

01;10

Компьютерное проектирование электронно-оптических систем простой структуры для электронно-оптических преобразователей

© Л.В. Бадьин, С.К. Дёмин, С.И. Сафронов, Р.П. Тарасов

Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова,
127055 Москва, Россия
e-mail: crabro2@yandex.ru

(Поступило в Редакцию 29 сентября 2010 г. В окончательной редакции 11 января 2011 г.)

Исследована возможность создания времяанализирующих электронно-оптических систем электронно-оптических преобразователей с субпикосекундным разрешением, не содержащих сферических электродов, мелкоструктурных сеток и узких щелевых отверстий, т. е. систем максимально простой структуры с высоким пространственным и временным разрешением.

Введение

Основные недостатки рассмотренных в [1] систем фокусировки изображения времяанализирующих электронно-оптических преобразователей (ЭОП), к которым относятся нетехнологичность конструкции, возможность электрического пробоя в катодном узле и, главное, неудовлетворительное по определенным параметрам качество регистрируемого изображения, во многом обусловлены конструктивными особенностями катодных узлов этих систем ([1], рис. 1), а именно наличием мелкоструктурной сетки и сферического элемента в катодном узле, малым расстоянием катод–сетка при значительной величине разности потенциала катод–ускоряющий электрод.

В рамках проводимого ниже компьютерного проектирования исследуется возможность отказа от использования сферических электродов в катодной камере при одновременном увеличении расстояния катод–сетка в условии сохранения основных характеристик изображения ранее рассмотренных ЭОС [1]. Кроме того, исследуется возможность создания времяанализирующих ЭОС с субпикосекундным разрешением, не содержащих сферических электродов, мелкоструктурных сеток и узких щелевых отверстий, т. е. систем максимально простой структуры с высоким пространственным и временным разрешением.

Системы фокусировки с плоскими катодом и мелкоструктурной сеткой

Первый шаг в упрощении конструкции ЭОС в условии повышения ее надежности и улучшения качества передаваемого изображения связан с разработкой катодного узла, не содержащего сферических электродов. Для решения поставленных задач в новой катодной камере необходимо существенно увеличить расстояние плоский катод–плоская сетка, при этом в прикатодной области должны индуцироваться мощные электростатические поля сферической структуры.

Компьютерный анализ показал, что указанная цель достигается в катодных узлах, изображенных на рис. 1, где 1 — плоский фотокатод, 2 — ускоряющий электрод, 3 — плоская мелкоструктурная сетка, за счет введения во входной узел под потенциалом катода катодной насадки 4 в форме цилиндра (рис. 1, *a*) либо в форме усеченного конуса (рис. 1, *b*). Спроектированные катодные узлы не содержат сферических элементов, однако генерируемое в области между плоским катодом и сеткой электростатическое поле имеет сферическую структуру, что связано с наличием во входных камерах катодной насадки 4.

Катодная насадка 4 (рис. 1) имеет простую форму (цилиндр либо усеченный конус) и находится под потенциалом катода, что наряду с отсутствием сферических элементов делает предлагаемые катодные узлы (рис. 1) существенно технологичнее ранее рассмотренных входных узлов ([1], рис. 1). Кроме того, при той же разности потенциала катод–ускоряющий электрод и данном временном разрешении замена старой катодной камеры ([1], рис. 1) новой (рис. 1) позволяет в несколько раз (минимум в 2.5 раза) увеличить расстояние катод–сетка. Последнее приводит не только к повышению надежности работы ЭОП (вероятность электрического пробоя резко падает), но и устраняет зависимость коэффициента пропускания мелкоструктурной сетки от положения точечного эмиттера, т. е. устраняется зависимость яркости изображения от структуры сетки. Дело

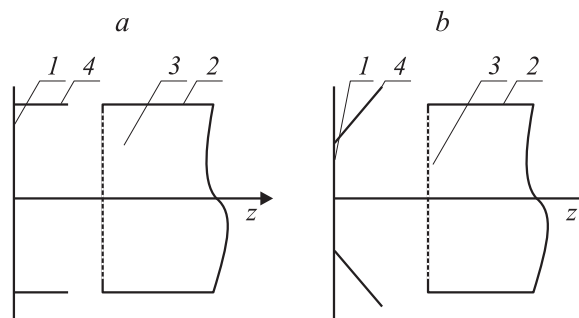


Рис. 1.

в том, что электронные пучки в прикатодной области расширяются при удалении от катода и на сетке имеют характерный размер, существенно превосходящий толщину прутка мелкоструктурной сетки, т.е. электроны, эмиттируемые из точки катода, не могут полностью осесть на прутке сетки. В то же время при близких значениях напряженности поля в ранее рассмотренных ([1], рис. 1) и предлагаемых катодных узлах (рис. 1) использование последних позволяет в несколько раз уменьшить временную дисперсию фокусирующей системы при сохранении остальных характеристик качества изображения [2].

Все вышеизложенное подтверждено результатами компьютерного моделирования и стендовыми испытаниями макетных образцов.

