

## Эмиссионные свойства металлопористых катодов

И.П. Мельникова, В.Н. Лясников, А.В. Лясникова

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина  
410054, Россия, г. Саратов  
ул. Политехническая, 77

Исследованы вопросы оптимизации технологического процесса серийного изготовления металлопористых катодов с целью совершенствования их эмиссионных параметров. Рассмотрены катоды, в которых применяются импрегнирующие вещества различной активности. Учтены особенности состава порошков, используемых для изготовления конкретных типов катодов. Изложенные материалы представляют собой основные результаты многолетних теоретических и экспериментальных исследований катодов современных электровакуумных приборов.

*Ключевые слова:* металлопористые катоды, эмиссионные вещества, долговечность катодов, эмиссионные параметры катодов, активность эмитирующего вещества.

### Введение

Исследование, разработка, изготовление и поддержание в процессе эксплуатации совершенных параметров катодов представляют собой одну из важнейших проблем процесса создания современных электровакуумных приборов. Высококачественные катоды должны эмитировать необходимый поток электронов и в течение всего срока службы прибора быть устойчивыми к бомбардировке заряженными частицами.

Статья посвящена металлопористым катодам, которые изготавливают из вольфрамового порошка и эмиссионного вещества. Цель работы: оптимизация технологий подготовки материалов и формирование эмитирующих таблеток из них, изучение взаимосвязи испарения и долговечности катодов с плотностью (пористостью), проницаемостью металлопористых таблеток и характеристиками исходных материалов (величиной частиц вольфрамового порошка и активностью пропитывающего вещества).

В катодном производстве используют различные промышленные порошки, причем спектр применяемых порошков расширяется в результате изменения их исходного гранулометрического состава путем применения разных методик. Широко используют седиментацию, длительный отжиг с последующим размолом [1; 2], процессы перекристаллизации, например, методом окисления порошка и последующего восстановления окислов [3]. И хотя при разработке катодов в каждом конкретном случае выбор плотности

вольфрамовых каркасов производят трудоемким экспериментальным путем с последующей производственной доработкой, учесть гранулометрический состав разных партий порошка даже одной и той же марки невозможно. Средний же размер частиц порошка и связанная с ним его активность от партии к партии изменяются, иногда значительно (табл. 1). Это приводит к снижению надежности эмиссионных параметров приборов.

В работе [4] исследуется влияние температуры и составов пропитывающих веществ на основе смеси окислов  $\text{BaO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SrO}$  и  $\text{BaO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на активность бария при свободном испарении оксидов в вакууме.

Активность металлов в системе оксид-газ по определению принята равной отношению фактического давления его паров к давлению паров металла над чистым металлом при данной температуре, а активность кислорода – равной активности кислорода над оксидом конгруэнтного состава. Нами установлено:

– увеличение содержания  $\text{CaO}$  уменьшает активность кислорода, что ведет к росту активности бария;

– повышение активности пропитывающего вещества на основе окислов  $\text{BaO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  при увеличении содержания  $\text{CaO}$ , а следовательно, и повышение эмиссии катодов происходит только в том случае, если при пропитке вольфрамовых таблеток катодов используют свежеприготовленный алюминат.

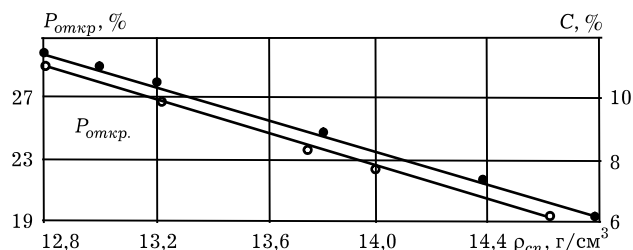


Рис. 1. Зависимость открытой пористости спеченных каркасов  $P_{откр}$  и содержания активного вещества  $C$  в пропитанных катодах, изготовленных из вольфрамовых порошков со средним размером частиц от 2,5 до 12,0 мкм, от их плотности  $\rho_{сн}$

