

Электронно-оптическое приборостроение ВНИИОФИ за 40 лет

В.С. Иванов, Ю.М. Золотаревский, В.Б. Лебедев, Г.Г. Фельдман

Приведен обзор развития электронно-оптического приборостроения во ВНИИОФИ с момента образования института по настоящее время.

Ключевые слова: электронно-оптический преобразователь, камера, быстропротекающие процессы, временное разрешение, развёртка.

The review of image converter instrument-building in VNIIOFI from the moment of institute creation up to this time is presented.

Key words: image converter tube, camera, fast running processes, temporal resolution, sweep.

Электронно-оптический метод регистрации и измерения параметров быстропротекающих процессов существует уже более 55 лет.

Первый электронно-оптический преобразователь (ЭОП) ПИМ-3 с развёрткой изображения электрическим полем был создан в Советском Союзе в 1949 году М.М. Бутсловым – будущим д.т.н. и начальником лаборатории В-4 ВНИИОФИ.

Первая в Советском Союзе 9-ти кадровая электронно-оптическая камера на основе ЭОП ПИМ-3, специально предназначенная для исследования взрывных процессов, была создана в 1961 году Ю.А. Дрожбиным – будущим заместителем директора ВНИИОФИ и начальником лаборатории Р-4, ныне доктором технических наук, председателем Российского (ранее Советского) комитета по высокоскоростной фотографии.

Первая в мире промышленная электронно-оптическая камера ФЭР-2 с предельным временным разрешением 2×10^{-11} с была создана в Советском Союзе в 1966 году [1] во Всесоюзном НИИ Оптико-Физических Измерений в год образования института. Она была очень тяжёлой, весила ~ 250 кг, имела весьма внушительные размеры $2200 \times 450 \times 710$ мм³ (рис.1) и потребляла около 1 кВт мощности.

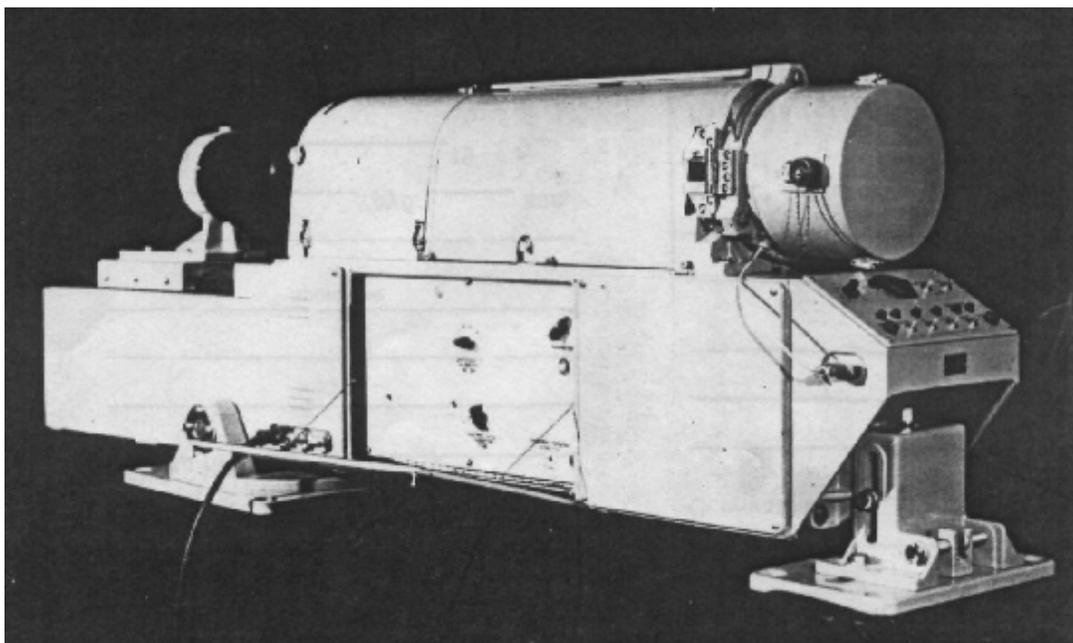


Рис.1. Первая отечественная промышленная пикосекундная электронно-оптическая камера – фотоэлектронный регистратор ФЭР-2.

Это объяснялось тем, что, во-первых, в ЭОП УМИ-92 в каскадах усиления яркости для фокусировки электронных пучков использовалось сильное магнитное поле, создаваемое тяжёлым соленоидом, питаемым мощным стабилизированным источником тока. Во-вторых, элементная база радиоэлектронных компонентов того времени, необходимая для создания стабилизированных источников тока, стабилизированных источников высокого напряжения, питающих электроды ЭОП (в ФЭР-2 это -15кВ , $+10$ и $+20\text{кВ}$), ламповой схемотехники генераторов затворных импульсов (ГЗИ), генераторов развёртывающих (ГРИ) и массы других вспомогательных импульсов, имела большие габариты, большой вес и большое энергопотребление. Всё это можно было разместить только в мощной, тяжёлой, литой конструкции. Если, например, возникала необходимость переместить где-нибудь в лаборатории ФЭР-2 с одного рабочего места на другое, то это было под силу только не менее чем шестерым крепким мужчинам.