Для полимера произведем замену входного блока системы с плоским катодом и сферической сеткой ([1], рис. 2, *b*) на катодный узел с цилиндрической насадкой и на катодный узел с конической насадкой, увеличив расстояние катод–сетка в 2.5 раза, сохранив при этом неизменным за счет уменьшения высоты цилиндра ускоряющего электрода общий размер систем (расстояние катод–экран равно 257 mm). На рис. 2 в плоскости, содержащей оптическую ось и луч из центра катода расположения точечных эмиттеров с радиальной координатой ρ : $\rho_i = i$, $i = 0, 1, \dots, 5$ mm, визуализированы

проекции траекторий электронов из эмиттеров на эту плоскость, положение кроссовера (вертикальная черта), образующие электродов и поверхности изображения, при этом на рис. 2, *a* приведены результаты компьютерного анализа системы с цилиндрической катодной насадкой, на рис. 2, *b* — системы с входным блоком, содержащим коническую катодную насадку. Соответственно в табл. 1 для этих систем приведены основные характеристики изображения на плоском экране: пространственное среднеквадратичное отклонение σ , σ_x — в направлении временной оси и σ_y — в ортогональном направлении, временное среднеквадратичное отклонение σ_t и коэффициент масштабирования (увеличения) M , положение Z_c на оптической оси Oz кроссовера и его радиус R_c . Из анализа таблицы следует, что пространственное разрешение в спроектированных ЭОС несколько улучшилось по сравнению с исходной системой ([1], рис. 2, *b*, табл. 1), при этом временная дисперсия уменьшилась в 2 раза и составляет в обеих системах порядка 1 ps.

В проведенных выше расчетах электрод–сетка моделировался как прозрачный для электронов сплошной электрод. Переход от этой модели к модели кольцеобразной сетки в системе со сферической сеткой (рис. 2, *b*, [1]) приводит к потере яркости изображения $k(\rho)$ и пространственного разрешения $\sigma_s(\rho)$ более чем в 2 раза. В то же время при переходе в новых системах (рис. 2) к модели кольцеобразной сетки при той же потере яркости изображения ($k(\rho) \approx 50\%$) пространственное разрешение остается практически неизменным: $\sigma_s(\rho) \approx \sigma(\rho)$. Следовательно, можно ожидать, что в реальных образцах, отвечающих системам на рис. 2, *b* [1] и на рис. 2 (настоящей работы), в последних пространственное разрешение окажется в ~ 2 раза лучше.

Для создания макета рассмотренной на рис. 2, *a* конструкции был проведен компьютерный анализ инженерного варианта этой конструкции, результаты которого визуализированы на рис. 3, *a*, а на *b* приведен чертеж катодной камеры этой конструкции, из которого хорошо видно, что в компьютерной модели инженерного варианта учитывалась и толщина некоторых электродов. Катодная камера, изображенная на рис. 3, *b*, имеет размер фотокатода 10×3 mm, катодную насадку в форме цилиндра диаметром 20 mm и высотой 3.5 mm с завальцованным краем в форме тора, образующей которого является полуокружность радиусом 1.5 mm, при этом расстояние катод–сетка равно 5 mm, диаметр сетки 14 mm. Компьютерный анализ показал, что инженерный вариант имеет практически те же характеристики, что и исходная конструкция (рис. 2, *a*). В свою очередь, стендовые испытания макетного образца, отвечающего инженерному варианту конструкции на рис. 3, согласуются с результатами компьютерного моделирования. В плоскости, содержащей оптическую ось, визуализировано распределение линий равного уровня электростатического поля, индуцируемого в катодных камерах приборов, изображенных на рис. 2. Камере с плоскими катодом

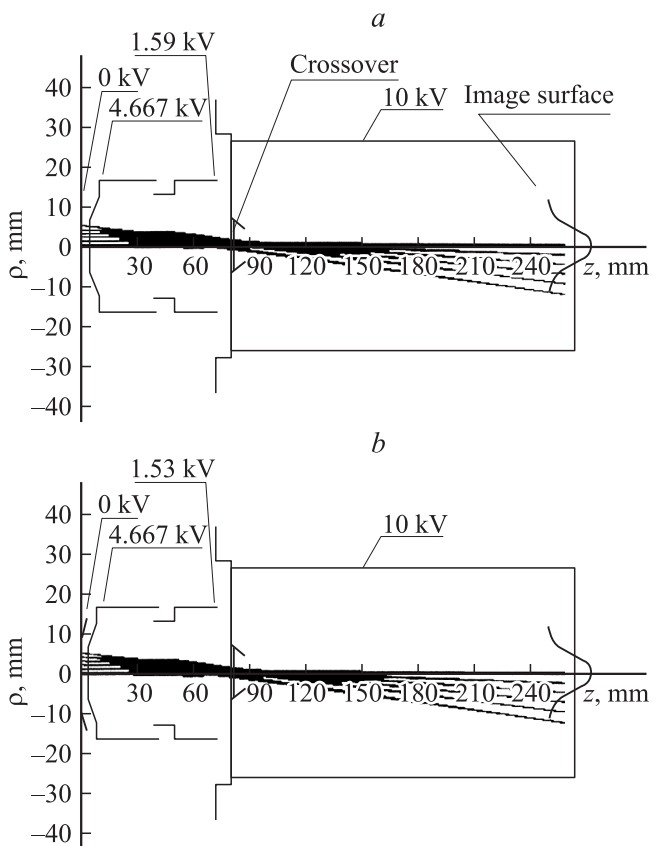


Рис. 2. Вид траекторий электронов в системе с цилиндрической (*a*) и конической (*b*) катодными насадками.

