

УДК 621.385

Т.В. Матвеева, Э.И. Соколовский, А.Н. Яковлев

УСЛОВИЯ РЕСТАВРАЦИОННЫХ РАБОТ В ТЕХНИКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Рассматриваются принципы проведения реставрационных работ при организации выпуска электронных ламп повышенной мощности в условиях малосерийного производства. Отмечены пути совершенствования технологического режима производственного цикла, обеспечивающие высокие эксплуатационные параметры выпускаемых приборов.

Введение. В настоящее время в связи с нестабильностью производственных условий в электронном приборостроении, возникшей в процессе перехода к рыночной системе, сократился, а в ряде случаев прекратился вовсе выпуск ряда изделий важных для оборонной и гражданской техники. В частности, значительно сократился выпуск мощных генераторных и импульсных модуляторных ламп, приборов, отличающихся сложными конструктивными особенностями и уникальными характеристиками технологического цикла их изготовления. С прекращением выпуска ряда приборов было ликвидировано и основное, в отдельных случаях, уникальное технологическое оборудование, а также значительная часть технологической документации. В условиях сформировавшегося дефицита этих приборов актуальной стала проблема возобновления их выпуска на новых производственных площадях.

Основным содержанием наладки производственного цикла становится поиск путей, обеспечивающих возможность ускоренной реализации технологии изготовления приборов без потери их эксплуатационных параметров.

В качестве первой меры ускоренного освоения выпуска приборов на новых площадях может рассматриваться реставрация ранее выпускаемых приборов с использованием деталей приборов, отслуживших срок службы либо прошедших полный цикл хранения. Сложность проблемы вызвана непригодностью электронных приборов к таким операциям. Любая попытка вскрытия электронной лампы является разрушающим фактором. Может рассматриваться реставрация только отдельных элементов конструкции, таких как элементы металлокерамической оболочки, анодные блоки и основная часть катодной ножки. Остаются неизбежными все процессы изготовления и монтажа катодно-сеточных блоков в новых условиях. Высокое

качество приборов может быть обеспечено только в случае разработки более совершенных технологических приемов и использования более совершенного оборудования.

В настоящей работе в качестве реставрируемого прибора рассматривается генераторный тетрод ГУ-84Б. Лампа предназначена для работы в радиоэлектронных устройствах средней мощности с распределенным усилением и усилением однополосного сигнала с выходной мощностью до 1,5 кВт на частоте 75 МГц, а также в качестве усилителя мощности на частотах до 250 МГц с выходной мощностью до 1,2 кВт.

Конструктивные особенности электродной системы лампы ГУ-84Б

Катод лампы ГУ-84Б – оксидный подогревной с неалундированным подогревателем. При такой конструкции подогревателя обеспечивается высокая вибропрочность электродной системы и устойчивость к воздействию возможных электрических пробоев в системе катод – подогреватель.

Для обеспечения хорошего токопрохождения эмитирующая поверхность катода формируется в виде углублений шириной 0,9 мм. Сеточные узлы устанавливаются так, чтобы углубления на катоде располагались в просвете между сеточными стержнями. Просветы под стержнями сеток не покрываются оксидом. Общая площадь боковой поверхности катодного узла составляет 22,5 см². Площадь активного слоя – 17,7 см².

Первая (управляющая) сетка спроектирована в виде тонкостенного молибденового цилиндра диаметром 3,6 см, в боковых стенках которого в соответствии с существующей технологией формируются прорези необходимого профиля. Прорези выполняются методом электроэрозионного фрезерования. Молибденовый цилиндр изготавливается штамповкой из молибденовой заготовки. Толщина стенок цилиндра 0,16 мм. Прорези образуют 5 рядов по вертикали, по

120 прорезей по периметру. На поверхность сеточного узла гальваническим способом наносится антиэмиссионное покрытие на основе золота. Сеточный узел приваривается к никелевому держателю методом лазерной сварки.

