

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИБОРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ\*

*И. В. Лопатин, Н. С. Зинченко*

Харьков

Устройство и принцип действия прибора для исследования электронных пучков в районе кроссовера изложены в работе [1].

---

\* Доложено на Украинской республиканской конференции по электронной оптике и ее применениям, посвященной 100-летию со дня рождения В. И. Ленина, 24 сентября 1969 г., Харьков.

Принцип измерений с помощью прибора заключается в перемещении измерительного диска, имеющего набор калиброванных отверстий различных диаметров вдоль оси пучка; вращается он таким образом, что любое из отверстий может устанавливаться соосно с пучком в любом его поперечном сечении.

Методика обработки результатов позволяет по зависимостям коэффициента токопрохождения  $\eta = \frac{I_{\text{кол}}}{I_{\text{кат}}}$  через отверстия

диска графическим способом построить профили пучков и радиальное распределение плотности тока в любом поперечном сечении пучка.

Отличительными особенностями прибора является следующее:

- 1) при измерениях длина пучка не изменяется (это особенно важно при исследованиях высокоперевансных пучков);
- 2) производится учет тока вторичных электронов из измерительного диска.

Прибор в течение четырех лет использовался в отделе оптики заряженных частиц ИРЭ АН УССР для анализа пучков, формируемых трехэлектродными электронными пушками с продольной компрессией [2].

Переванс исследуемых пучков изменялся от  $0,5 \text{ мка/в}^{3/2}$  до  $30 \text{ мка/в}^{3/2}$ .

Опыт работы с прибором позволил определить его недостатки, усовершенствовать конструкцию и расширить возможности.

Усовершенствованная конструкция прибора представлена на рис. 1: 1 — измерительный диск; 2 — молибденовые вставки с калиброванными отверстиями; 3 — коллектор; 4 — пушка; 5 — вакуумные вводы; 6 — редуктор; 7 — индикатор продольных перемещений диска; 8 — винт продольных перемещений диска; 9 — стойка механизма управления диском; 10 — лимб отсчета угла поворота

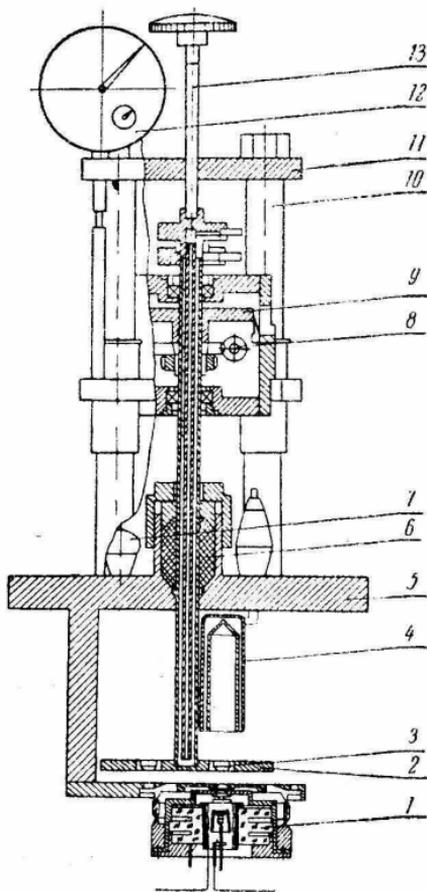


Рис. 1. Схематическое устройство прибора.

диска; 11 — тефлоновое вакуумное уплотнение; 12 — опорная пластина пушки.

В новой конструкции прибора, в отличие от предыдущих, благодаря применению заменяемых молибденовых вставок с калиброванными отверстиями интервал значений их диаметров значительно увеличен. Число вставок (и отверстий) равно 35, интервал изменения диаметров отверстий — от 0,5 до 5 мм. Конструкция позволяет использовать вставки с большими диаметрами отверстий. Благодаря этому с помощью прибора можно исследовать с большой точностью пучки различных диаметров. Применение в качестве материала вставок молибдена позволяет исследовать пучки большой мощности. С этой же целью улучшена система охлаждения измерительного диска. Для этого увеличено сечение каналов, подводящих и отводящих воду, и в теле диска расположена полость, омываемая водой. Эти изменения введены в связи с тем, что в первых вариантах прибора при исследовании пучков большой мощности оплавливались края отверстий.

В новой конструкции прибора измерительный диск вращается при помощи механического редуктора с большим коэффициентом замедления. Азимутальное положение диска определяется по лимбу с точностью  $\pm 5'$ . Это позволяет выставлять калиброванные отверстия в центре пучка шкалы лимба и проверять по максимуму тока. Опыт работы с прибором показывает, что такой способ выставления отверстий значительно ускоряет процесс измерений и повышает их точность.

Одно из калиброванных отверстий измерительного диска может иметь малый диаметр (например, 0,1 мм). В таком случае прибор используется как дырочная камера.

При оценке точности измерений прибора для исследования электронных пучков следует иметь в виду два обстоятельства: с одной стороны, для уменьшения искажений пучка за счет изменения его объемного заряда необходимо в процессе измерений отбирать измерительным диском возможно меньший ток; с другой стороны, при малом отборе тока диском точность измерений уменьшается. Это вызвано тем, что вид зависимостей коэффициента токопрохождения  $\eta$  от радиуса калиброванных отверстий связан с видом кривой радиального распределения тока. Типичные

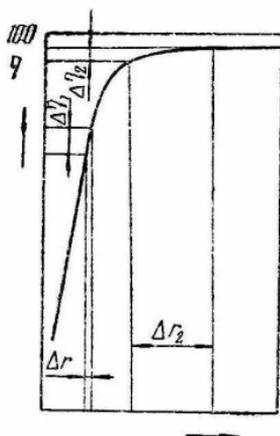


Рис. 2. Определение погрешностей измерений по зависимости коэффициента токопрохождения от радиуса отверстия в диске.