Тем не менее, весть о создании промышленно выпускаемого прибора, который можно купить (выпуск начался с 1967г), а не только увидеть на выставке, да ещё с таким высоким временным разрешением, быстро распространилась, создав большую очередь организаций, прежде всего академических, желающих

заполучить ФЭР-2. Первыми потребителями ФЭР-2, кроме самого ВНИИОФИ, были Физический институт Академии Наук СССР (ФИАН), Институт Вычислительной Техники (ИВТ АН СССР) и Московский Государственный Университет. Один из образцов ФЭР-2 был поставлен в ГДР в университет г. Иены.

То было время изобретения лазера и последовавшей за этим событием целой эпохи бурного развития лазерной техники, когда быстро появились разнообразные лазеры, в том числе и лазеры, генерирующие пикосекундные импульсы. Но никакая промышленная осциллография не имела тогда необходимого временного разрешения. Его имел только ФЭР-2, разработанный во ВНИИОФИ. Поэтому фамилии организатора и первого директора ВНИИОФИ Б.М. Степанова и непосредственных создателей ФЭР-2 – в первую очередь Ю.А. Дрожбина, Б.З. Горбенко и А.М. Толмачёва, а также М.М. Бутслова – создателя времяанализирующих электронно-оптических преобразователей – были на слуху у всех, кто занимался пикосекундной лазерной техникой и вообще техникой регистрации и измерения параметров разнообразных быстропротекающих процессов (БПП), поскольку номенклатура различных приборов, выпускаемых для этих целей во ВНИИОФИ, постоянно расширялась.

Справедливости ради нужно сказать, что первоклассные специалисты по высокоскоростной электронно-оптической аппаратуре были не только во ВНИИОФИ. В ФИАНе эту технику успешно развивали М.Я. Щелев и В.В. Коробкин. В Институте Атомной Энергии это была целая плеяда талантливых учёных-физиков – Е.К. Завойский, С.Д. Фанченко, Ю.Е. Нестерихин, М.И. Пергамент, В.С. Комельков, А.Г. Плахов, Г.Е. Смолкин и др., большинство из которых имели ещё и прекрасную инженерную подготовку. Однако они создавали единичные пионерские образцы (скорее, это были макеты, использовавшиеся в физических исследованиях), действительно демонстрировавшие высокие, нередко предельные для того времени технические характеристики, но не способные утолить голод широкой науки и техники в подобной аппаратуре. Выпуск первых промышленных камер с пикосекундным временным разрешением оказался под силу только ВНИИОФИ.

Практически в то же время Сумской завод электронных микроскопов и электронной автоматики на основе разработок, выполненных в Институте Атомной Энергии, начал выпуск более медленных чем ФЭР-2 камер наносекундного диапазона серии ЛВ, названных лупами времени. Сначала это была ЛВ-01, затем ЛВ-02, ЛВ-03 и, наконец, ЛВ-04 [2]. Они отличались между собой в основном числом каскадов усиления яркости и соответственно габаритами, весом и потребляемой мощностью, достигавшей несколько киловатт. Конструктивно они представляли собой регистратор в виде отдельного огромного тяжёлого модуля на мощном штативе на колёсах, в котором располагался ЭОП (короткие фокусирующие катушки для каскадов усиления яркости имели водяное охлаждение) с предвыходными и выходными каскадами импульсной управляющей электроники, и одну или две (в зависимости от числа каскадов усиления яркости в ЭОП) электронные стойки высотой ~1,5м с источниками питания (также на колёсах). Колёса обеспечивали этим камерам несколько большую мобильность по сравнению с ФЭР-2.

В 1970 году начался мелкосерийный выпуск разработанных во ВНИИОФИ двухканальной девятикадровой лупы времени ЛВЭ-1 [3] (рис.2) и двухканального фотохронографа ФЭР-3 [4], предназначенных для регистрации динамики генерации излучения сверхмощных инфракрасных лазеров со взрывной накачкой, создававшихся в то время по отечественной оборонной программе в противовес аналогичной американской программе “звёздных войн” СОИ.

Два канала этих камер с помощью нейтральных фильтров настраивались на разные чувствительности, отличавшиеся один от другого примерно на 2 порядка или даже более, что позволяло при регистрации одного и того же процесса существенно увеличить динамический диапазон интенсивностей регистрируемых сигналов. Обе камеры были выполнены в одинаковых конструктивах, имели габаритные размеры 1700x514x670мм³, массу ~ 200кг и мощность потребления 500Вт.