Вторая (экранирующая) сетка может выполняться либо по традиционной технологии производства стержневых электродов из тонких (диаметром 0,16 мм) молибденовых проволок, либо по технологии аналогичной производству первой сетки.

Анод лампы изготавливается по традиционной технологии производства анодов мощных ламп с принудительным воздушным охлаждением. Материалом анода служит медь бескислородная. На внешней стороне анода укреплены ребра воздушной системы охлаждения. На внутренней стороне установлены поперечно расположенные ребра, образующие камерную структуру для подавления вторичной эмиссии в режиме, когда потенциал на аноде временами оказывается ниже потенциала второй сетки.

План реставрационных операций

Начальным этапом реставрационных работ электронной лампы является вскрытие оболочки с целью обеспечить доступ к внутренним элементам конструкции. В силу особенностей конструкции и условий эксплуатации отдельные узлы лампы могут сохраняться для повторного использования. К числу таких элементов конструкции следует отнести элементы металлокерамической оболочки, целиком весь анодный узел и некоторые детали вспомогательного назначения.

Система креплений катодного цилиндра на катодной ножке жесткая. Поэтому представляется целесообразным при реставрации прибора активное покрытие наносить на предварительно очищенные участки без демонтажа всего катодного блока. Сохраняется, таким образом, и подогреватель катода, выполненный на основе неалундированной конструкции с вольфрамовой нитью достаточно большого диаметра, что позволяет рассчитывать на последующую длительную эксплуатацию. При оценке возможных вариантов реставрационных работ следует учитывать также то, что смена активного слоя катода возможна только после демонтажа сеточных блоков.

Просматривается следующая последовательность реставрационных операций.

1. Вскрытие оболочки прибора. Осуществляется проточкой на токарном станке сварного шва по коваровому кольцу, соединяющему анодную и катодно-сеточную часть оболочки.

2. Демонтаж сеточных блоков срезанием пятен точечной сварки держателей с кольцевыми элементами крепления сеток.

3. Очистка поверхности катодного керна от активного слоя химическим травлением поверхности.

4. Нанесение нового эмиссионного слоя.

5. Установка сеточных блоков.

6. Заварка лампы, откачка, тренировка и испытание.

Как самостоятельные рассматриваются операции нанесения оксидного слоя на катодный керн с зачисткой либо без зачистки просветов и изготовление сеточных блоков. При проведении этих операций неизбежно следует ориентироваться на отработанные ранее заводские режимы производства.

Теоретическая оценка влияния конструктивных факторов на выходные параметры прибора ГУ-84Б

Любые способы модернизации сборочных операций неизбежно внесут определенные изменения в конструкцию отдельных электродных блоков и геометрию лампы в целом. Любые изменения геометрии электродов сказываются на эксплуатационных параметрах прибора. Исходная оценка последствий таких изменений может быть проведена на основе теоретических расчетов выходных параметров прибора при различной геометрии электродной системы.

Следует отметить ограниченную точность расчетных соотношений в условиях, когда:

– межэлектродные расстояния меньше шага сеток;

– отсутствуют обоснованные критерии расчета электрического поля сеточных проводников прямоугольной формы;

– имеет место сложный профиль поверхности катода, наличие выемок с активным оксидно-барьерным слоем и выступающих участков, не покрытых оксидом.

В качестве рабочей методики анализа вначале была выбрана система расчетных соотношений, разработанных в 1965 году в ОКБ завода "Светлана" в плане создания новых инженерных методов расчета электрических и тепловых характеристик электронных ламп. В основе математической модели была положена система уравнений, составленных методом коллокаций с использованием аналитических средств обработки функций комплексных переменных. При разработке математической модели, описывающей условия токопрохождения в электронной лампе, данная методика была максимально приспособлена к конструктивным особенностям современных приборов, имеющих малые межэлек-

тродные расстояния в катодно-сеточной области и лучеобразующую систему электродов. Однако контрольная проверка применимости данной методики к лампе ГУ-84Б обнаружила большое расхождение между расчетными данными и паспортными значениями параметров исследуемого прибора.