При работе импрегнированного катода при температурах около 1000 °С в его объеме происходит взаимодействие  $W$  с пропитывающим эмиссионным веществом  $BaO - CaO - Al_2O_3$  с образованием свободного  $Ba$ , который поступает на поверхность через поровые каналы.  $Ba$  мигрирует по поверхности катода с образованием монослоя диполя  $Ba^+ - O^-$  и окончательно испаряется с поверхности, что приводит к понижению работы выхода [5]. Резкое снижение эмиссии происходит при прекращении поступления  $Ba \uparrow$  на поверхность катода и обогащении ее  $O$ . Недостаточная проникающая способность  $Ba \uparrow$  влечет за собой неполное покрытие им поверхности катода, что приводит к ухудшению эмиссионных параметров.

В работающих приборах происходят также процессы, снижающие эмиссионную способность катода. К ним относится повышенное распыление бария вследствие бомбардировки поверхности катода ионами остаточных газов в условиях ухудшенного вакуума. Для обеспечения стабильности работы катода в этом случае необходимо увеличить диффузию бария на поверхность. Избыток поступления  $Ba \uparrow$  на поверхность также нежелателен, так как приводит к повышению скорости испарения и снижению долговечности и надежности катода.

Обычно в производстве металлопористых католов  $W$ -каркасы контролируют методами определения плотности, открытой пористости, а также содержания импрегнирующего вещества в их порах после пропитки. Из рис. 1 видно, что эти характеристики католов взаимосвязаны и не зависят от средних размеров частиц порошков, из которых они изготовлены.

Однако известно [1; 2; 6; 7], что эмиссионная способность католов зависит не только от их пористости (плотности), но и от таких параметров порошка, как средняя величина частиц

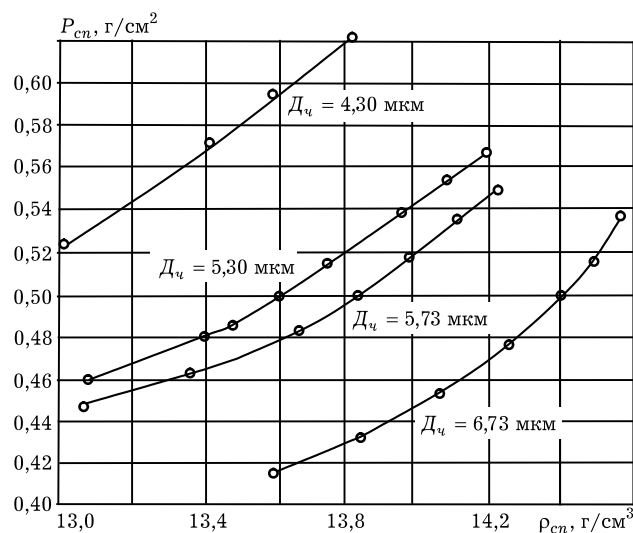


Рис. 2. Зависимость величины открытого порового канала  $P_{сн}$  от плотности спеченных каркасов  $\rho_{сн}$ , изготовленных из вольфрамовых порошков с разным средним диаметром частиц  $D_ч$

и распределение их по размерам. В работе [8] указывают на необходимость очень точного контроля размеров частиц вольфрамового порошка. С другой стороны, в работах [1; 2] показано, что в пористых каркасах с одинаковой плотностью, но изготовленных из порошков с частицами разного диаметра, открытые поровые каналы, которые характеризуют пропускную способность каркасов для свободного  $Ba$  из объема катода на его поверхность, существенно отличаются по величине (рис. 2).

Поэтому для оперативного решения вопросов по повышению качества католов, не зависящего от параметров используемого в данном конкретном случае  $W$ -порошка, целесообразно установить корреляцию между характеристиками используемых материалов (размером частиц порошка, а также активностью пропитывающего вещества), плотностью, проницаемостью  $W$ -таблеток из них и эмиссионной способностью католов.