Таблица 1. Основные параметры на экране ЭОС с цилиндрической (1) и конической (2) катодными насадками

№	U_k, U_y, U_f, U_a (kV)	Параметр	0	1	2	3	4	5	Z_c	R_c
1	0 4.667 1.59 10	σ_x	0.018	0.017	0.012	0.007	0.004	0.007	80.6	1.17
		σ_y	0.018	0.014	0.015	0.016	0.018	0.020		
		σ	0.026	0.023	0.019	0.017	0.019	0.021		
		σ_i	0.6	0.6	0.9	1.2	1.1	0.6		
		M	—	2.33	2.35	2.37	2.39	2.41		
2	0 4.667 1.53 10	σ_x	0.018	0.017	0.012	0.006	0.003	0.008	83.6	1.1
		σ_y	0.018	0.015	0.012	0.018	0.019	0.021		
		σ	0.026	0.023	0.017	0.019	0.020	0.022		
		σ_i	0.6	0.7	0.9	1.3	1.2	0.7		
		M	—	2.33	2.35	2.37	2.39	2.41		

и мелкоструктурной сеткой в случае цилиндрической насадки (рис. 2, *a*) соответствует рис. 4, *a*, а конической насадке (рис. 2, *b*) — рис. 4, *b* соответственно. Приведенные на рис. 4 поля имеют схожую сферическую структуру.

Если R — радиус цилиндрической насадки, H — высота, то с увеличением R и H улучшается пространственное разрешение и падает до нескольких пикосекунд временное разрешение. Напротив, при уменьшении R и H временное разрешение переходит в фемтосекундный

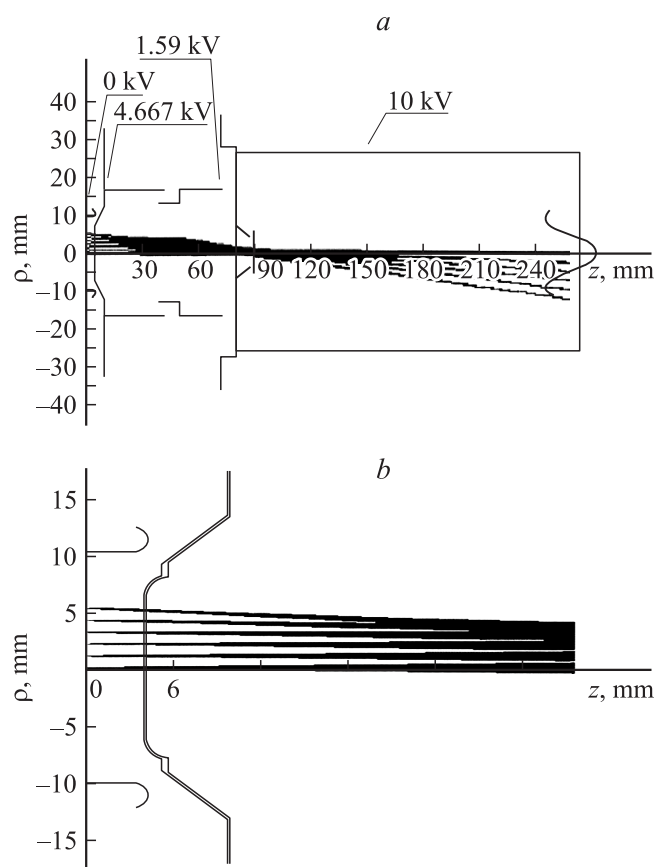


Рис. 3. Инженерный вариант конструкции электронно-оптической системы. Вид траекторий электронов (*a*), катодная камера (*b*).

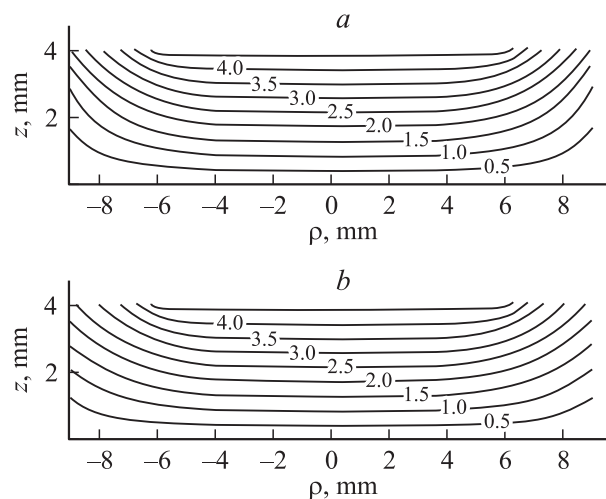


Рис. 4. Эквипотенциали электростатического поля в прикаточной области: цилиндрическая (*a*), коническая (*b*) насадки.

диапазон, пространственное разрешение несколько падает. Оптимум определяется исходя из требований, предъявляемых к конструкции ЭОП, с учетом особенностей фокусирующей системы [2].

Далее, если θ — угол образующей конической насадки с катодной плоскостью, r — радиус конической насадки в сечении катодной плоскостью и h — ее высота, то по аналогии с цилиндрической насадкой пространственное разрешение растет, а временное падает с увеличением значений θ , r и h , наоборот, пространственное падает, а временное разрешение растет с уменьшением значений параметров θ , r и h . Оптимальная форма конической насадки определяется из тех же условий, что и в случае цилиндрической насадки [2].