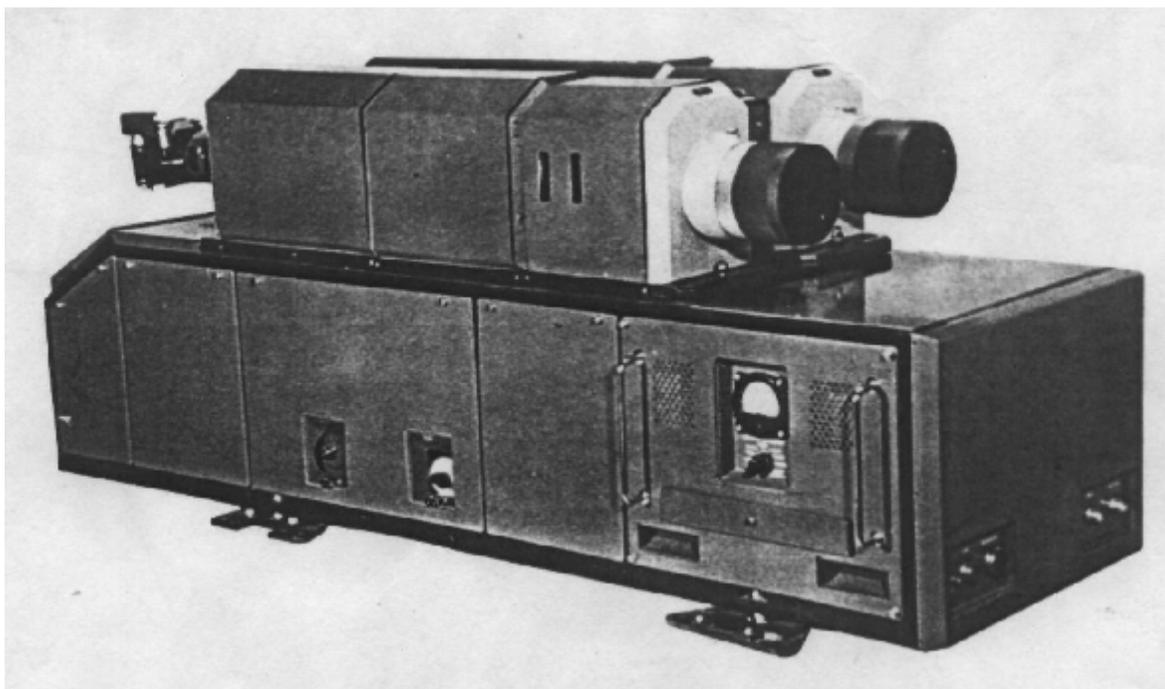


Рис.2. Лупа времени электронная ЛВЭ-1

В лаборатории д.т.н. М.М.Бутслова для этих камер по специальной технологии изготавливались ЭОПы ПИМ-3 с высокой, продлённой в ИК область чувствительностью фотокатодов, что являлось уникальным достижением тех лет.

Несколько позже ЛВЭ-1 и ФЭР-3 в Воронеже на заводе «Эталон» начался выпуск фотохронографа ФЭР-5 [5] (выпущено 5 образцов), разработанного по заказу Государственного Оптического Института (ГОИ) им. С.И. Вавилова на основе ЭОП УМИ-93 и электронного умножителя типа ЭЛУ-ОК. Электронный умножитель позволил сократить «мёртвое время» запуска ФЭР-5 до 20нс (в ФЭР-2 оно составляло 100нс).

В НИИ Импульсной Техники Министерства Среднего Машиностроения (ныне – это Минатом) разработка камер началась только с 1976г (ведущий специалист по камерам Е.К. Славнов), но исключительно для внутренних потребностей этого министерства.

Трудоёмкость изготовления и стоимость отечественных камер того времени были весьма велики. Поэтому и выпускались они в очень ограниченном количестве. Но тогда на трудоёмкость особого внимания не обращалось. Главное было достичь основные технические параметры, обеспечивающие получение требуемой информации о регистрируемом процессе. В результате в конце 70-х

годов 20-го века в Советском Союзе создалась такая ситуация, когда бурно развивавшаяся техника импульсных лазеров пикосекундного диапазона времени оказалась без массово промышленно выпускаемой аппаратуры, способной измерять пространственно-временные параметры пикосекундных оптических импульсов с временным разрешением 1-2пс. Нужна была простая и компактная, как осциллограф, камера, к тому же технологичная и не очень трудоёмкая в изготовлении. Приобретение подобной импортной аппаратуры было невозможно из-за эмбарго – запрета, наложенного существовавшей на Западе комиссией КОКОМ, контролирующей поставки высокотехнологичного оборудования из высокоразвитых капиталистических стран в страны соцлагеря и страны третьего мира.

После неожиданной безвременной кончины в 1973г М.М. Бутлова Б.М. Степанов пригласил на работу во ВНИИОФИ таких известных в области фотоэлектронных и электронно-лучевых приборов учёных, как д.т.н. А.Е. Меламид и д.т.н. В.А. Миллер, внёсших большой вклад в создание новых ЭОП.

С появлением во 2-й половине 70-х годов 20-го века вакуумноплотных волоконно-оптических пластин, а затем и микроканальных пластин размеры ЭОП резко сократились, поскольку отпала необходимость магнитной фокусировки электронных пучков в усилительных каскадах ЭОП. Благодаря так же прогрессу в миниатюризации радиоэлектронной элементной базы в 1978г в Японии фирмой Хамамацу была разработана весьма малогабаритная для того времени фотохронографическая камера TD C979 [6], имевшая предельное временное разрешение 1х10⁻¹¹с.