## 1. Методика экспериментов

Для изготовления эмитирующих таблеток католов нами использовался отечественный вольфрамовый порошок марки ВЧДК фр. А. Исследовали также характеристики другого широко используемого в производстве католов порошка марки ВЧДК фр. Б и  $W$ -каркасов из него. Эффективным способом снижения активности порошка является его укрупнение путем чередования отжига и размолв. При этом достигается не только укрупнение частиц, но и приближение

его от обычного для порошков полидисперсного состояния к более монодисперсному [9]. Проводили ступенчатые отжиги порошков в водороде с точкой росы  $\leq -45$  °С с последующими размолами спека на валковой мельнице и прессовали W-каркасы катодов.

Средний размер частиц  $D_c$  порошка рассчитывали по формуле Козени [10]. Поровый канал максимальной величины  $D_c$  определяли по ГОСТ 26849–86, а также использовали оценку его величины в единицах давления протекания сжатого воздуха  $P_{сн}$ , кг/см<sup>2</sup> через пропитанный спиртом каркас при появлении на его поверхности первого продавленного пузырька воздуха. Для определения величины частиц и размера порового канала использовали «пробные» таблетки диаметром 5,65 мм и высотой от 2,0 до 5,0 мм.

Плотность каркасов определяли традиционным методом – взвешиванием и измерением геометрических размеров.

Открытая пористость  $P_{откр}$  определялась по результатам измерения массы каркасов до и после насыщения их дистиллированной водой. Каркасы катодов для диодов диаметром 2,8 мм и толщиной 1,0 мм пропитывали алюминатом  $3\text{BaO} \cdot 0,5\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , а каркасы для молекулярных ламп – алюминатом  $3\text{BaO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ .

Испытания катодов на эмиссионную долговечность и оценку испарения с них выполняли в стеклянных диодах. После откачки диодов катоды активировали при температуре 1150 °С и плотности тока 2 А/см<sup>2</sup>. Испытания эмиссионной долговечности выполняли в форсированном режиме при повышенной температуре  $T_{\phi} = 1250$  °С и начальной плотности тока 1 А/см<sup>2</sup>. Измеряли электронную эмиссию при воздействии импульсов тока длительностью 1 мкс и частотой следования 100 Гц. За критерий срока службы принимали время, в течение которого происходил спад катодного тока на 10% от его начального значения при постоянном анодном напряжении и температуре  $T_p = 1050$  °С (катоды с непокрытой поверхностью).

Для расчета долговечности катодов при  $T_p$  использовали соотношение

$$\tau_p = \tau_{\phi} 4^{(T_{\phi} - T_p)/50},$$

где  $T_p$ ,  $T_{\phi}$  – рабочая температура катода и температура испытаний в градусах Цельсия;  $\tau_p$ ,  $\tau_{\phi}$  – долговечность при  $T_p$ ,  $T_{\phi}$  в часах.

Для оценки степени испарения с катода с помощью спектрофотометра CARY 2415 измеря-

ли пропускание света ( $T$ ), которое оценивалось по измерению пропускной способности света длиной волны 0,55 мкм через образцы стекла от колб диодов до и после напыления в результате испытаний срока службы при температуре 1250 °С в течение 538 ч, что эквивалентно работе в течение 140 тыс. ч при  $T_p = 1050$  °С.

Использовали образцы размером 3 × 5 см, вырезанные с запыленных участков колб и с участков без напыления. Была рассчитана суммарная масса напылений с двух образцов от диодов по разнице веса стекла с напылением и чистого стекла.