Таким образом, предлагаемые катодные камеры (рис. 1) для времяанализирующих ЭОП технологичнее существующих, имеют меньшую себестоимость и значительно более надежны в эксплуатации, при этом замена старых камер на новые позволяет существенно улучшить качество изображения. Данные входные камеры могут быть использованы при разработке новых широко-

форматных (с фотокатодом порядка 20 mm) конструкций времяанализирующих ЭОП с субпикосекундным временным разрешением.

Влияние провисания сетки на характеристики фокусирующей электронно-оптической системы

В предыдущем разделе удалось показать, что можно существенно снизить влияние мелкоструктурной сетки на качество передаваемого ЭОС изображения за счет отказа от использования сферических элементов в катодной камере и увеличения расстояния катод–сетка. Однако возможность деформации мелкоструктурной сетки во время сборки или в процессе работы прибора не исключается. Ниже моделируется влияние локальных неоднородностей мелкоструктурной сетки на качество передаваемого изображения.

Для исследования влияния локальных неоднородностей мелкоструктурной сетки на качество передаваемого изображения плоская мелкоструктурная сетка, моделируемая как прозрачный для электронов сплошной электрод системы на рис. 3, была заменена электродом, образующая которого имеет синусоидальные неоднородности, полупериод P которых представляет собой дугу окружности радиуса r (амплитуда максимально возможного возмущения равна $r = P/2$). Далее, на участок сетки $\rho \in [1, 4]$ mm было наложено три возмущения полупериода $P = 1$ mm и $r = 2, 1, 0.5$ mm с амплитудами 0.064, 0.134 и 0.5 mm соответственно (см. рис. 5).

Численный анализ показал (см. табл. 2), что даже при малых возмущениях сетки ($r = 2$, левая фигура на рис. 5) в зависимости от радиальной координаты катода пространственное разрешение падает с 60 до 10 lp/mm, предельное временное разрешение — от 1 до 19 ps, а коэффициент увеличения колеблется в сегменте [2.31, 2.48]. Увеличение амплитуды синусоидальной неоднородности ($r = 1$, центральная фигура на рис. 5) приводит уже к некоторому ухудшению пропускной способности сетки, при этом пространственное разрешение падает до 6 lp/mm, временное разрешение —

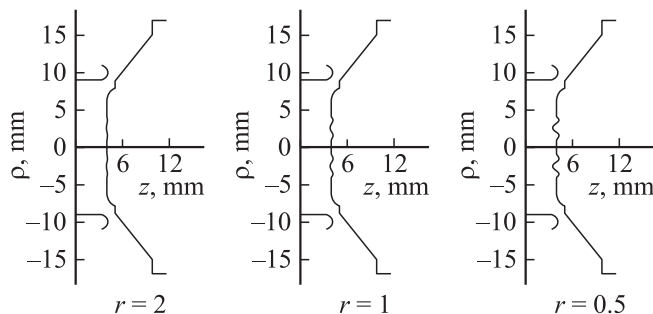


Рис. 5. Вид прикатодной области электронно-оптической системы с синусоидальным провисанием сетки ускоряющего электрода.

Таблица 2. Характеристики пучков электронов при синусоидальном провисании сетки ускоряющего электрода. Радиус дуги $r = 2$, ρ — координата точки вылета

ρ , mm	$k(\rho)$	σ , mm	σ_t , ps	M
0.0	1	0.026	1.11	—
0.5	1	0.025	1.06	2.35
0.8	1	0.021	0.55	2.36
1.0	1	0.020	8.86	2.41
1.2	1	0.019	6.73	2.42
1.4	1	0.037	12.09	2.36
1.6	1	0.049	11.18	2.32
1.8	1	0.077	13.27	2.33
2.0	1	0.025	4.62	2.34
2.2	1	0.037	7.27	2.31
2.4	1	0.044	7.68	2.33
2.6	1	0.035	6.30	2.38
2.8	1	0.036	8.70	2.43
3.0	1	0.037	9.16	2.47
3.2	1	0.030	12.09	2.46
3.4	1	0.074	18.01	2.42
3.6	1	0.077	15.01	2.39
3.8	1	0.105	18.99	2.39
4.0	1	0.101	14.71	2.42
4.2	1	0.104	19.18	2.48

до 27 ps, а коэффициент увеличения находится в сегменте [2.18, 2.52] (см. табл. 3). В свою очередь, при относительно больших локальных возмущениях сетки ($r = 0.5$, правая фигура на рис. 5) пропускная способность сетки ухудшается настолько, что появляются темные участки катода (электроны с данных участков не попадают на экран), при этом пространственное разрешение падает до 5 lp/mm, временное разрешение — до 36 ps, а коэффициент увеличения колеблется в сегменте [2.02, 2.72] (см. табл. 4).

В заключение отметим, что локальная механическая деформация сетки в стендовых испытаниях опытного образца привела к появлению на экране системы темных пятен, отвечающих проекции деформированного участка сетки на катод.

