^{-1}$  мм рт. ст.] и увеличивается до  $(1.7-17.0) \cdot 10^{-6}$  г/см<sup>2</sup> [ $\rho=(5.1 \div 52.0) \cdot 10^{-1}$  мм рт. ст.], контакты в течение нескольких суток находились при давлении  $10^{-4}$  мм. рт. ст.

### Библиографический список

1. Вакуумные дуги // Под ред. Дж. Лафферти. – М.: Мир, 1982.

## MEASUREMENT OF VAPOR DENSITY IN A VACUUM ARC

A.V. Ustinova, *Student*

Russian University of Transport (МИТ)  
(Russia, Moscow)

**Abstract.** *The paper considers the measurement of vapor density in a vacuum arc, which was carried out using the technique that involves weakening the current in the electron beam penetrating the vapor cloud. The author concludes that data on the medium density in the interelectrode gap can be obtained by probing the vacuum arc with an electron beam, and the amount of gas adsorbed in the contacts strongly affects  $pdl$ .*

**Keywords:** *vacuum, arc, density.*