кривые зависимостей  $\eta = \eta(r)$  представлены на рис. 2. Участки «насыщения» на кривых соответствуют граничным частям пучка. Из рисунка видно, что если величина коэффициента токопрохождения определяется с некоторой постоянной абсолютной ошибкой  $\Delta\eta$ , абсолютная ошибка в определении радиуса пучка зависит от того, по какой величине  $\eta$  производится графическое построение. При больших величинах  $\eta$  (95 ÷ 100 %) величина  $\Delta r$  увеличивается.

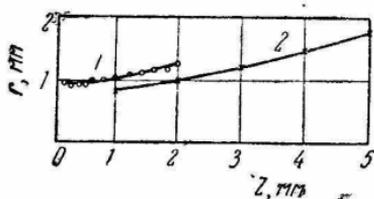


Рис. 3. Сравнение профилей электронного пучка, полученных с помощью прибора (кривая 1) и дырочной камеры (кривая 2):  $I_{e2} = 15$  ма;  $V_1 = 440$  в;  $V_2 = 100$  в;  $p_2 = 15$  мка/в<sup>3/2</sup>.

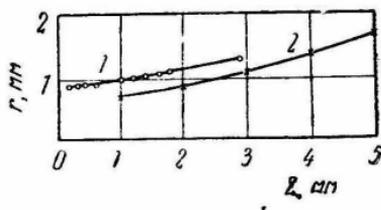


Рис. 4. Сравнение профилей электронного пучка, полученных с помощью прибора (кривая 1) и дырочной камеры (кривая 2):  $I_{e2} = 15$  ма;  $V_1 = 840$  в;  $V_2 = 100$  в;  $P_2 = 15$  мка/в<sup>3/2</sup>.

Этот вопрос надо решать компромиссным путем. Опыт применения прибора и проведенные оценки показывают, что приемлемое значение  $\eta$ , по которому определяется радиус, составляет 90%. Анализ траектории крайнего электрона пучка с первансом  $\sim 5$  мка/в<sup>3/2</sup>, построенной с помощью электролитической ванны, показывает, что при малых расстояниях от измерительного диска (0,2 ÷ 0,4 диаметра апертурного отверстия диафрагмы пушки), изменения диаметра пучка, вносимые им, невелики и составляют 5 ÷ 10% в сравнении с невозмущенным пучком. Искажения, вносимые дырочной камерой на тех же расстояниях от пушки и оцениваемые как изменение диаметра пучка, могут достигать до 80%. При увеличении расстояния от пушки (1-2 диаметра апертуры диафрагмы и более) эти искажения уменьшаются.

Следовательно, прибор для исследования электронных пучков вносит значительно меньшие искажения исследуемых пучков, чем дырочная камера. Это особенно важно при исследовании непараксиальных пучков на малых расстояниях от пушки.

Из сравнения профилей электронных пучков (рис. 3) и радиального распределения плотности тока (рис. 5), полученных с помощью прибора и с помощью дырочной камеры, видно их различие.

Как видно из рисунков, диаметр пучка на расстоянии, сравнимом с диаметром апертуры, определенный с помощью дырочной камеры, меньше определенного с помощью прибора приблизительно на 25%. Исследование высокоперевансных пучков целесообразно проводить с помощью рассматриваемого прибора.

Для исследования пучков, фокусируемых магнитным полем, все детали прибора должны быть изготовлены из немагнитных материалов. Магнитное поле создается во всем объеме прибора.

Особенности распределения потенциала в трехэлектродных пушках с продольной компрессией (потенциал первой диафрагмы более потенциала второй) приводят к тому, что при измерениях с помощью дырочной камеры вторичные электроны из нее фокусируются магнитным полем, ускоряются и бомбардируют первый анод, вызывая локальные перегревы и интенсивное газоотделение. При измерениях с помощью прибора ток электронов, перехватываемых измерительным диском, мал (~10%). Поэтому измеряемые пучки могут иметь значительно большие токи.

Опыт применения прибора для исследования электронных пучков показывает целесообразность его использования при исследовании высокоперевансных (несколько десятков  $\text{мкА}/\text{В}^{3/2}$ ) как параксиальных, так и непараксиальных пучков.

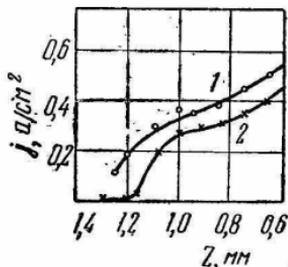


Рис. 5. Сравнение радиальных распределений плотности тока, полученных с помощью прибора (кривая 1) и дырочной камеры (кривая 2):  $I_{e2} = 15 \text{ ма}$ ;  $V_1 = 840 \text{ в}$ ;  $V_2 = 100 \text{ в}$ ;  $\rho_2 = 15 \text{ мкА}/\text{В}^{3/2}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Зинченко, И. В. Лопатин. ПТЭ, № 3, 32, 1967.
2. Н. С. Зинченко. УФЖ, 12, 11, 1828, 1967; ЖТФ, 38, 1, 184, 1968; ЖТФ, 38, 8, 1344, 1968; УФЖ, 13, 11, 1828, 1968; УФЖ, 14, 2, 213, 1969.