## 2. Экспериментальные результаты

$\text{Ba} \uparrow$  мигрирует по полостям между активным веществом, находящимся в порах каркаса, и вольфрамом, а также по узким каналам между соприкасающимися частицами вольфрама. В результате в катоде образуются открытые каналы для передвижения  $\text{Ba} \uparrow$ . Наименьшие по размеру участки этих каналов находятся между частицами вольфрама, поэтому размеры промежутков между частицами и определяют проницаемость каркасов. Величину работающих в катодах открытых поровых каналов можно оценивать уже в W-каркасах после их спекания из спрессованного порошка. Максимальные по размеру каналы из набора открытых поровых каналов W-каркасов довольно точно определяются по минимальному давлению сжатого воздуха  $P_{сн}$ , кг/см<sup>2</sup>, необходимому для продавливания первого пузырька через пропитанный спиртом каркас. Из рис. 2 видно, что размеры открытых поровых каналов  $P_{сн}$ , кг/см<sup>2</sup> зависят как от плотности (пористости) каркаса, так и от размера частиц порошка.

Оптимальную величину открытого порового канала для катодов в условиях высокого вакуума стеклянных диодов  $\sim 3,99 \cdot 10^{-5}$  Па, которая обеспечивает необходимую пропускную способность активатора эмиссии из их объемов на поверхность, определяли методом анализа срока службы катодов по их максимальной долговечности и минимальному напылению. Катоды были изготовлены из вольфрамовых порошков с разным диаметром частиц  $D_c$ . Причем одни из них имели одинаковый размер открытого порового канала (табл. 2), а другие отличались по его величине. Исходя из экспериментальных результатов, приведенных в табл. 2, установили, что наилучшие эмиссионные параметры

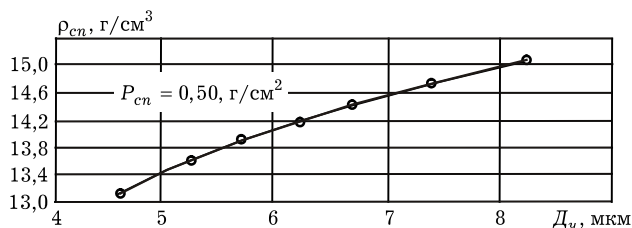


Рис. 3. Зависимость плотности спеченных каркасов  $\rho_{\text{сн}}$  при условии наличия в них открытого порового канала постоянной величины  $P_{\text{сн}}$  от среднего размера частиц вольфрамовых порошков  $D_{\text{ч}}$

катодов, например по долговечности, достигаются при использовании вольфрамовых каркасов с величиной открытого порового канала в единицах давления протекания сжатого воздуха  $0,50 \dots 0,52 \text{ кг/см}^2$ , что соответствует минимальным промежуткам между частицами каркаса величиной  $1,96 \dots 2,04 \text{ мкм}$ .

В таблице 2 в качестве параметров контроля приведены:  $T_{\text{к}}$  – температура последнего ступенчатого отжига;  $D_{\text{ч}}$  – средний диаметр частиц обработанного порошка;  $\Delta V/V$  – усадка таблеток при спекании;  $P_{\text{сн}}$  – величина открытого порового канала спеченных таблеток в единицах давления протекания воздуха;  $\rho_{\text{сн}}$  – плотность спеченной таблетки;  $T$  – пропускание света;  $M_{\text{Ва}}$  – масса напыления;  $\tau_{\text{р}}$  – долговечность катодов.

Оптимальная величина открытого порового канала также зависит от активности реакции взаимодействия импрегнирующего вещества с вольфрамом, в результате которой в объеме катода создается давление Ва ↑. К менее активным алюминатам можно отнести составы:  $3\text{ВаО} \cdot 0,5\text{СаО} \cdot \text{Al}_2\text{О}_3$ ;  $4\text{ВаО} \cdot \text{СаО} \cdot \text{Al}_2\text{О}_3$ ; к более активным –  $3\text{ВаО} \cdot \text{СаО} \cdot \text{Al}_2\text{О}_3$  и алюминаты, отожженные в кислой атмосфере [8], содержащей углекислый газ  $\text{CO}_2$ .