В противовес этому контрольная проверка применимости традиционной методики расчета [1] показала гораздо более совершенное соответствие расчетных значений с паспортными данными. В результате традиционная схема расчета в настоящих исследованиях была принята как основная.

В силу того, что лампа ГУ-84Б работает только при отрицательных потенциалах первой сетки, а стержни второй сетки расположены строго за стержнями первой (лучевая конструкция), коэффициент токопрохождения при расчетах принимался равным единице.

Проводники сеток представлялись круглыми в сечении, что потребовало дополнительных поправок, поскольку сеточные проводники ГУ-84Б имеют прямоугольное сечение. Ожидалось, что такое изменение не должно привести к большим погрешностям, поскольку соотношение сторон прямоугольного сечения сеток близко к 1:1 и может достаточно близко воспроизвести картину поля, наблюдаемую при круглой форме сеточных проводников.

Как показали количественные оценки, такое допущение обеспечивает необходимое соответствие с реальными условиями токопрохождения в условиях малых поперечных размеров сеточных проводников по сравнению с шагом сеточной структуры и межэлектродными расстояниями. Требуемое соответствие по условиям токопрохождения при переходе к круглой форме сечения сеточных проводников наблюдается после математических преобразований, использующих понятие «эффективного диаметра» – диаметра проводников цилиндрической формы, обеспечивающего приемлемое совпадение параметров лампы с расчетными данными.

Установлено, что достаточно близкие к паспортным значениям результаты расчета обеспечивались при эквивалентном диаметре d_g равном 0,15 мм, когда поперечные размеры сеточных проводников наиболее близко соответствуют по величине площади сеточным проводникам прямоугольной формы.

В соответствии с особенностями теоретических выкладок, расстояние от катода до сеток в теоретических расчетах целесообразно было принимать меньше расстояния от поверхности

катода до центральной точки поперечного сечения стержней сетки на 0,05 мм.

Ввиду того, что расстояние катод – сетка много меньше радиуса катодного и соответственно сеточных цилиндров, эмитирующая поверхность катода принималась равной площади участков, покрытых оксидным слоем, т.е. примерно равной 19 см^2 .

Результаты оценочных расчетов, при проведении которых с наибольшей точностью воспроизводились паспортные значения параметров, соответствовали следующим значениям элементов электродной системы лампы:

– расстояние сетка первая – катод $x_{g1k} = 0,05 \text{ см}$;

– расстояние сетка вторая – катод $x_{g2k} = 0,12 \text{ см}$;

– расстояние анод – катод $x_{ak} = 0,45 \text{ см}$;

– шаг первой сетки $p_1 = 0,094 \text{ см}$;

– шаг второй сетки $p_2 = 0,097 \text{ см}$;

– диаметр проводников первой сетки $d_{g1} = 0,015 \text{ см}$;

– диаметр проводников второй сетки $d_{g2} = 0,015 \text{ см}$;

– площадь активной поверхности катода $F_k = 19 \text{ см}^2$;

– напряжение на второй сетке $U_2 = 375 \text{ В}$.

Результаты контрольных расчетов, полученных при двух значениях напряжения на аноде (2000 и 250 В), представлены на рисунке 1 и рисунке 2 и в таблице 1.

Основные результаты были дополнительно подвержены проверке расчетом на компьютере в системе Mathcad 2001i Professional и в программном комплексе SIMION.

Как видно из графиков и табличных значений, по результатам расчета наблюдаются несколько завышенные значения анодного тока при нулевом потенциале на первой сетке. Эта особенность обусловлена тем, что при высоких значениях действующего потенциала сеток в реальной лампе ухудшается токопрохождение из-за токоотбора на вторую сетку (коэффициент токопрохождения снижается примерно до 0,9).

