

ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЭЛП ДЛЯ КОЛЛИМАТОРНЫХ ИНДИКАТОРОВ

О. Сатановская

К системам индикации, используемым в авиационной технике нового поколения, предъявляются повышенные требования, особенно если учесть, что, с одной стороны, — это информационные устройства, а с другой — часть прицельных систем. Одна из важнейших функций современных систем экранной индикации авиационной техники, в частности индикатора на лобовом стекле, — проецирование изображения в бесконечность при помощи коллиматорной оптической системы, что позволяет наблюдать его на полупрозрачном зеркале на фоне внекабинного пространства. Работа коллиматорной системы индикатора при воздействии высоких механических нагрузок и неблагоприятных климатических факторов в условиях внешней засветки до $100\ 000\ \text{кд/м}^2$ выдвигает жесткие требования к конструкции используемых в ней высококачественных проекционных электронно-лучевых приборов (ЭЛП) с высоким разрешением. Принципиально важный узел таких ЭЛП — электронно-оптическая система (ЭОС). Это и объясняет интерес к результатам, достигнутым за последние пять лет предприятием ФГУП НИИ "Платан" с заводом при НИИ по совершенствованию ЭОС проекционных ЭЛП.

КОНСТРУКЦИЯ ЭОС

ЭОС состоит из трех главных функциональных элементов: объект формирующей системы (ОФС), фокусирующей и отклоняющей систем (ФС и ОС, соответственно, рис. 1) [1-3]. Конструктивный элемент любой ЭОС — электронный прожектор, предназначенный для формирования электронного пучка и объекта отображения, а также для управления пучком и в ряде случаев для фокусировки электронного пучка.

Ускоряющий и следующий за ним фокусирующий электроды ОФС образуют дополнительную иммерсионную линзу, фокусирующую электронный пучок перед входом его в главную проекционную линзу. Кроме того, в ОФС входит катодно-подогревательный узел с металлористым эмиттером, способным выдерживать высокие токовые нагрузки и обеспечивать необходимую долговечность прибора. Основное назначение ОФС — формирование в некоторой плоскости на оси ЭОС электронного пучка минимального сечения — кроссовер-

ра. Сформированный кроссовер отображается на экране ЭЛП с помощью главной линзы (ГЛ) — одиночной, бипотенциальной или с электромагнитной фокусирующей системой. При расчете ОФС стояла задача формирования кроссовера минимального диаметра при допустимой нагрузке на катод для получения максимальной разрешающей способности при заданных значениях запирающего напряжения и модуляции. Свойства ОФС зависят от размеров формируемого объекта (точнее — от распределения плотности тока электронного пучка в его сечении), полного тока и угла раствора пучка, входящего в ГЛ, а также от крутизны модуляционной характеристики. Минимальный размер кроссовера ограничен сферической аберрацией, распределением термоэлектронов катода по энергии и углу вылета, а также силой кулоновского взаимодействия между электронами пучка. Все эти факторы чрезвычайно сложно учитывать при анализе и оптимизации конструкции ОФС. На основе опыта разработок высококачественных ЭЛП и проведенных расчетов в большинстве случаев в качестве ОФС рекомендуется применять тетродный иммерсионный объектив, состоящий из катода, модулятора и ускоряющего электрода, который помимо формирования кроссовера управляет током пучка. При определении параметров тетродного иммерсионного объектива решаются задачи получения наименьшего значения диаметра кроссовера при допустимой плотности тока с катода, заданных значениях запирающего напряжения и модуляции. Результаты расчета ОФС по известным формулам [4] позволили выбрать следующие ее размеры:

Диаметр отверстия в модуляторе, ускоряющем и фокусирующем электродах	0,35 мм
Толщина модулятора	0,1 мм
Расстояние катод-модулятор	0,1 мм
Расстояние модулятор-ускоряющий электрод	0,18 мм