Именно тогда в 1978г в сложившейся критической для СССР ситуации, грозившей отставанием в развитии лазерной техники, по инициативе директора ВНИИОФИ Б.М. Степанова во ВНИИОФИ была срочно (в течение полугода) разработана камера Агат-СФ1 [7], имевшая предельное временное разрешение 2х10⁻¹²с, в 5 раз лучшее чем у японской TD C979. Габаритные размеры камеры Агат-СФ1 (рис.3) составляли 903х202х388мм³, масса – 30кг, потребляемая мощность 100Вт. Это был поистине прорыв в электронно-оптическом приборостроении.

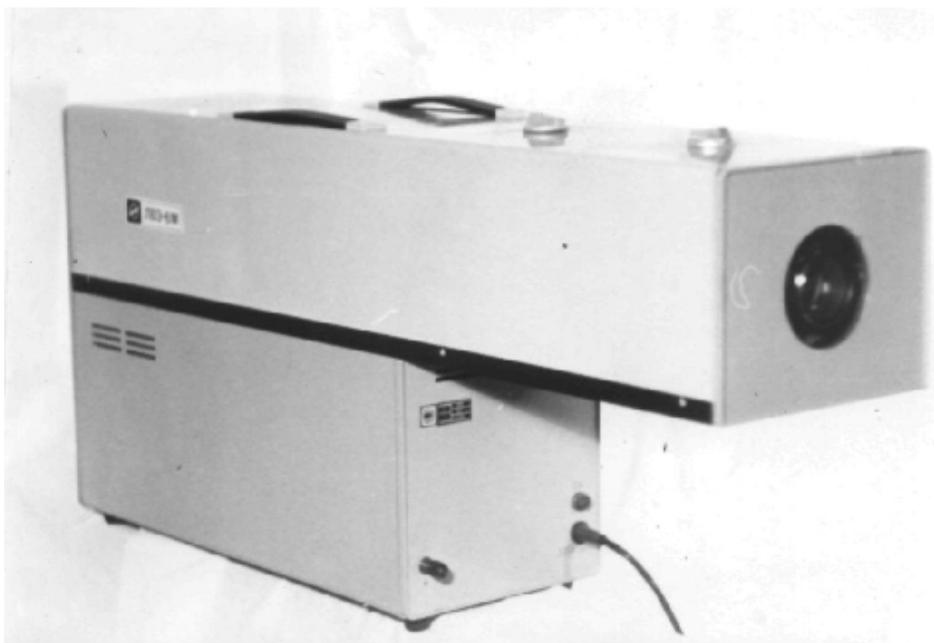


Рис.3. Камера Агат-СФ1.

С 1979г начался серийный выпуск Агатов на опытном на заводе НПО ВНИИОФИ “Протон” в Смоленске (по 30 и более камер в год). Затем к ним добавился выпуск фотохронографов ФЭР-7 [8], рентгеновских Агат-СФ5 [9] и ещё 2-х новых модификаций Агатов – Агат-СФ3 и Агат-СФ3М. Всего в период с 1979 года по 1989 год включительно в Смоленске было выпущено ~ 420 высокоскоростных камер различных типов. Агат-СФ1 и Агат-СФ3 экспонировались на многочисленных международных выставках в СССР и за рубежом – в Англии, ГДР, Румынии, Болгарии, Югославии и Швеции. Две модели камеры Агат – Агат-СФ1 и Агат-СФ3 были удостоены золотых медалей международной ярмарки в Лейпциге (ГДР) соответственно в 1980 и 1983 годах. Несколько камер были поставлены за рубеж – в ГДР и Чехословакию.

В качестве научно-технического задела разрабатывались и многочисленные экспериментальные образцы высоко- и сверхвысокоскоростных камер. Так, в 1980 году в Москве на 14-м Международном конгрессе по высокоскоростной фотографии и фотонике были продемонстрированы снимки, полученные с помощью камеры Агат-04М, на которых впервые в мире была зарегистрирована флуктуационная субпикосекундная временная структура в излучении мощного неодимового лазера с длительностью отдельных пиков от 0,2 до 0,3пс с

контрастом от 40 до 60% [10]. Только через 15 лет японской фирме Хамамацу удалось создать камеру FESCA-200, имеющую при коэффициенте развёртки 20 пс/см такое же временное разрешение. В следующей модели камеры ВНИИОФИ Селена-2 был достигнут рекордный коэффициент развёртки 5 пс/см, не превзойдённый никем в мире и по сей день. При этом графическая скорость развёртки электронного луча в ЭОП составила около семи скоростей света, что обеспечивало техническое временное разрешение камеры 0,1 пс. Только отсутствие в то время доступных фемтосекундных лазеров с хорошей повторяемостью временных параметров импульсов и энергетикой, достаточной для устойчивой работы лазерного разрядника РГЛ-2, использовавшегося в качестве ключа в генераторе развёртки, не позволило измерить реальное предельное временное разрешение этой камеры.

Более подробная информация об этих серийных и многочисленных других экспериментальных камерах приведена в сборнике научных трудов [11] в статье В.Б. Лебедева и Г.В. Колесова «Высокоскоростная электронно-оптическая техника ВНИИОФИ. Итоги разработок за 10 лет (1978-1988 гг.)».