Из этого следует, что для получения катода с надежной эмиссией из вольфрамового порошка с известным средним размером частиц и импрегнирующего вещества определенной активности необходимо изготовить каркасы, которые обладали бы оптимальной величиной открытого порового канала для данного типа катодов.

Для получения корреляции между плотностью спеченных каркасов  $\rho_{\text{сн}}$  и средней величиной вольфрамовых частиц  $D_{\text{ч}}$  при наличии в каркасах открытого порового канала оптимальной величины  $0,50 \text{ кг/см}^2$  и алюмината  $3\text{ВаО} \cdot 0,5\text{СаО} \cdot \text{Al}_2\text{О}_3$  построена зависимость  $\rho_{\text{сн}} = f(D_{\text{ч}})$ , которая приведена на рис. 3.

Путем составления трех уравнений, описывающих форму кривой  $\rho_{\text{сн}} = f(D_{\text{ч}})$ , типа  $\rho = a_1 + a_2 D_{\text{ч}} + a_3 D_{\text{ч}}^2$  и внесения в них соответствующих значений  $\rho_{\text{сн}}$  и  $D_{\text{ч}}$  из графика определили коэффициенты  $a_1, a_2, a_3$ . По результатам решения системы уравнений

$$13,40 = a_1 + a_2 4,90 + a_3 4,90^2$$

$$14,30 = a_1 + a_2 5,20 + a_3 5,20^2$$

$$15,00 = a_1 + a_2 7,65 + a_3 7,65^2$$

были получены значения коэффициентов  $a_1 = 12,35, a_2 = -0,03, a_3 = 0,05$  и составлено уравнение [11]

$$\rho_{\text{сн}} = 12,35 - 0,03 D_{\text{ч}} + 0,05 D_{\text{ч}}^2.$$

В этом уравнении и последующих выражениях для  $\rho_{\text{сн}}$  приведены расчетные значения наименьших величин плотности W-каркасов. Интервал допусков устанавливается в сторону увеличения плотности W-каркасов конкретно для каждого производства, исходя из условий изготовления катодов.

Как показал опыт работы в катодном производстве, использование уравнения для  $\rho_{\text{сн}}$  целесообразно рекомендовать для изготовления катодов приборов ЭВП с сеточным управлением, к которым предъявляются высокие требования по испарению и в которых сеточные электроды являются своеобразной защитой поверхности катодов от бомбардировки ионами остаточного газа. Установленная закономерность между средними размерами частиц порошка по Козени  $D_{\text{ч}}$  и по Фишеру  $D_{\text{ч},\text{ф}}$  [12] позволяет использовать предложенный расчет плотности каркасов катодов при измерении средней величины частиц порошка на приборе «Фишер» следующим образом [13]:

$$\rho_{\text{сн}} = 12,35 - 0,03(D_{\text{ч},\text{ф}} - 1) + 0,05(D_{\text{ч},\text{ф}} - 1)^2.$$

В катодных узлах, в которых возможна бомбардировка поверхности катода остаточными газами, что приводит к повышению распыления Ва ↑, целесообразно использовать каркасы с меньшей плотностью, как, например, в работе [14], и большей проницаемостью ( $0,44 \dots 0,48 \text{ кг/см}^2$ ). В этом случае плотность каркасов рассчитывают следующим образом:

$$\rho_{\text{сн}} = (12,35 - 0,03 D_{\text{ч}} + 0,05 D_{\text{ч}}^2) - 0,6.$$

При применении более активного импрегнирующего вещества [8] или, например, свежеприготовленного алюмината  $3\text{ВаО} \cdot \text{СаО} \cdot \text{Al}_2\text{О}_3$  целесообразно использовать менее проницаемые для Ва ↑ каркасы (табл. 3) с плотностью