Системы фокусировки электронного изображения простой структуры

Высокое временное и пространственное разрешение в рассмотренных ранее системах фокусировки электронного изображения достигается в первую очередь за счет мощного электростатического поля сферической структуры, генерируемого в области катод–ускоряющий электрод. Для генерации электростатических полей указанной структуры в системах на рис. 2 ([1]) использованы сферический катод и плоская мелкоструктурная сетка либо плоский фотокатод и сферическая мелкоструктурная сетка. Существенно лучшие характеристики (пространственное и временное разрешение выше

Таблица 3. Характеристики пучков электронов при синусоидальном провисании сетки ускоряющего электрода. Радиус дуги $r = 1$, ρ — координата точки вылета

ρ , mm	$k(\rho)$	σ , mm	σ_t , ps	M
0.0	1	0.026	1.12	—
0.5	1	0.024	1.07	2.36
0.8	1	0.020	0.56	2.38
1.0	1	0.022	10.80	2.45
1.2	1	0.042	8.24	2.45
1.4	1	0.069	6.59	2.45
1.6	1	0.051	2.98	2.18
1.8	0.98	0.081	11.14	2.21
2.0	0.98	0.065	6.90	2.28
2.2	1	0.080	9.82	2.18
2.4	1	0.169	26.75	2.31
2.6	1	0.084	25.22	2.40
2.8	1	0.043	12.60	2.47
3.0	1	0.019	12.79	2.52
3.2	1	0.043	14.87	2.52
3.4	1	0.046	5.94	2.47
3.6	1	0.034	5.44	2.43
3.8	1	0.040	5.36	2.39
4.0	1	0.146	16.67	2.38
4.2	1	0.122	20.95	2.47

Таблица 4. Характеристики пучков электронов при синусоидальном провисании сетки ускоряющего электрода. Радиус дуги $r = 0.5$, ρ — координата точки вылета

ρ , mm	$k(\rho)$	σ , mm	σ_t , ps	M
0.0	1	0.035	1.08	—
0.5	1	0.031	0.72	2.17
0.8	1	0.023	1.05	2.21
1.0	1	0.130	3.41	2.46
1.2	1	0.078	2.43	2.32
1.4	0.75	0.072	1.75	2.45
1.6	0.03	—	—	2.02
1.8	0	—	—	—
2.0	0	—	—	—
2.2	0.02	—	—	2.40
2.4	1	0.100	16.52	2.29
2.6	1	0.091	15.50	2.49
2.8	1	0.092	15.12	2.61
3.0	0	—	—	—
3.2	0	—	—	—
3.4	0.02	—	—	2.72
3.6	0.70	0.044	0.85	2.60
3.8	1	0.086	2.46	2.49
4.0	1	0.045	1.65	2.40
4.2	1	0.197	35.76	2.47

в ~ 2 раза) имеют системы с плоскими катодом и мелкоструктурной сеткой (рис. 1), однако и в этом случае убрать все негативные последствия, обусловленные наличием мелкоструктурной сетки, не удастся.

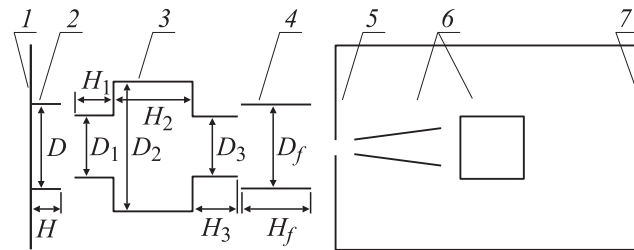


Рис. 6. Базовая конструкция электронно-оптической системы.

Дальнейшее компьютерное проектирование было направлено на поиск вариантов ЭОС, не содержащих сферических элементов, мелкоструктурных сеток либо узких щелевых отверстий, но имеющих основные параметры изображения (пространственное и временное разрешение, коэффициент усиления яркости изображения, коэффициент масштабирования) на уровне ранее рассмотренных систем с сетками.

На рис. 6 схематично представлена найденная в результате компьютерного проектирования базовая конструкция электронно-оптической системы времяанализирующего ЭОП. Принятые обозначения на рис. 6: фотокатод — 1, катодная насадка — 2, ускоряющий электрод — 3, фокусирующий электрод — 4, анод — 5, система развертки изображения — 6, экран — 7. Как видно (рис. 6), в предлагаемом устройстве фотокатод и экран выполнены плоскими, введенная металлическая катодная насадка выполнена в виде полого цилиндра диаметром D и высотой H , ускоряющий электрод состоит из трех цилиндров диаметром D_i и высотой H_i , $i = 1, 2, 3$, соединенных двумя кольцами, фокусирующий электрод имеет форму цилиндра диаметром D_f и высотой H_f [3].

Техническим результатом предлагаемого изобретения [3] является упрощение конструкции электронно-оптической системы времяанализирующих ЭОП за счет отказа от использования сферических элементов, мелкоструктурных сеток и узких щелевых отверстий, повышение надежности в эксплуатации при одновременном повышении качества изображения ЭОП, существенное расширение диапазона применения.

Суть изобретения заключается в том, что благодаря введению катодной насадки в пространстве фотокатод, катодная насадка и первый цилиндр ускоряющего электрода создается мощное электрическое поле сферической структуры. Кроме того, возможность изменения соотношений между радиусами и высотами цилиндров ускоряющего электрода в совокупности с различным соотношением потенциалов ускоряющего (U_y (kV)), фокусирующего (U_f (kV)) электродов и анода (U_a (kV)) создает возможность работы ЭОП в выбранном режиме: монотонном ($U_y < U_f < U_a$), тормозном ($U_f < U_y < U_a$) или промежуточном ($U_y < U_a < U_f$), что обеспечивает получение заданных параметров ЭОП, а именно пространственного и временного разрешения, коэффи-

циента усиления яркости изображения, коэффициента масштабирования и т.д. Поэтому предлагаемая фокусирующая система является базовой конструкцией, обеспечивающей получение заданных параметров ЭОП и характеризующаяся простотой конструкции, высокой надежностью, упрощением технологии изготовления и существенным расширением области применения [3].