Считаем необходимым перечислить имена основных разработчиков этих камер: ФЭР-2 – Ю.А. Дрожбин, Б.З. Горбенко, А.М. Толмачёв, Д.Ф. Коринфский и В.А. Яковлев, ФЭР-3 – А.М. Толмачёв, ФЭР-7 – В.И. Аверин и А.М. Толмачёв, ФЭР -11 и ФЭР-14 – А.М. Толмачёв, Б.Ф. Усачёв, Р.Г. Бельговская и А.И. Ситникова, ФЭР-27 – А.М. Толмачёв, Агат-02М – В.И. Аверин и Н.И. Мараниченко, Агат-Р и Агат-02МР – В.И. Аверин, Н.И. Мараниченко и С.В. Саулевич, Агат-СФ1 – В.И. Аверин, Агат-СФ3 – В.И. Аверин и В.Б. Лебедев, Агат-СФ3М – Н.И. Мараниченко, Агат-СФ5 – В.И. Аверин (серийные ФЭР-7 и Агаты прошли конструкторскую разработку в филиале СКБ ВНИИОФИ в Смоленске под руководством В.А. Дмитриева и выпускались там же на заводе Протон, руководимом В.Н. Медведковым), ЛВЭ-1 – В.Б. Лебедев, ЛВЭ-2 – В.Б. Лебедев и Т.С. Вьюгина, ЛВЭ-3 – В.Б. Лебедев и М.И. Крутик, ЛВЭ-4 и ЛВЭ-4Р – М.И. Крутик и Т.С. Вьюгина, ЛВЭ-5 – М.И. Крутик и С.А. Варга, ЛВЭ-6 – В.Б. Лебедев, А.М. Толмачёв и Н.В. Чернышев, Уникадр-1 (и её последующие модификации) – В.И. Аверин, В.Б. Лебедев и А.И. Ситникова, Уникадр-Р – С.В.

Саулевич, Кадр-стерео-1 – Г.В. Колесов и А.И. Батыгина, Агат-04М, Фемтохрон, Позитрон и Селена-2 – О.М. Брехов, Г.В. Колесов, В.Б. Лебедев и Н.И. Мараниченко, первая во ВНИИОФИ телевизионная система бесфильмовой записи и цифровой обработки изображений типа Фотон – В.Н. Арефьев.

Для этих камер было создано целое семейство новых времяанализирующих ЭОП и усилителей яркости. Для камер Агат различных модификаций это времяанализирующие ПВ-001А, ПВ-003Р, ПВ-006, ПВ006А и ПВ-006М, разработанные Г.И. Брюхневичем - талантливым учеником М.М. Бутслова, В.А. Миллером и его учениками Б.Д. Смолкиным и А.А. Соболевым и микроканальный усилитель яркости ПМУ-2В, разработанный В.Н. Сивенковой под руководством В.А Миллера. Для камер ФЭР-7, ФЭР-11, ФЭР-14 и ФЭР-27 это ПИМ-103 и гамма модификаций ПИМ-104 [12], для рентгеновских камер это открытый ЭОП ПИМ-106, для камеры ЛВЭ-6 это уникальный сверхскоростной многокадровый ПИМ-107(все разработаны к.т.н., ныне д.т.н. Г.Г. Фельдманом). Это серия однокамерных модульных усилителей яркости типа ПМ с различными коэффициентами электронно-оптического увеличения, начатая аспирантом ВНИИОФИ А.О. Варданыном (ныне к.т.н., директором Ереванского НИИ Оптико-Физических Измерений), а затем успешно продолженная А.Ф. Мясниковым. Это и плоские ЭОП типа би- и трипланар с диаметром рабочего поля 40мм, разработанные Ю.М. Михальковым, и разнообразные открытые ЭОП с МКП для регистрации ультрафиолетового и рентгеновского излучения, разработанные Б.Н. Брагиным. Это суперкремникон ПДМ1-40 с диаметром рабочего поля 40мм для указанной выше системы Фотон, разработанный А.Ф. Мясниковым и к.т.н., ныне д.т.н. В.П. Симоновым, и разработанные Г.И. Брюхневичем впервые в мире комбинированные «сэндвич-фотокатоды» (сурьмяно-цезиевый катод в качестве эмиттера вторичных электронов поверх золотого рентгеновского фотокатода, что позволило один и тот же ЭОП использовать и в видимом, и в мягком рентгеновском диапазонах спектра).

Кстати, именно Г.И. Брюхневич также впервые в мире разработал для времяанализирующих ЭОП широкополосные ($\geq 3\text{ГГц}$) отклоняющие системы с коаксиальными вводами, позволившие резко увеличить скорость развёртки до

сверхсветовых значений, необходимых для достижения фемтосекундного временного разрешения ЭОП. Эти системы, оказавшиеся универсальными, широко использовались и по сей день применяются во всех скоростных ЭОП. Здесь нужно вспомнить и о популярных в своё время времяанализирующих ЭОП с СВЧ резонансными системами развёртки, которые разрабатывались к.т.н. В.Р. Магнушевским и д.т.н. М.Е. Герценштейном.