$$\rho_{сн} = (12,35 - 0,03D_{ч} + 0,05D_{ч}^2) + 0,6.$$

В табл. 4 показано изменение средних диаметров частиц вольфрамовых порошков и их активности при повышенных температурах, например при  $T_{сн} = 2000$  °С, при применении ступенчатого отжига порошков. Отжиг при температуре 1650 °С, как правило, способствует исчезновению субмикронной фракции, изменению тонкой структуры частиц и, как следствие, дезактивации порошка, что выражается в снижении усадки **W-каркасов при спекании**. Однако полное протекание этого процесса при температуре 1650 °С не происходит в вольфрамовых промышленных порошках со средним диаметром частиц 3,5...4,5 мкм (ВЧДК фр. А), а в более мелких порошках с  $D_{ч,исх}$  от 1 до 3,5 мкм (ВЧДК фр. Б) тем более [9]. И только многоступенчатый отжиг с конечной температурой 1700 °С приводит к сравнительному выравниванию величины усадки таблеток из порошков разных марок от 8,9 до 11,7 %. Еще большая дезактивация порошка происходит при его обработке с температурой последнего отжига 1750 °С при повышении температуры на каждой ступени отжига на 25...50 °С. Эта температура соответствует температуре пропитки вольфрамовых таблеток эмиссионным веществом, при которой происходит наиболее интенсивная реакция между вольфрамом и алюминатом. Поэтому дальнейшее повышение температуры отжига вольфрамового порошка нецелесообразно.

В таблице 4 в качестве параметров контроля приведены:  $D_{ч}$  – средний диаметр частиц;  $P$  – давление протекания воздуха через пробную таблетку;  $\Delta V / V$  – усадка каркаса пробной таблетки при спекании.

Таблица 1  
Характеристики вольфрамовых порошков

Марка порошка	Номер партии	Средний размер частиц, $D_{ч}$ , мкм	Объемная усадка пробных таблеток при спекании, $\Delta V / V$ , %
ВЧДК фр. Б	323	1,69	26,0
ВЧДК фр. А	98	3,68	17,0
	1836	4,07	14,5
	3	4,30	11,0
	32	4,50	–

## Заключение

Использование предлагаемых способов изготовления катодов позволяет повысить долговечность катодов разных типов и снизить испарение с них. Реализация предложенных способов осуществляется одновременно по двум направлениям:

1) регулирование среднего диаметра частиц вольфрамового порошка и его активности ступенчатыми отжигами и последующими размолами (см. табл. 2);

2) применение эмитирующих таблеток с плотностью:

– соответствующей наличию в таблетках оптимального размера открытых поровых каналов (см. табл. 2, 3);

– обеспечивающей соответствие оптимального размера поровых каналов конкретной величине частиц вольфрама используемой партии порошка (см. табл. 2);

– обеспечивающей соответствие оптимального размера поровых каналов давлению паров активатора эмиссии  $Va \uparrow$ , возникающему в объеме катода в результате взаимодействия конкретного типа алюмината с вольфрамом и зависящему от активности алюмината (см. табл. 3).

Таким образом, проведенные экспериментальные и теоретические исследования взаимосвязи размера частиц порошков, активности алюминатов, плотности и проницаемости каркасов для  $Va \uparrow$  и эмиссионной способности катодов позволили установить определенные зависимости между такими широко используемыми технологическими параметрами, как плотность эмитирующих таблеток, средний размер частиц вольфрамового порошка и активность эмитирующего вещества для разных типов катодов ЛБВ, генераторных и модуляторных ламп с надежными эмиссионными параметрами.