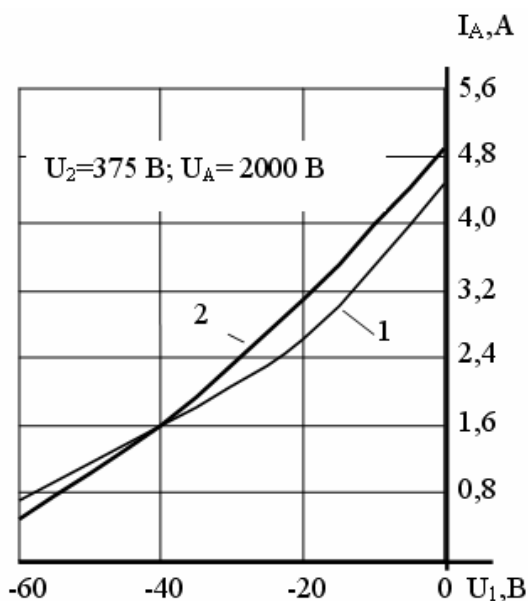


Рисунок 1 – Анодно-сеточные характеристики:
1 – по паспортным данным;
2 – полученные расчетом

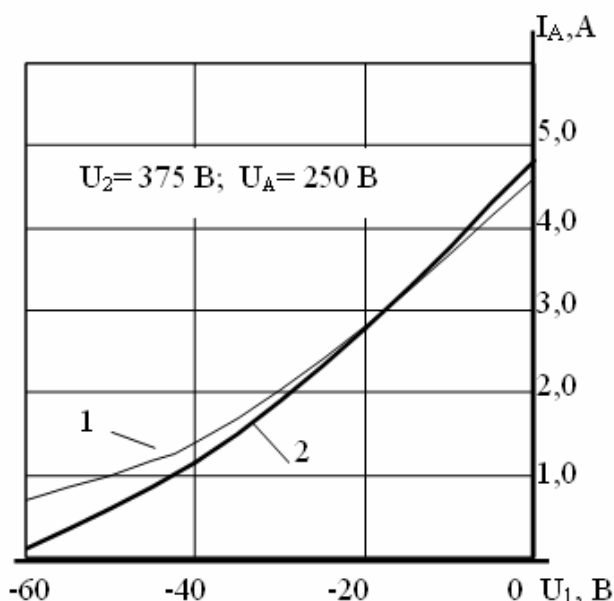


Рисунок 2 – Анодно-сеточные характеристики:
1 – по паспортным данным;
2 – полученные расчетом

При больших отрицательных потенциалах на первой сетке расчетные значения дают уже заниженные значения тока, что свидетельствует о наличии «островкового эффекта» в реальной лампе. В средней части анодно-сеточных характеристик совпадение вполне приемлемо для заключения о применимости данной методики анализа с целью последующих исследований влияния конструктивных факторов на электрические параметры тетрода ГУ-84Б.

В процессе расчетов по оценке геометрических факторов в первую очередь оценивалось влияние поперечных размеров сеточных стержней и расстояния катод-первая сетка на параметры анодно-сеточных характеристик. Результаты расчетов представлены в таблицах 2 – 8.

Таблица 1 – Результаты контрольных расчетов статических анодно-сеточных характеристик

U_1 , В	0	-20	-40	-60	Примечания	
I_A , А	6,12	3,87	2,0	0,59	Расчетная	$U_A = 2000$ В
	5,6	3,3	2,0	0,9	Паспортная	
I_A , А	4,83	2,78	1,2	0,1	Расчетная	$U_A = 250$ В
	4,6	2,8	1,4	0,7	Паспортная	

Таблица 2 – Анодно-сеточные характеристики при увеличенном диаметре сеточных проводников ($x_{g1k} = 0,05$ см; $d_{g1} = 0,02$ см; $d_{g2} = 0,02$ см)

U_1 , В	0	-20	-40	-60	Примечания
I_A , А	4,01	1,92	0,42	<0	$U_A = 2000$ В
	3,38	1,43	0,16	<0	

