

## ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ НАТРИЯ ЧЕРЕЗ ОБОЛОЧКИ РАЗРЯДНЫХ ТРУБОК

Свешников В.К., Куренщиков А.В.

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», Саранск, Россия (430007, Саранск, ул. Студенческая, 11а), e-mail: akur@inbox.ru*

**В статье нами предлагается экспресс метод определения коэффициента диффузии натрия через оболочки разрядных трубок. В процессе разряда в натриевых лампах высокого давления, при определенных условиях, эмиссия натрия с оболочки разрядной трубки носит ионный характер. Этот факт позволяет по величине ионного тока с разрядной трубки судить о величине коэффициента диффузии натрия через ее оболочку. Приводится схема установки и рассматривается экспресс метод определения коэффициента диффузии натрия через оболочку разрядной трубки по току насыщения отбираемого с измерительного электрода, расположенного в вакуумной камере. Предложенный метод может быть использован для выборочного контроля качества разрядных трубок, дозированных натрием, перед сборкой приборов в производственных и лабораторных условиях.**

Ключевые слова: разрядная трубка, инертный газ, электрод, диффузия, натриевая лампа.

## RAPID METHOD FOR DETERMINATION OF SODIUM DIFFUSION COEFFICIENT THROUGH THE SHELL DISCHARGE TUBES

Sveshnikov V.K., Kurenschikov A.V.

*Mordovia State Pedagogical Institute n.a. M.E. Evseveva, Saransk, Russia (430007, Saransk, street Studencheskaya, 11a), e-mail: akur@inbox.ru*

**In this article we propose a rapid method for the determination of the diffusion coefficient of sodium through the shell discharge tubes. During discharge in high pressure sodium lamps, under certain conditions, the emission from the shell of sodium discharge tube is of ionic character. This fact allows the largest ion current from the discharge tube to judge the value of the coefficient of diffusion of sodium through its shell. The scheme of the installation and seen rapid method of determining the coefficient of diffusion of sodium through the shell of the discharge tube to the bleed current saturation measuring electrode arranged in a vacuum chamber. The proposed method can be used to selectively control the quality of discharge tubes with sodium dosage before assembling devices in industrial and laboratory environments.**

Keywords: a discharge tube, an inert gas, the electrode, diffusion, sodium lamp.

Одним из актуальных направлений в энергетике ближайшего будущего является разработка и дальнейшее совершенствование приборов с парами натрия. Серийно за рубежом и в России выпускают энергоэкономичные натриевые лампы. Известны источники ионов натрия [5], проведены исследования по созданию и разработке лазеров на линиях натрия [3]. Разрабатываются устройства для прямого преобразования солнечной энергии в электрическую на базе МГД – преобразование в изотермической плазме щелочных металлов [10].

Базовым элементом газоразрядных приборов с парами натрия является разрядная трубка (РТ). Ее стоимость, в зависимости от конструкции прибора, составляет 40–60 % от его полной стоимости. В процессе работы приборов с парами щелочных металлов происходит диффузионная утечка металла через материал оболочки РТ, что является причиной ухудшения характеристик приборов и преждевременного выхода их из строя. В частности, утечка

натрия в натриевых лампах высокого давления приводит к снижению световой отдачи [2] и увеличению падения напряжения на лампе [8] с последующим выходом их из строя.

Поэтому актуальной проблемой в производстве приборов с парами натрия является разработка методов контроля качества РТ на диффузионную утечку натрия, непосредственно перед сборкой приборов, с целью исключения поступления к потребителю потенциально негодных приборов.

Ниже рассматриваются методы определения коэффициента диффузии натрия в разрядных трубках натриевых ламп. Предлагается экспресс-метод определения коэффициента диффузии натрия через оболочки разрядных трубок, расположенных в вакуумной камере, по ионному току, отбираемому с измерительного электрода.

### **Методы определения коэффициента диффузии натрия через оболочки разрядных трубок**

Вопросам экспериментального определения коэффициента диффузии натрия через оболочки РТ посвящено ограниченное число работ. В работе [1] изложена методика определения коэффициента диффузии натрия и примесей кремния и кальция в поликристаллической корундовой трубке натриевой лампы высокого давления методом поперечного среза. Толщина слоя керамики, снимаемого на одну пробу, составляла 0,05–1 мм. Пробы изучались при помощи спектрографа. Изложенный метод сложен, длителен по времени. Он не применим для определения коэффициента диффузии натрия в РТ.

Известен масс-спектрометрический метод определения коэффициента диффузии натрия через оболочку разрядных трубок [9]. Метод основан на регистрации ионного тока омегатронным датчиком РМО-4С масс-спектрометра ИПДО-2А. Недостатком данного метода является применение специальной аппаратуры, значительные материальные и временные – затраты на проведение эксперимента. Кроме того, существенным недостатком данного метода является то, что натрий конденсируется на элементах конструкции омегатронного датчика с образованием пленки, что приводит к преждевременному выходу его из строя.