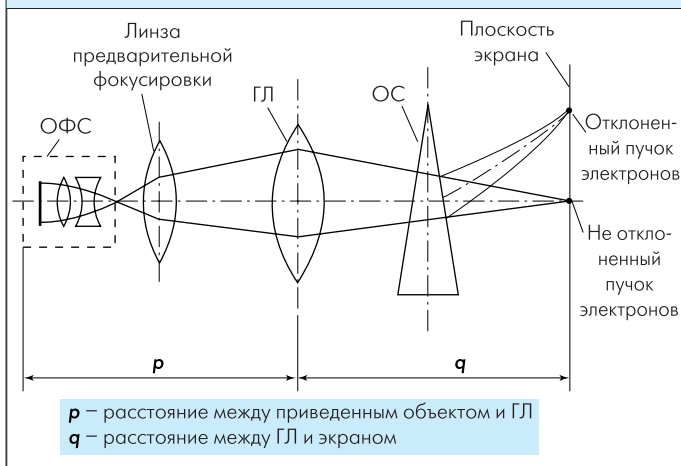


Рис. 1. Электронно-оптическая схема ЭОС

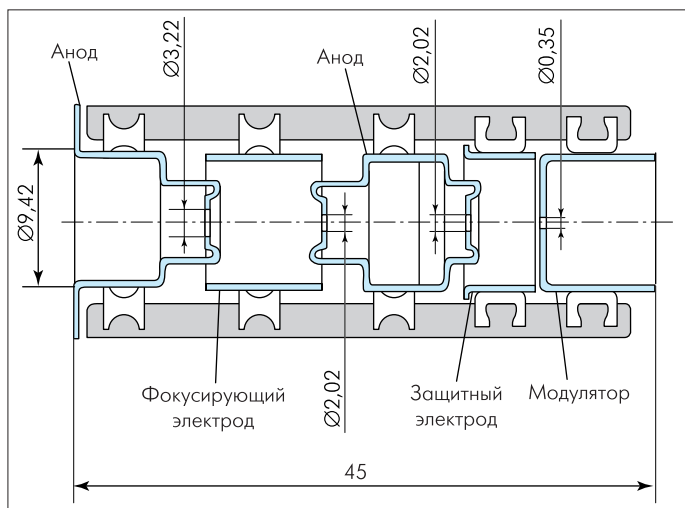


Рис.2. Конструкция ЭОС с одиночной ГЛ

Для выбранной геометрии и значения напряжения на ускоряющем электроде не более 600 В запирающее напряжение составляет около 70 В.

Как уже указывалось, в ЭОС могут использоваться главные линзы трех типов. Рассмотрим расчет конкретных конструкций ЭОС с различными ГЛ.

ЭОС с одиночной главной линзой. Одиночная ГЛ использовалась в первых проекционных ЭЛП для коллиматорных систем. Она успешно применяется и сегодня. Одиночная ГЛ усовершенствованной конструкции (рис.2) пригодна для замены устаревших линз в серийно выпускаемых проекционных ЭЛП, тем более что ее характеристики выше. При разработке ГЛ ставились традиционные задачи повышения ее разрешающей способности за счет увеличения плотности тока с катода и плотности тока в пятне на экране, ограничения размера объекта, уменьшения aberrаций. Для всех электростатических систем фокусировки большое значение имеет точность изготовления и сборки деталей электронной линзы. Наиболее критична в этом отношении – одиночная линза. Особенно важно соблюдение осевой симметрии системы, что требует тщательного контроля эллипсности всех электродов, оказывающих влияние на формирование поля. При сборке необходимо обеспечивать соосность электродов и не допускать перекосов. Вероятность пробоя между высоковольтным электродом и прикатодной частью снижается с помощью защитного электрода.

Сравнительные характеристики ЭОС различных конструкций

Электрические режимы и параметры ЭЛП	ЭОС с одиночной ГЛ	ЭОС с бипотенциальной ГЛ	ЭОС с электромагнитной фокусирующей системой
Напряжение накала, В	6,3	6,3	6,3
Напряжение экрана, кВ	15	15	15
Напряжение ускоряющего электрода, В	–	500	600
Напряжение фокусирующего электрода, В	380	3000	2600–2900
Запирающее (отрицательное) напряжение, В	64	62	54
Напряжение на модуляторе, рабочее, В	31	28	30
Ток пучка, мкА	200	200	200
Яркость свечения сфокусированной линии при скорости перемещения пучка 0,6 мм/мкс, кд/м ²	22000	30000	51000
Ширина линии, мм	0,1	0,066	0,056
Длина ЭЛП, мм	170	200	250
Диаметр экрана, мм	60	60	60

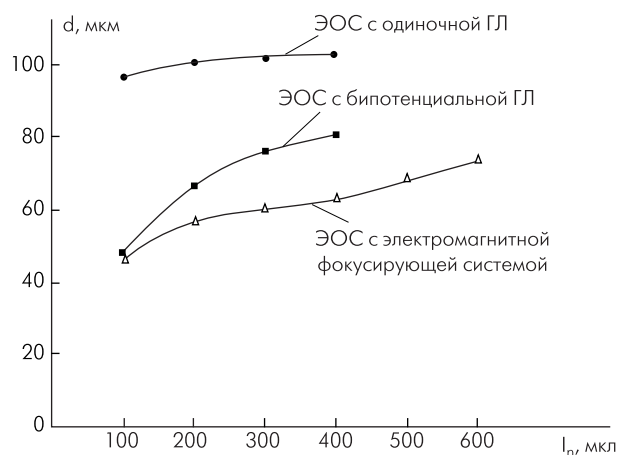


Рис.3. Зависимость разрешения (ширины линии) от тока пучка

Параметры ЭОС с одиночной линзой исследовались в образце ЭЛП с катодолуминесцентным экраном (см. таблицу и рис.3).