Таблица 2

Взаимосвязь параметров вольфрамовых порошков и спеченных каркасов с испарением и долговечностью катодов в диодах с вакуумом  $\sim 3,99 \cdot 10^{-5}$  Па

Параметры порошка		$\Delta V/V$ , %	Параметры W-таблетки		Испарение и долговечность		
$T_k$ , °С	$D_c$ , мкм		$P_{cn}$ , кг/см <sup>2</sup>	$\rho_{cn}$ , кг/см <sup>3</sup>	$T$ , %	$M_{Ba}$ , г	$\tau_p$ , тыс.ч
1750	6,73	4,7	0,52	14,52	39	0,269	140,0
	5,3	8,3		13,72	37	0,282	138,0
1700	5,73	9,0		13,97	29	0,571	112,0
1675	5,60	9,2	0,53	13,78	–	–	100,0
		–	0,52	13,75	–	–	110,0
		9,5	0,50	13,56	–	–	85,0
1650	5,42	12,5	0,46	13,32	–	–	40,0

Таблица 3

Взаимосвязь параметров вольфрамового порошка и каркасов из него с эмиссией импульсных модуляторных ламп

Средний диаметр частиц порошка, $D_c$ , мкм	Тип алюмината	Расчетные значения плотности вольфрамового каркаса, $\rho_{cn}$ , кг/см <sup>3</sup>	Значения плотности каркасов катодов, $\rho_{cn}$ , кг/см <sup>3</sup>	Проницаемость каркасов катодов, $P_{cn}$ , кг/см <sup>2</sup>	Значения импульсного тока эмиссии, $I$ , А
4,0	$3BaO \cdot 0,5CaO \cdot Al_2O_3$	13,03 расчет по уравнению (1)	13,75	0,60	7,5...8,5
4,0	$3BaO \cdot CaO \cdot Al_2O_3$	13,70 расчет по уравнению (3)	13,75	0,60	11,5...13,5

Таблица 4

Характеристики вольфрамовых порошков и W-каркасов катодов

Параметр контроля	Марка порошка									
	В4ДК фр. Б					В4ДК фр. А				
	Исх.	1650°	1675°	1700°	1750°	Исх.	1650°	1675°	1700°	1750°
$D_c$ , мкм	1,69	4,15	4,49	4,85	5,0	4,10	5,45	5,62	6,30	6,73
$P$ , кг/см <sup>2</sup>	1,22	0,505	0,46	0,45	–	0,74	0,41	0,39	0,37	0,34
$\Delta V/V$ , %	26	13,0	11,7	11,2	–	13,3	11,6	10,0	8,9	7,7

### Список литературы

- Melnikova I.P., Vorozheikin V.G., Usanov D.A. Correlation of emission capability and longevity of dispenser cathodes with characteristics of tungsten powders // Applied Surface Science. 2003. V. 215. P. 59–64.
- Melnikova I.P., Polyakov I.V., Usanov D.A. Correlation of cathodes parameters of power grid tubes with materials characteristics of cathode-grid units // Applied Surface Science. 2005. V. 251. № 1–4. P. 120–125.
- Патент 2012944 RU H01 J 9/04. Российская Федерация. Способ изготовления металлопористого катода / Смирнов В.А., Черенцов Н.А., Судаков Ю.С., Потапов Ю.А., Корнеев В.П.; приоритет от 17.04.1991
- Зоркин А.Я., Зоркин О.А., Дворников А.А. Влияние состава на эмиссионные свойства сложных окислов // Вакуумная наука и техника: материалы междунар. конф. / под ред. Д.В. Быкова. М., 2006. С. 48–52.
- Emission life and surface analysis of bariumimpregnated thermionic cathodes / T. Aida [et al.] // Journal of Applied Physics. 1993. V. 74. № 11. P. 6482–6487.
- United States Patent 6,705,913 H01 J 9/04. Method for manufacturing impregnated cathode having a cathode pellet / Nakagawa, Satoru (Osaka (JP)); приоритет от 16.03.2004.