Рассмотрим компьютерную модель ЭОС реального времяанализирующего ЭОП, полностью идентичную чертежу на рис. 6. На рис. 7 в плоскости, содержащей оптическую ось и луч расположения точечных эмиттеров с радиальной координатой ρ : $\rho_i = i$, $i = 0, 1, \dots, 5$ mm, из центра катода визуализованы проекции траекторий электронов из точечных эмиттеров на эту плоскость, положение кроссовера (вертикальная черта), образующие электродов и поверхности изображения, при этом рис. 7, а

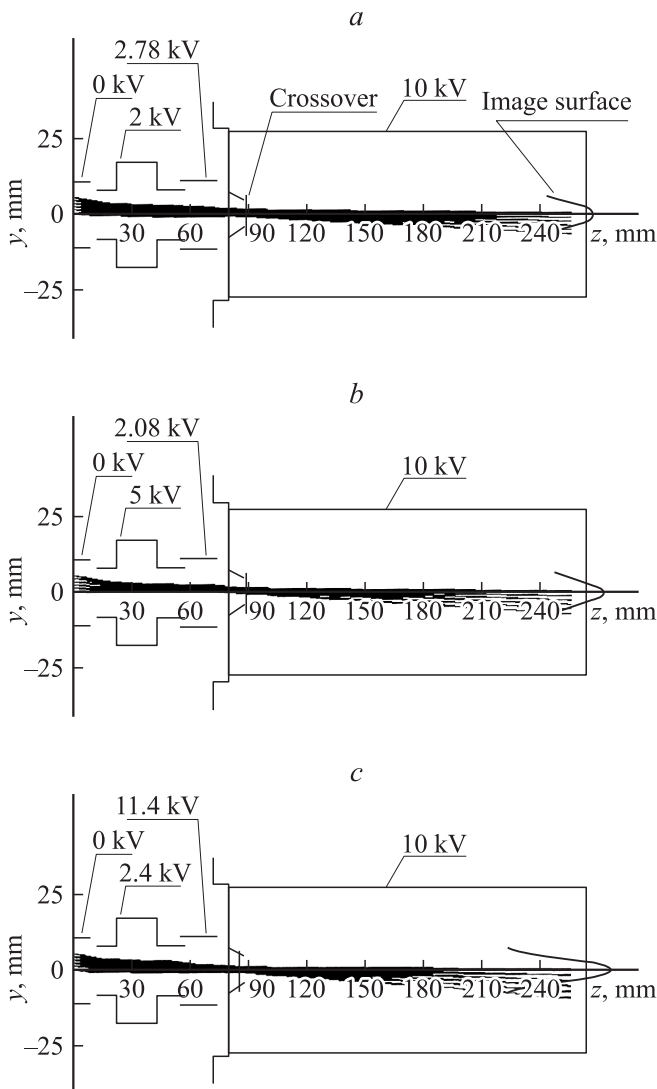


Рис. 7. Вид траекторий электронов в электронно-оптической системе при монотонном (а), тормозном (б) и монотонно-тормозном (с) режимах.

отвечает монотонному режиму фокусировки изображения ($U_y < U_f < U_a$), б — тормозному ($U_f < U_y < U_a$), а с — монотонно-тормозному режиму фокусировки изображения ($U_y < U_a < U_f$) соответственно. В монотонном режиме рассматриваемая система обеспечивает пространственное разрешение ~ 50 lp/mm при коэффициенте увеличения 1.21 и предельном временном разрешении 6 ps (см. табл. 5). В тормозном режиме рассматриваемая система обеспечивает пространственное разрешение ~ 40 lp/mm при коэффициенте увеличения 1.5 и временном разрешении 3 ps (см. табл. 5). В свою очередь, в монотонно-тормозном режиме рассматриваемая система обеспечивает пространственное разрешение ~ 30 lp/mm при коэффициенте увеличения 1.65 и временном разрешении 4 ps (см. табл. 5). Таким образом, монотонный режим фокусировки изображения позволяет получить наиболее высокое пространственное разрешение, тормозной — временное, а монотонно-тормозной режим характеризуется достаточно равномерным пространственным разрешением по всему полю катода при высоком временном разрешении.