В изобретении [4] предложен способ определения количества щелочного металла, протиффундирующего за единицу времени через разрядную трубку газоразрядной лампы. Он основан на регистрации ионного тока, снимаемого с измерительного электрода, расположенного на внешней колбе лампы. Данный способ применим к контролю качества РТ в изготовленных лампах. Он не позволяет осуществлять отбраковку РТ непосредственно перед сборкой ламп. Неразрушающие методы исследования и контроля разрядных ламп отражены также в монографии [7].

### **Установка и методика определения коэффициента диффузии**

В процессе разряда в РТ с парами натрия, в частности в натриевых лампах высокого давления, при определенных условиях эмиссия натрия с оболочки РТ носит ионный характер [6]. Этот факт позволяет по величине ионного тока с РТ судить о величине коэффициента диффузии металла через её оболочку.

На рисунке 1 приведена схема установки для определения коэффициента диффузии щелочного металла через оболочку РТ. Разрядная трубка 1 расположена аксиально внутри измерительного электрода 2, и они размещены в вакуумной камере 3 откачного поста.

Электрическая схема установки состоит из цепи питания РТ и измерительной ветви. Гальваническая связь между цепью питания и измерительной ветвью исключается путем применения в установке разделительного трансформатора Тр. Регулировка потребляемой РТ электрической мощности достигается с помощью лабораторного автотрансформатора ЛАТР.

Измерительная ветвь включает: регулируемый выпрямитель ВУП-2К, микроамперметр и вольтметр. К измерительному электроду прикладывается отрицательный потенциал относительно электродов РТ. Измерительный электрод имеет цилиндрическую форму. С целью ограничения влияния измерительного электрода на тепловой режим РТ, он выполнен в виде сетки. Сетчатый электрод изготовлен из вольфрамовой проволоки диаметром  $2 \cdot 10^{-4}$  м. Размеры ячеек сетки составляет порядка  $1,6 \cdot 10^{-7} \div 2,5 \cdot 10^{-7}$  м. Отношение диаметра измерительного электрода к диаметру РТ выбрано нами в пределах 2–2,5. Длина  $L$  – измерительного электрода равной длине РТ. В схеме использован электронный микроамперметр типа Ф116/2.

Разрядная трубка и измерительный электрод смонтированы в вакуумной камере откачного поста. Промышленная откачка системы рассчитана на получение минимального давления около  $10^{-5}$  Па.