7. Shroff Par.A.M., Palluel P. Les cathodes impregnees // Revue Technique Thomson-CSF. 1982. V. 14. № 3. P. 584–655.
8. Sato K., Sakura T., Kimura C. An improved dispenser cathode // Jnt. El. Dev. Meet.: IRC Rev. San Francisco, 1986. № 24. P. 59–64.
9. Мельникова И.П., Усанов Д.А., Дарченко А.О. Гранулометрический анализ вольфрамовых порошков для металлопористых таблеток // Электронная промышленность. 1990. № 9. С. 15–16.
10. Белов С.В. Пористые материалы в машиностроении. М.: Металлургия, 1981. 247 с.
11. Пат. 2293394 RU Н01 9/04 от 16.05.2005. Способ изготовления металлопористых катодов из вольфрамового порошка / Усанов Д.А., Мельникова И.П., Муллин В.В., Семенов В.К., Казаков В.К., Найденов Г.П.
12. Гетьман О.И. Закономерности уплотнения и формирования пористой структуры при спекании порошков вольфрама и его сплавов и оптимизация технологии получения каркасов металлопористых катодов: дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1988. 231 с.
13. Пат. 2293395 RU Н01 J 9/04 от 16.05.2005. Способ изготовления металлопористых катодов из вольфрамового порошка / Усанов Д.А., Мельникова И.П., Муллин В.В., Семенов В.К., Казаков В.К., Найденов Г.П. Опубл. 10.02.2007. Бюл. № 4.
14. Верменко Л.А., Гетьман О.И., Ракитин С.П. Влияние величины частиц порошка вольфрама на структуру и свойства металлопористых катодов (МПК) // Электронная техника. Сер. 6. Материалы. 1980. № 11. С. 25–31.

## Emission properties of dispensed cathodes

*I.P. Mel'nikova, V.N. Lyasnikov, A.V. Lyasnikova*

Issues of optimizing the technology process of quantity-production of dispensed cathodes are investigated for the purpose of improving their emission parameters. Cathodes that use impregnating substances of different activities are considered. Features of powders applied for manufacturing of the concrete cathode types are taken into account. The reported data are the main results of longstanding theoretical and experimental investigations of cathodes intended for modern electro-vacuum devices.

*Keywords:* dispensed cathodes, emission substances, longevity of cathodes, emission parameters of cathodes, activity of emitting substance.

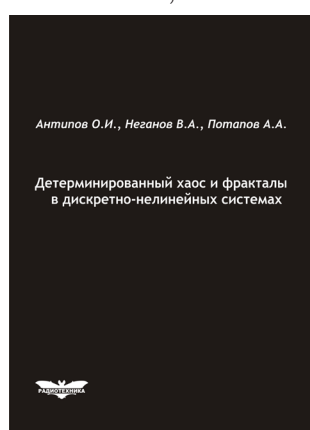
**Антипов, О.И.**

**Детерминированный хаос и фракталы в дискретно-нелинейных системах /** О.И. Антипов, В.А. Неганов, А.А. Потапов. – М.: Радиотехника, 2009. – 235 с., ил.

**ISBN 978-5-88070-237-4**

УДК 530.1:621.372+621.396

ББК 32.96



В монографии рассмотрены явления детерминированного хаоса и фрактальности в дискретно-нелинейных системах на примере устройств импульсной силовой электроники, приведены некоторые основные определения современной нелинейной динамики и некоторые математические методы целочисленных и дробных мер.

Представленные явления стохастической работы могут наблюдаться в широком классе систем с переменной структурой, действие которых может быть описано системами дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, скачкообразно меняющими свои значения с течением времени в зависимости от состояния системы. Объектами исследования явились импульсные стабилизаторы напряжения различных типов и структур. Научной новизной является применение как фрактальных, так и мультифрактальных мер детерминированного хаоса к анализу стохастической работы импульсных стабилизаторов.

*Для специалистов, интересующихся проблемами детерминированного хаоса, численным моделированием дискретно-нелинейных систем.*