Далее, для монотонного режима (рис. 7, а) на рис. 8 визуализованы значения на экране отфильтрованных функций рассеяния $S_P(i, j)$ (левый столбец) и $S_{PT}(i, j)$ (правый столбец) пучков $\{r_i(x_i, y_i, t_i)\}$ и $\{\hat{r}_i(x_i + (\bar{t} - t_i)V, y_i)\}$, $i = \overline{1, N}$, из точечных эмиттеров $P(x_{mm}, y_{mm})$: $P(0, 1)$, $P(0, 3)$ и $P(0, 5)$ [1]. В данном случае скорость развертки на экране $V = 10^{10}$ mm/s, при этом рис. 8, а отвечает эмиттеру $P(0, 1)$, б — эмиттеру $P(0, 3)$ и с — эмиттеру $P(0, 5)$ соответственно. Отметим, что центры рассеяния (\bar{x}, \bar{y}) ((6), [1]) пучков $\{r_i\}$ и $\{\hat{r}_i\}$ совпадают. В то же время, если σ_x и $\hat{\sigma}_x$ — среднеквадратичные отклонения в направлении развертки пучков $\{r_i\}$ и $\{\hat{r}_i\}$, то

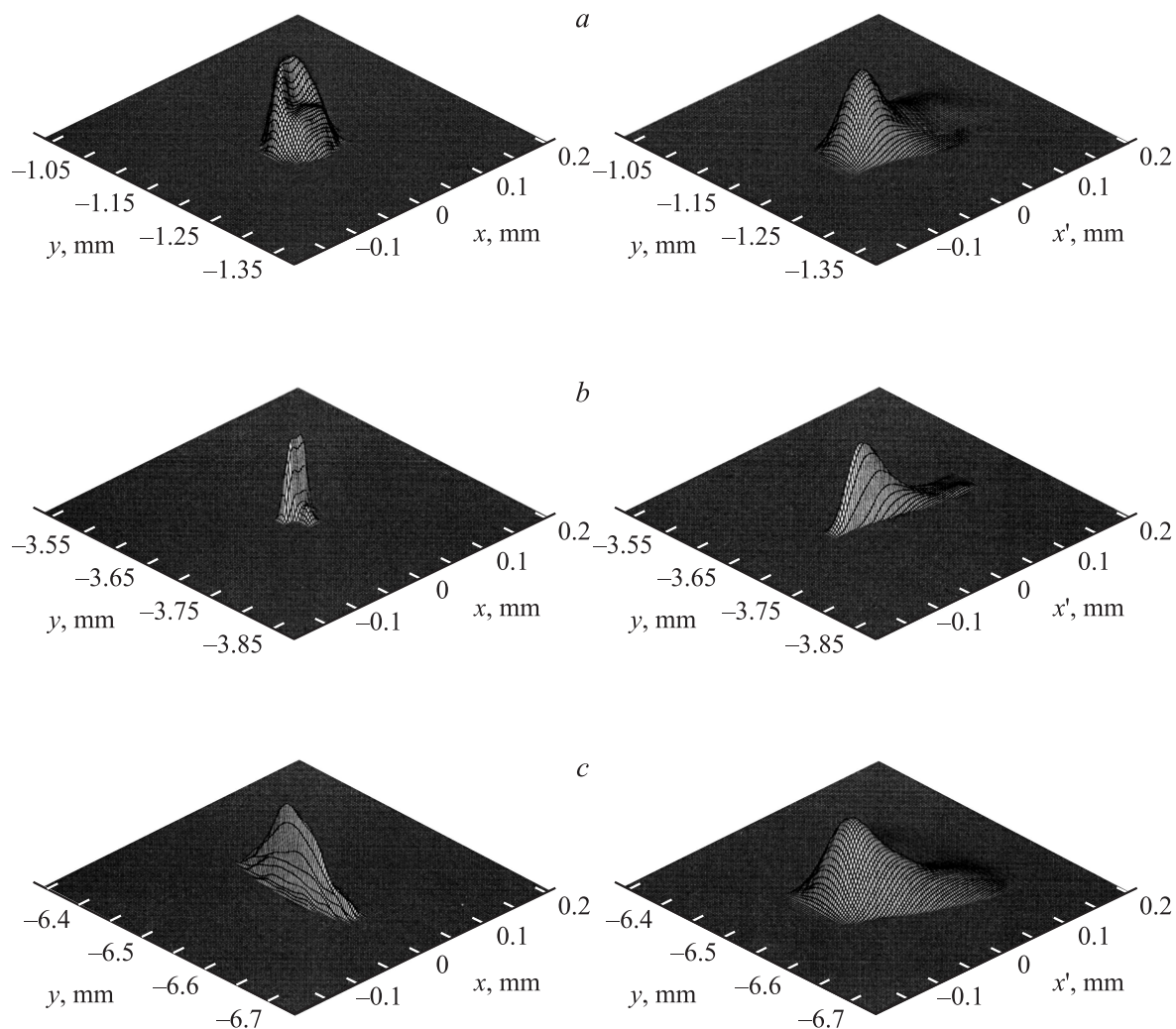
$$\left(\frac{\hat{\sigma}_x}{V}\right)^2 = \sigma_i^2 + \left(\frac{\sigma_x}{V}\right)^2 - \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\bar{x} - x_i}{V}\right) (\bar{t} - t_i), \quad (1)$$

где первые два члена в правой части (1) есть квадрат предельного временного разрешения системы, оцениваемого согласно выражению (11) в [1], а третий член характеризует корреляцию между x_i/V и t_i соответственно. Следовательно, функция рассеяния S_{PT} действительно содержит необходимую информацию как о временном, так и пространственном разрешении искомой системы. Именно в рассматриваемом случае ($V = 10^{10}$ mm/s при нулевом потенциале развертки) значения $\hat{\sigma}_x/V$ только на 2% превосходят предельное временное разрешение системы, а при скорости развертки $V = 10^{11}$ mm/s расхождение не превышает десятых долей процента.