Таблица 3 – Анодно-сеточные характеристики при увеличенном расстоянии сетка первая-катод ($x_{g1k} = 0,06$ см; $d_{g1} = 0,02$ см; $d_{g2} = 0,02$ см)

U_1 , В	0	-20	-40	-60	Примечания
I_A , А	5,63	3,84	2,3	1,05	$U_A = 2000$ В
	4,45	2,81	1,45	0,43	

Таблица 4 – Анодно-сеточные характеристики при уменьшенном диаметре сеточных проводников и малом расстоянии сетка первая-катод ($x_{g1k} = 0,05$ см; $d_{g1} = 0,012$ см; $d_{g2} = 0,012$ см)

U_1 , В	0	-20	-40	-60	Примечания
I_A , А	7,96	5,66	3,635	1,94	$U_A = 2000$ В
	5,97	3,91	2,156	0,79	

Таблица 5 – Анодно-сеточные характеристики при уменьшенном диаметре сеточных проводников и большом расстоянии сетка первая-катод ($x_{g1k} = 0,06$ см; $d_{g1} = 0,012$ см; $d_{g2} = 0,012$ см)

U_1 , В	0	-20	-40	-60	Примечания
I_A , А	7,36	5,53	3,876	2,43	$U_A = 2000$ В
	5,52	3,87	2,431	1,23	

Таблица 6 – Анодно-сеточные характеристики при увеличенном расстоянии сетка первая-катод и малом диаметре стержней первой сетки $(x_{g1k} = 0,06 \text{ см}; d_{g1} = 0,012 \text{ см}; d_{g2} = 0,015 \text{ см})$

$U_1, \text{ В}$	0	-20	-40	-60	Примечания
$I_A, \text{ А}$	6,93	5,14	3,532	2,14	$U_A = 2000 \text{ В}$
	5,47	3,83	2,393	1,20	$U_A = 250 \text{ В}$

Таблица 7 – Анодно-сеточные характеристики при увеличенном диаметре проводников второй сетки $(x_{g1k} = 0,05 \text{ см}; d_{g1} = 0,015 \text{ см}; d_{g2} = 0,02 \text{ см})$

$U_1, \text{ В}$	0	-20	-40	-60	Примечания
$I_A, \text{ А}$	5,68	3,49	1,695	0,40	$U_A = 2000 \text{ В}$
	4,78	2,74	1,117	0,09	$U_A = 250 \text{ В}$

Таблица 8 – Анодно-сеточные характеристики при увеличенном расстоянии сетка первая-катод и увеличенном диаметре проводников второй сетки $(x_{g1k} = 0,06 \text{ см}; d_{g1} = 0,015 \text{ см}; d_{g2} = 0,02 \text{ см})$

$U_1, \text{ В}$	0	-20	-40	-60	Примечания
$I_A, \text{ А}$	5,23	3,49	2,00	0,82	$U_A = 2000 \text{ В}$
	4,40	2,77	1,42	0,41	$U_A = 250 \text{ В}$

По результатам выполненного анализа следует вывод о значительной зависимости условий токопрохождения от величины эффективного диаметра сеточных проводников. С увеличением диаметра проводников сетки существенно падает значение анодного тока. Реализация конструкции с малым диаметром возможна только при использовании высокоточного технологического оборудования.

В меньшей степени проявляется влияние межэлектродных расстояний (таблицы 3, 6, 8). Уменьшение диаметра сеточных проводников первой сетки и увеличение расстояния первая сетка – катод приводит к увеличению влияния положительного потенциала второй сетки и анода на ток с катода и соответственно приводит к росту анодного тока. Но следует ожидать существенного уменьшения крутизны анодно-сеточной характеристики при увеличении расстояния сетка первая – катод и одновременного увеличения диаметра стержней первой сетки.

Последнее замечание не должно существенным образом сказаться на эксплуатационных параметрах лампы, поскольку несложная проверка хода анодно-сеточных характеристик, указанных в справочной литературе [5], свидетель-

ствует о завышенных по сравнению с паспортными данными на готовый прибор значениях крутизны статической анодно-сеточной характеристики.