Помимо высокоскоростных камер во ВНИИОФИ было выпущено значительное количество разнообразных уникальных экспериментальных образцов малошумящих ЭОП, большинство из которых было разработано С.В. Липатовым под руководством М.М. Бутслова, затем под руководством Б.М. Степанова и В.А. Миллера. К классу малошумящих относится и цифровой ЭОП Диакон-2 с кремниевой усилительной многоэлементной линейкой, разработанный В.Н. Сивенковой под руководством В.А. Миллера. В.И. Бассом на основе ЭОП, разработанных С.В. Липатовым, и Т.С. Вьюгиной на основе ЭОП Диакон-2 были разработаны соответствующие сверхвысокочувствительные камеры для астрофизических исследований, которыми были оснащены практически все крупные обсерватории Советского Союза. После катастрофы на Чернобыльской АЭС В.И. Басс с разработанной им камерой, предназначавшейся для кинематографирования слабых форм полярных сияний, в составе ликвидаторов последствий аварии использовал эту камеру в экспериментах по дистанционному контролю состава паро-газовой смеси, выделявшейся из разрушенного реактора.

Создание перечисленных выше ЭОП и камер (а далеко неполный их перечень) невозможно представить без титанического труда первоклассных конструкторов, оптиков и технологов, химиков, умельцев механиков, радиомонтажников и наладчиков, стеклодувов и откачниц-вакуумщиц, а также теоретиков, блиставших в разное время во ВНИИОФИ на этом поприще.

Это конструкторы камер: И.В. Ляпин, И.Н. Исаев, В.А. Рубинштейн, В.П. Кочетов, И.А. Сокольников, Б.В. Константинов, В.И. Мамонтов и Б.М. Михайленко,

конструкторы ЭОП: Ю.И. Шершунов, В.Ф. Лукин, А.И. Борисов, Е.О. Данченко и Т.М. Куракина,
оптики: А.Б. Гранигг, А.И. Чурбаков, Л.А. Платонова, Г.И. Белинская, М.С. Гуськова и Е.З. Рябинина,
руководители производственно-технологического сектора Л.И. Кондрашова и Н.В. Баскаков,
технологи ЭОП: Е.С. Воскобойникова, В.Н. Стожкова, Л.З. Пекарская, Н.Д. Панова, Т. И. Ушакова, В.М. Жилкина, Н.П. Воронкова, д.т.н. А.Е. Меламид, Э.И. Зак, В.Г. Кучеров, Ю.П. Балатаева, к.т.н. И.М. Весельницкий, Т.И. Медведева и В.Н. Савиных,
монтажницы ЭОП: З.Н. Якубовская, З.Ф. Черкасова, В.В. Авдеева и В.А. Слепченко,
испытатели ЭОП: Н.Я. Николаева, Л.В. Симакова, Ю.Н. Терёшин, А.Ф. Козлов и В.Н. Сырцев,
химики, руководимые д.х.н. Л.М. Зайцевым: к.х.н. Л.А.Поспелова, к.ф-м.н. М.В. Сенашенко, к.х.н. В.М. Ключников, А.В. Белоусов и М.Ю. Бродский – впоследствии зам. начальника опальной на заре перестройки лаборатории М-9,
механики: Ф.Ф.Шрамко, И.И.Потапов и Ю.Д. Сидоров,
руководитель большой радиомонтажной группы А.В. Казакевич,
механики-радиомонтажники-настройщики: В.С. Артемьев и В.А. Карпов,
наладчики электровакуумного оборудования А.Д. Евдокимов и В.П. Плюта,
стеклодувы: И.М. Волков и В.Д. Сидоров,
откачницы-вакуумщицы: Т.М. Федоровская, М.П. Поправкина, Н.В. Сидорова, Т.Е Крутова, В.М. Князева и Э.Н. Карпова,
теоретики: к.ф-м.н. В.С. Булыгин и к.ф-м.н. И. М. Корженевич,
расчётчики электронно-оптических систем: Р.И. Шарипджанов и Б.Г. Фрейкман.

Всех их – Мастеров своего дела с большой буквы, внесших неоценимый вклад в электронно-оптическое приборостроение во ВНИИОФИ, при всём желании перечислить здесь невозможно. Поэтому заранее просим прощения у тех, кого мы не назвали.

В то время ВНИИОФИ был крупнейшим производителем электронно-оптических камер в мире. При этом была решена исключительно важная народнохозяйственная задача, в результате чего фундаментальная и прикладная науки в СССР были в полной мере обеспечены первоклассной диагностической аппаратурой, соответствовавшей уровню лучших мировых достижений в этой области науки и техники.

С приходом в 1971 году в институт к.т.н. А.Ф. Котюка – профессионального метролога, ныне доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники, академика Российской Метрологической Академии – во ВНИИОФИ началась разработка основ научной метрологии в области измерений параметров быстропротекающих процессов.