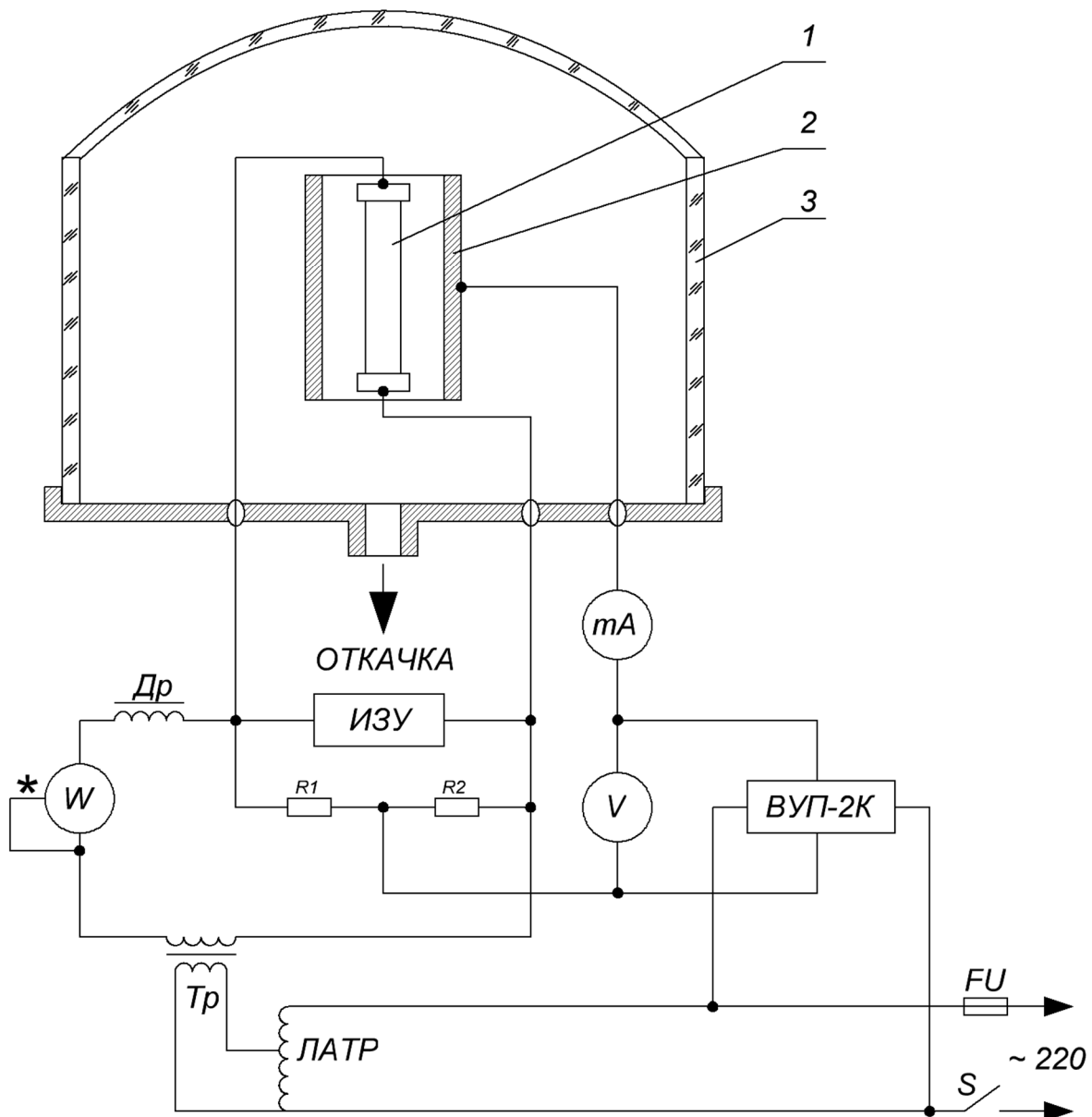


Рис. 1. Схема установки для определения коэффициента диффузии щелочного металла через оболочку разрядной трубки: 1 – разрядная трубка; 2 – измерительный электрод; 3 – вакуумная камера; ИЗУ – импульсное зажигающее устройство; Тр – разделительный трансформатор; ВУП-2К – регулируемый выпрямитель; ЛАТР – лабораторный автотрансформатор

### Методика определения коэффициента диффузии

Коэффициент диффузии определяется по  $I$  ионному току насыщения, отбираемого с измерительного электрода по формуле [9]:

$$D = \frac{I(\ln r_2 - \ln r_1)}{2\pi NqL}. \quad (1)$$

Здесь:  $r_1$  и  $r_2$  – соответственно радиусы разрядной трубки и измерительного электрода;  $N$  – концентрация паров щелочного металла в разряде;  $q$  – заряд иона щелочного металла;  $L$  – длина разрядной трубки.

Для измерения ионного тока вакуумная камера установки ВУП-5М откачивается до предельного вакуума. После чего в РТ возбуждается газоразрядная плазма. После стабилизации разряда в РТ на измерительный электрод подается плавно регулируемое напряжение от выпрямителя ВУП-2К и снимают зависимость тока от напряжения аналогичную [9]. Из построенного графика находится ток насыщения по которому по (1) определяется значение коэффициента диффузии щелочного металла через оболочку РТ.

Нами экспериментально определен коэффициент диффузии натрия через керамическую оболочку натриевой лампы высокого давления ДнаТ-400. Разрядная трубка лампы изготовлена из поликристаллической окиси алюминия по типовой технологии. Измерения проводились в вакууме при давлении остаточных газов порядка  $10^{-5}$  Па. Мощность потребляемая РТ поддерживалась равной 400 Вт, что соответствует температуре 1500 К.

Величина тока насыщения, снимаемого с измерительного электрода, составляет  $1,35 \cdot 10^{-6}$  (рис. 2).

При расчете использованы следующие значения:  $r_1 = 3,5 \cdot 10^{-3}$  м;  $r_2 = 7 \cdot 10^{-3}$  м;  $L = 0,115$  м;  $N = 1,2 \cdot 10^{24}$  м<sup>-3</sup> [9].

$$D = \frac{1,35 \cdot 10^{-6} (\ln(7 \cdot 10^{-3}) - \ln(3,5 \cdot 10^{-3}))}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,2 \cdot 10^{24} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,115} = 6,75 \cdot 10^{-12} (\text{м}^2/\text{с}).$$