Ради повышения надежности технологических операций, желательно увеличить толщину стакана первой сетки и соответственно – поперечных размеров сеточных стержней.

Как уже отмечалось, электродный блок второй сетки может выполняться как по технологическому режиму, аналогичному производству первой сетки (штамповкой молибденового стакана с последующей операцией фрезерования прорезей электроэрозионным способом), так и по технологическому циклу изготовления сеток стержневых конструкции. Стержневой вариант сеточной конструкции достаточно широко освоен технологическими службами предприятий, выпускающих импульсные и генераторные лампы большой и средней мощности [2, 3].

При стержневом варианте второй сетки поперечные размеры сеточного полотна увеличиваются за счет упрочняющих поясков на внешней стороне сетки. Эта особенность конструкции сеточного узла не вносит никаких осложнений в процесс сборочных операций ввиду большого расстояния сетка 2 – анод и может быть рекомендована и при выпуске модернизированного прибора.

Однако в случае первой сетки переход к стержневому варианту осложнен возможностью коротких замыканий между стержнями второй и первой сеток, поэтому вариант стержневой конструкции для первой сетки неприемлем и основное внимание было уделено варианту молибденового цилиндра с выфрезерованными прорезями.

Вариант изготовления сеточных блоков лазерным фрезерованием

Качество прорезей, выполняемых электроэрозионным способом, имеет приемлемое качество, но требует очень большой подготовительной работы, специального оборудования и протекает чрезвычайно медленно.

Обязательным требованием к технологическому процессу становится необходимость повысить точности исполнения конструкции сеточных блоков. Указанное требование может быть реализовано использованием высокоточных методов изготовления.

В качестве наиболее отвечающих этому требованию следует признать лазерную технологию выполнения прорезей [4].

Учитывая указанное, было предложено заменить электроэрозионный метод фрезерования лазерным, выполняемым на установке, исполь-

зующей лазер на парах меди «Каравелла-1» [6]. Преимущества установки – высокая точность фрезерования, отсутствие органических загрязнений обрабатываемой детали, высокая производительность.

Приварку сеточных узлов к кольцевым держателям рекомендуется, как и прежде, проводить на лазерной установке более простого типа, например, «Квант-10» либо «Квант-12», выполненных на твердотельных лазерах.

Заключение. В результате проведенных исследований установлены принципиальные основы реставрационных работ, определяющих пути восстановления генераторных тетродов ГУ-84Б. Основы новых решений определяются применением более совершенного технологического оборудования, основными элементами которого являются установки лазерного фрезерования и лазерной сварки.

Дополнительно по результатам исследований экспериментальных образцов катодных блоков, было сделано заключение о возможности замены ранее нанесенного оксидного слоя на новое без демонтажа катодного блока. При этом сохраняется как центральный элемент прибора

катодно–подогревной узел, обработавший ранее полный срок службы.

Операции изготовления и монтажа сеточных блоков предпочтительно проводить с использованием высокоточных средств изготовления сеток и установки их на держателях катодно-сеточной ножки на специализированных лазерных установках, обеспечивающих необходимую точность заготовительных и монтажных операций.

Библиографический список

1. Кацман Ю.А. Электронные лампы. М.: Высшая школа, 1979.
2. Подъяпольский Б.А., Попов В.К. Импульсные модуляторные лампы. М.: Сов. радио, 1967.
3. Пошехонов П.В., Соколовский Э.И. Тепловой расчет электронных приборов. М.: Высшая школа, 1977.
4. Лазерная и электроннолучевая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1985.
5. Электровакuumные и газоразрядные приборы: Справочник/ Б.В. Кацнельсон, А.М. Калугин, А.С. Ларионов. М.: Радио и связь, 1985.
6. http://istok-mw.ru/products/cut/products4_8.htm Лазерная установка 'Каравелла-1'.