В частности, созданное под его методическим руководством метрологическое обеспечение высокоскоростных электронно-оптических камер в виде поверочной установки высшей точности, разработчиком и учёным хранителем которой был к.т.н. Г.В. Колесов, позволило гарантировать для всех типов камер серии Агат, в том числе и рентгеновских, нормированные погрешности измерения пространственных и временных интервалов, а также длительностей оптических импульсов в пико-наносекундном диапазоне времени. Нужно сказать, что это было сделано впервые в СССР и в мире, так как до этого ни один производитель не указывал в документации камер погрешности измеряемых ими параметров.

Труд исключительно скромного, отзывчивого и удивительно обаятельного человека – Геннадия Викторовича Колесова – нужно отметить особо, так как, помимо того, что он сам был разработчиком многих камер, все разработанные во ВНИИОФИ при его жизни камеры прошли через его руки при исследовании метрологических параметров камер и их метрологической аттестации. И сегодня его методические наработки по метрологии электронно-оптических камер являются настольной книгой для продолжателей его дела.

Выпущенное в обращение огромное количество камер потребовало создания во ВНИИОФИ сервисной службы, которой многие годы руководил Б.З. Горбенко. Эта служба обеспечивала ввод камер в эксплуатацию, обучение

пользователей, гарантийный и послегарантийный ремонты камер, а также, к большому удовлетворению пользователей, нередко вместе с ними на начальном этапе эксплуатации камер участвовала в исследованиях процессов, интересовавших пользователей.

В результате негативных явлений, возникших в начале 90-х годов 20-го века при перестройке – переходе экономики страны к рыночным отношениям, потенциальные потребители лишились финансовых возможностей для закупки камер и ЭОП. Выпуск камер на заводе в Смоленске в был полностью прекращён и завод вышел из состава НПО ВНИИОФИ. Выпуск ЭОП и разработка экспериментальных образцов новых типов камер и ЭОП, всегда осуществлявшиеся во ВНИИОФИ, практически также прекратились. Была разорвана цепь технологических процессов, необходимых для изготовления ЭОП, которые по требованиям вакуумной гигиены всегда территориально должны производиться в одном месте. Коллектив сотрудников ВНИИОФИ, работавших по тематике электронно-оптического приборостроения, насчитывавший ранее около тысячи человек, начал резко сокращаться. Ситуация неумолимо развивалась в сторону полного развала этого направления науки и техники во ВНИИОФИ. Было ясно, что сохранить большой коллектив не удастся.

По инициативе д.т.н. М.Я. Щелева – начальника отделения Института Общей Физики АН СССР (ИОФАН) и, благодаря поддержке директора этого института академика А.М. Прохорова, значительная часть сотрудников ВНИИОФИ с оборудованием была переведена в ИОФАН.

Выходом из создавшегося катастрофического положения во ВНИИОФИ явилось создание в 1991 году при учредительстве ВНИИОФИ его дочернего предприятия ТОО “Компания БИФО” по разработке и производству ЭОП и камер. С тех пор электронно-оптическая техника создаётся совместными усилиями ВНИИОФИ и Компании БИФО.

Сегодня в России существуют и в определённой мере конкурируют между собой 3 научных центра, развивающих электронно-оптический метод высокоскоростной фотографии. Это ВНИИОФИ совместно с Компанией БИФО, Институт Общей Физики РАН и НИИ Импульсной техники Минатома.

Нарождавшиеся рыночные отношения заставили прежде всего пересмотреть концепцию создания новой электронно-оптической аппаратуры. Основой новой концепции стал следующий принцип – минимальная трудоёмкость и себестоимость разработки и производства аппаратуры при максимально высоких технических и эксплуатационных характеристиках, обеспечивающих высокую конкурентоспособность этой аппаратуры на мировом рынке. Ориентация на мировой (имеется в виду зарубежный) рынок была связана с неплатёжеспособностью отечественных потребителей ЭОП и камер.

Дальнейшей детализацией этой концепции явились следующие аспекты:

- разумная миниатюризация аппаратуры, поскольку габариты и вес аппаратуры выше определённой величины начинают прямо сказываться на трудоёмкости и следовательно на себестоимости изготовления;
- анализ конъюнктуры потребностей рынка электронно-оптической аппаратуры с преимущественной целью создания таких базовых моделей камер, которые наверняка будут пользоваться высоким спросом; при этом закладывать такую идеологию их конструктивной и схемотехнической архитектуры, которая бы позволяла гибко проводить их доработки и адаптации под специфические требования потребителей, а также модернизацию по мере совершенствования их элементной базы;
- обеспечение высокой надёжности аппаратуры.

Одной из практических реализаций этой концепции явилось создание в 1998 году базовой модели малогабаритной, лёгкой и экономичной камеры К008 [13] (рис.4), работающей как в однокадровом режиме (длительность кадра от 10нс до 600мкс), так и в режиме линейной развёртки (длительность от 2нс до 600мкс) и обеспечивающей предельное временное разрешение 2×10^{-11} с.



Рис.4. Электронно-оптическая камера K008.

На рис.5 показан ЭОП ПВ-201, разработанный д.т.н. Г.Г. Фельдманом специально для камеры K008.



Рис.5. «Сердце» камеры K008 – миниатюрный ЭОП ПВ-201.