ЭОС с бипотенциальной ГЛ. Расчет этой системы (рис.4) проводился по известным характеристикам бипотенциальных линз на основе заданной длины прибора, диаметра горловины, расположения ОС на горловине, напряжения на экране и электродах ЭОС. При разработке ЭОС с бипотенциальной ГЛ стояла задача получения ЭЛП с размером пятна на экране менее 100 мкм и яркости свечения линии на экране не менее 25000 кд/м². Напряжение экрана при этом должно быть не более 15 кВ, а ток пучка – не более 200 мкА. Диаметр металлических электродов линзы выбирался максимальным с учетом возможности их размещения в горловине прибора. В результате диаметр низковольтного электрода линзы D_1 был выбран равным 8,9 мм, высоковольтного – 12,2 мм (отношение – 1,37). Исходя из положения ОС на горловине прибора, расстояние q составило 130 мм, отношение $q/D_1 = 14,6$.

На основе электронно-оптических характеристик [2] определены коэффициенты увеличения линзы $M = 2,5$ и расстояние до кроссовера $P = 32$ мм. Из соотношения потенциалов электродов линзы получено, что при напряжении на экране 15 кВ напряжение на фокусирующем электроде равно 3000 В (см. таблицу).

ЭОС с ГЛ с электромагнитной фокусирующей системой. Если в ЭЛП требуется высокое разрешение при относительно больших значениях тока пучка, применение электростатических бипотенциальных или одиночных ГЛ не дает желаемых результатов,

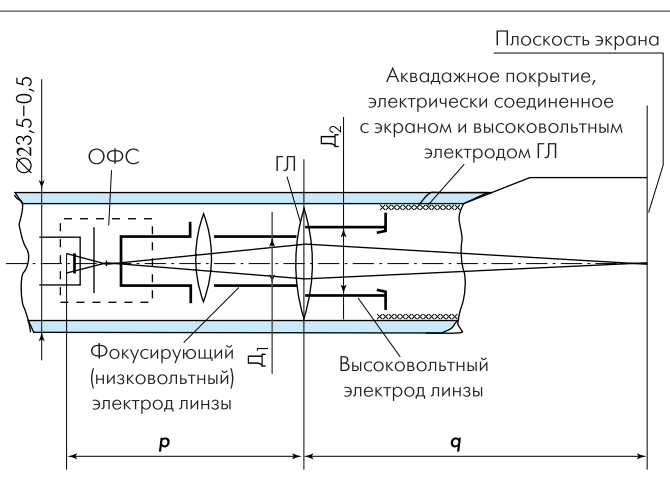


Рис.4. Конструкция ЭОС с бипотенциальной линзой

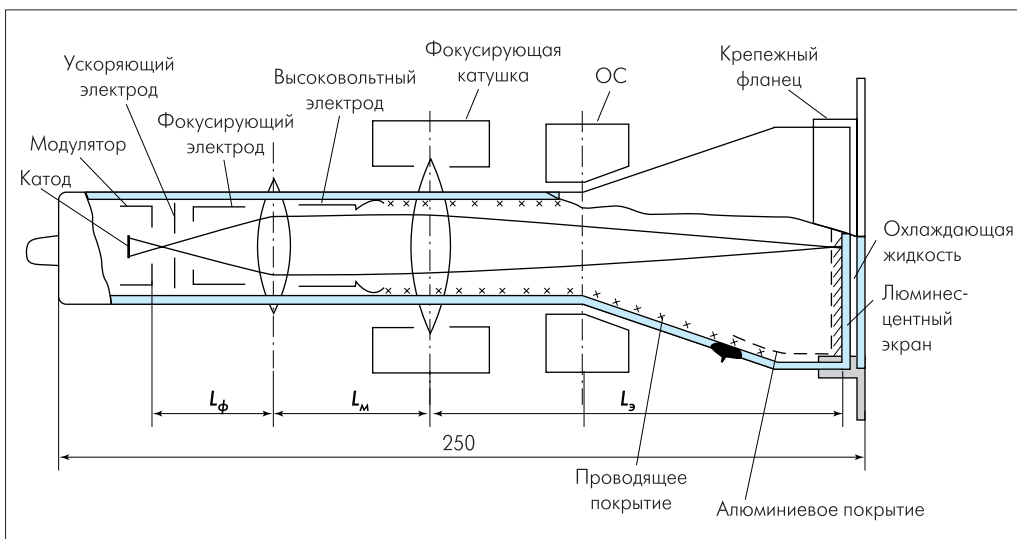


Рис.5. Конструкция ЭЛП с комбинированной электромагнитной фокусировкой пучка

так как диаметры электродов, формирующих электронные линзы, ограничены внутренним размером горловины ЭЛП и относительно малы. В этом причина увеличения aberrаций электронных линз, что в свою очередь вызывает увеличение размеров пятна на экране и изменение его формы. С увеличением диаметров электродов значение погрешности, вносимой электронными линзами, уменьшается, поскольку искажения поля вблизи электродов затухают по мере удаления в направлении оси системы. Так что электромагнитные линзы большого диаметра имеют преимущество перед одиночными и бипотенциальными линзами, при этом механическая точность их изготовления достаточно высокая.