В свою очередь, на рис. 9 визуализованы линии равного уровня функции $S_{PT}(i, j)$ для точечных эмиттеров $P(0, y_{mm})$: $y_{mm} = 0 + 0.5(i - 1)$, $i = \overline{1, 11}$, при той же скорости развертки $V = 10^{10}$ mm/s. Хорошо видно (рис. 9), что в предлагаемых системах не удалось избе-

Таблица 5. Основные параметры на экране ЭОС

№	U_k, U_y, U_f, U_a (kV)	Параметр	0	1	2	3	4	5	Z_c	R_c
1 (a)	0 2 2.78 10	σ_x	0.020	0.018	0.015	0.011	0.007	0.005	88.6	1.23
		σ_y	0.020	0.017	0.012	0.014	0.018	0.021		
		σ	0.028	0.025	0.019	0.019	0.019	0.022		
		σ_i	5.9	5.7	5.4	5.5	5.9	0.61		
		M	—	1.19	1.20	1.21	1.22	1.24		
2 (b)	0 5 2.08 10	σ_x	0.023	0.020	0.016	0.011	0.009	0.007	86.0	1.18
		σ_y	0.023	0.025	0.020	0.017	0.023	0.027		
		σ	0.033	0.032	0.026	0.020	0.023	0.028		
		σ_i	2.2	2.4	2.5	2.9	3.0	3.1		
		M	—	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54		
3 (c)	0 2.4 11.5 10	σ_x	0.040	0.034	0.018	0.006	0.023	0.032	90.6	0.89
		σ_y	0.040	0.032	0.022	0.030	0.031	0.032		
		σ	0.056	0.034	0.028	0.031	0.039	0.045		
		σ_i	2.7	3.4	3.5	3.8	4.0	4.1		
		M	—	1.57	1.61	1.65	1.70	1.74		

Рис. 8. Функции рассеяния S_P (левый столбец) и S_{PT} (правый столбец).

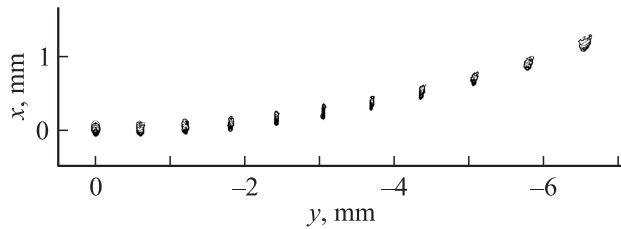


Рис. 9. Линии равного уровня функции $S_P(i, j)$.

виться от „серповидности“ изображения, свойственного известным типам времяанализирующих ЭОС ЭОП.

В заключение отметим, что в базовой конструкции ЭОС (рис. 6) с увеличением диаметра D и высоты H цилиндрической насадки улучшается пространственное разрешение системы и падает временное разрешение. Напротив, при уменьшении D и H улучшается временное разрешение ЭОС, пространственное разрешение несколько падает. В свою очередь, при диаметре входного цилиндра ускоряющего электрода D_1 большего диаметра насадки D можно получить высокое пространственное разрешение, а при $D_1 < D$ — временное. Последнее справедливо и относительно соотношения диаметров выходного цилиндра ускоряющего электрода D_3 , и диаметра фокусирующего электрода D_f . В области, ограниченной вторым цилиндром ускоряющего электрода диаметра D_2 и высоты H_2 , электрическое поле имеет слабую напряженность. Данная область используется для „тонкой“ подфокусировки электронных пучков, а второй цилиндр ускоряющего электрода — как ловушка для паразитных (вылетевших не с фотокатода) электронов [3].

Таким образом, предлагаемая ЭОС времяанализирующих ЭОП в сравнении с ранее рассмотренными (рис. 2, [1]) имеет преимущества, заключающиеся в упрощении конструкции за счет отказа от использования сферических элементов, мелкоструктурных сеток и узких щелей, повышении надежности в эксплуатации при одновременном повышении качества изображения ЭОП. Кроме того, предлагаемая ЭОС обеспечивает фокусировку электронного изображения в трех принципиально отличных режимах: монотонном, тормозном и монотонно-тормозном, т.е. предлагаемая ЭОС имеет существенно более широкий спектр применения, чем существующие ЭОС, традиционно работающие в одном из указанных режимов.

На основе базовой конструкции (рис. 6) было разработано несколько ЭОС для вполне конкретных времяанализирующих ЭОП с заданными характеристиками, стендовые испытания которых полностью согласуются с результатами компьютерного проектирования. Достигнутое предельное временное разрешение в компьютерных макетах без сеток [3] составляет 2 ps, что несколько хуже, чем временное разрешение в конструкциях с плоскими катодом и сеткой [2] (1 ps).

Список литературы

- [1] Бадьин Л.В., Демин С.К., Сафронов С.И., Тарасов Р.П. // ЖТФ. 2011. Т. ?. Вып. ?. С. ?.
- [2] Бадьин Л.В., Зюзин Л.Н., Прянишников И.Г., Сафронов С.И., Славнов Ю.К., Тарасов Р.П. Патент Ru № 237419. С. 1. 2008.
- [3] Бадьин Л.В., Зюзин Л.Н., Прянишников И.Г., Сафронов С.И., Славнов Ю.К., Тарасов Р.П. Патент Ru № 237834. С. 1. 2008.