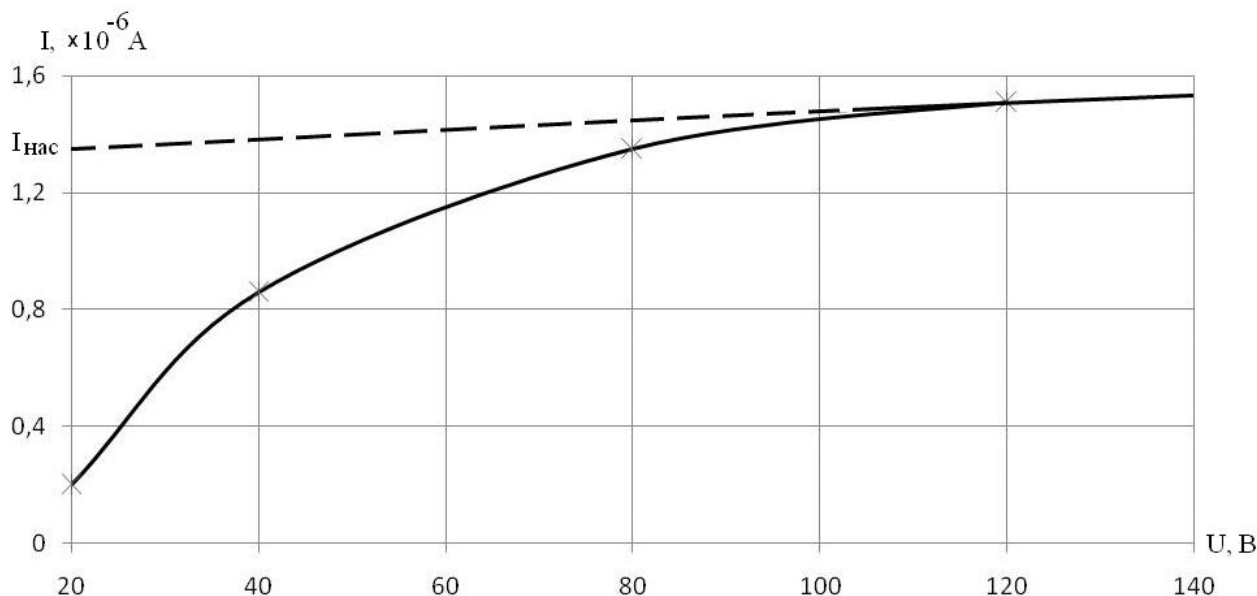


Рис. 2. Зависимость ионного тока от напряжения на измерительном электроде

## Выводы

1. Рассмотрен экспресс метод определения коэффициента диффузии щелочного металла через оболочку разрядной трубки по току насыщения отбираемого с измерительного электрода, расположенного в вакуумной камере.
2. Предложенный метод может быть использован для выборочного контроля качества разрядных трубок, дозированных щелочными металлами перед сборкой приборов в производственных и лабораторных условиях с целью ограничения поступления к потребителю потенциально негодных приборов.

## Список литературы

1. Дубок В.А. Массоперенос и диффузия примесей в поликоровой керамике натриевых ламп высокого давления / В.А. Дубок, В.С. Пронькин // Электрические источники света. Труды ВНИИИС. – Саранск, 1978. – Вып. 10. – С. 123-129.
2. Камодин А.Н. Зависимость световой отдачи натриевой лампы высокого давления от структуры разрядной трубки / А.Н. Камодин, В.К. Свешников // Международный журнал экспериментального образования. – 2009. – № 5. – С. 33.
3. Патент RU 2197044 кл. H0153/97.
4. Свешников В.К. Способ контроля качества разрядных трубок газоразрядных ламп / В.К. Свешников // А.с. SU, 1285543 кл. H01J9/2, 1986.
5. Свешников В. К. Источник ионов натрия / В. К. Свешников, В. Г. Васильченко // Прикладная физика. – 2013.– № 5. – С.56-58.
6. Свешников В.К. Десорбция натрия с разрядных трубок натриевых ламп / В.К. Свешников // Электронная техника. Сер. Электровакуумные и газоразрядные приборы. – 1986. – № 2. – С. 6-9.
7. Свешников В.К. Неразрушающие методы исследований и контроля разрядных ламп / В.К. Свешников, В.И. Королев, В.Н. Куплинов / Мордов. гос. пед. ин-т. – Саранск, 2007. – 201с.
8. Свешников В. К. Влияние утечки натрия на падение напряжения / В. К. Свешников, В. Г. Васильченко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2013. – № 2. – С. 11–15.
9. Свешников В.К. Метод определения коэффициента диффузии натрия через оболочку разрядной трубки / В.К. Свешников // Известия вузов. Физика. – 1985. – № 3. – С. 62-65.
10. Dunning G.J. Towards a high – temperature solar electric converter / G.J. Dunning, A.J. Palmer // J.Appl.Phys. – 1981. – V.52. – № 12. – P. 7086-7091.

**Рецензенты:**

Маргулис В.А., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой теоретической физики, НИ МГУ им. Н.П. Огарева, г. Саранск.

Кокинов А.М., д.т.н., профессор кафедры светотехники, НИ МГУ им. Н.П. Огарева, Саранск.