В электромагнитной линзе, выполненной в виде катушки сравнительно большого диаметра, пучок электронов пронизывает лишь небольшую приосевую часть ее поля. Поэтому для такой линзы, располагаемой вне трубки, хорошо выполняется условие параксимальности электронного пучка и, следовательно, его aberrации могут быть достаточно малыми. По сравнению с электростатической линзой особенно мала сферическая aberrация.

Для определения разрешающей способности ЭЛП в его макете использовалась ЭОС с комбинированной электромагнитной фокусирующей системой (рис.5), состоящей из тетродного иммирссионного объектива и последовательно расположенных линз – бипотенциальной, для предварительной фокусировки пучка и электромагнитной фокусирующей катушки с сопротивлением 10 Ом и током 0,5 А, выполняющей функции главной линзы. Линза предварительной фокусировки преобразует расходящийся пучок, покидающий эмиссионную систему, в пучок меньшего сечения, приблизительно параллельный оси системы. Благодаря этому в области ГЛ и отклоняющей системы создаются более благоприятные условия для фокусировки и отклонения пучка. Проведенный оценочный расчет позволил выбрать следующие основные размеры ЭОС: $L_\phi = 18$ мм; $L_m = 45$ мм; $L_\varepsilon = 150$ мм (см.рис.5).

Конструктивно экспериментальный образец ЭЛП с комбинированной электромагнитной фокусирующей системой выполнен в виде стеклянного баллона с люминофорным алюминированным экраном, в который заварен электронный прожектор. Прожектор состоит из катодно-подогревательного узла, модулятора, ускоряющего и фокусирующего электродов и высоковольтного электрода, потенциал которого равен потенциалу экрана. На горловине баллона размещены фокусирующая катушка и отклоняющая система, в области экрана – система охлаждения, состоящая из крепеж-

ного фланца и стеклянной пластины. Пространство между этой пластиной и экраном залито охлаждающей жидкостью (этиленгликолем).

При токе фокусирующей катушки 0,5 А оптимальная фокусировка была достигнута путем подфокусировки пучка линзой предварительной фокусировки при значениях напряжения от 2,9 до 2,6 кВ (ток пучка 100 и 600 мкА, соответственно).

Из графиков зависимости разрешающей способности от тока пучка (см. рис.3) видно преимущество ЭОС с электромагнитной ГЛ. Однако применение электромагнитных линз и выг-

рыш в разрешающей способности влечет за собой увеличение потребляемой мощности, длины, массы ЭЛП, необходимость юстировки электромагнитной линзы, применения специальных схем стабилизации токов фокусировки и пр. А это, в конечном счете, затрудняет эксплуатацию аппаратуры.

В ЭЛП для коллиматорных индикаторов можно использовать любой тип ЭОС в зависимости от конкретных требований заказчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайнрид Е.А., Милютин В.И. Электронная оптика. – Госэнергоиздат, 1951.
2. Кельман М., Явор С.Я. Электронная оптика. –Л.:Наука, 1968.
3. Бонштедт Б.Э., Маркович М.Г. Фокусировка и отклонение пучков в электронно-лучевых приборах.–М.: Сов.радио, 1967.
4. Миллер В.А., Куракин Л.А. Приемные электронно-лучевые трубки.– М.: Энергия, 1971.

Завод по изготовлению печатных плат сертифицирован как военный поставщик

Фирма-производитель печатных плат (ПП) Sanmina-SCI (США) сообщает, что недавно ее завод-изготовитель ПП в г. Уилмингтоне был сертифицирован Центром поставки военной продукции (г.Колумбус), поставляющим для МО запасные части военных систем и конечные изделия. После обследования завода ведущими военными подрядчиками было признано, что он удовлетворяет всем требованиям, необходимым для сертификации на стандарт MIL-PRF-31032, и соответствует ТУ MIL-PRF-31032/1А для типов ПП GF (эпоксид–FR-4) и GI (полиимид). При сертификации продукция завода прошла строгий лабораторный анализ.

Сертификация показывает, что завод способен создавать высокотехнологичную продукцию и существенно расширить диапазон деятельности фирмы Sanmina-SCI, подтверждая ее возможность выполнять военные и аэрокосмические заказы.

www.sanmina-sci.com