И до настоящего времени эта камера является самой миниатюрной в мире среди камер такого класса. Её габаритные размеры составляют 340x90x190мм³, масса 3,5кг, а потребляемая мощность всего лишь 8,5Вт. При сравнении лишь некоторых характеристик ФЭР-2 и K008 видно, какой прогресс произошёл в электронно-оптическом приборостроении за эти годы. Если в 1966г камера ФЭР-2, весившая 250кг и потреблявшая 1кВт мощности, была мировым рекордсменом с временным разрешением 2×10^{-11} с, то в 1998г K008, имевшая такое же, но уже далеко не рекордное разрешение, весила в 80 раз и потребляла мощности в 120 раз меньше.

На рис.6 показана камера K008, подключённая к персональному компьютеру. На дисплее компьютера видно окно анализа профилей изображения линейной развёртки щелевой миры (временного по оси X и пространственного по оси Y), подсвеченной импульсной лампой вспышкой (длительность развёртки составляет 2мкс).



Рис.6. Камера K008 с персональным компьютером.

На рис.7 показана последняя модель K008, которая может работать как с персональным компьютером, так и с ноутбуком.

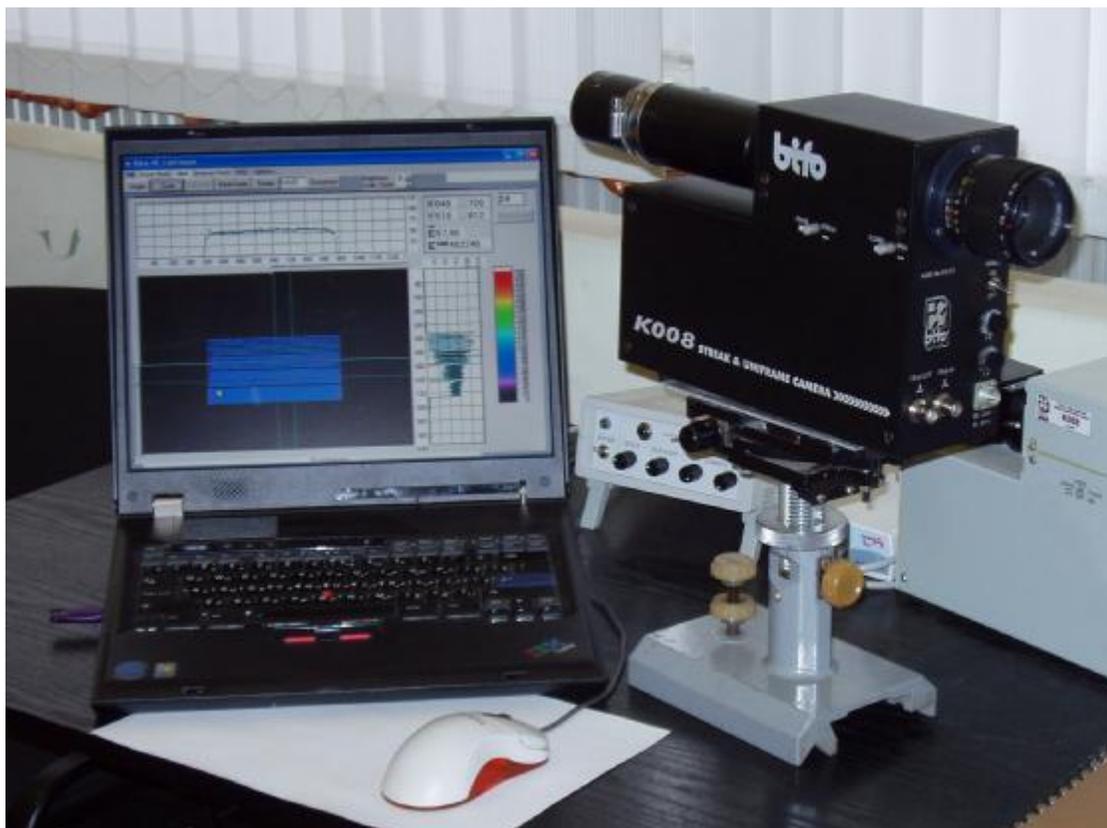


Рис.7. Последняя модель камеры K008, установленная на оптическом столике.

K008 положила начало созданию камер нового поколения. Сейчас в разработке находится камера уже с номером 15 – это K015.

Во всех новых камерах регистрация изображения с выхода ЭОП производится не как раньше (с помощью фотоприставок на фотоплёнку), а с помощью профессиональных цифровых ПЗС телекамер с вводом изображения в компьютер и последующей его обработкой по программам, позволяющим исследователям быстро и в наиболее удобном виде получать необходимую информацию.

Эти же программы позволяют нивелировать геометрические и фотометрические искажения изображения, возникающие в электронно-оптическом тракте, включающем ЭОП и телекамеру. Искажения обусловлены сквозной геометрической дисторсией, возникающей в стеклянной и электронной оптике, сквозной неоднородностью коэффициента преобразования и нелинейностью сквозной свет-сигнальной характеристики тракта, а также неоднородностью коэффициентов развёртки в ЭОП. При этом для каждого

режима работы камеры – однокадрового, многокадрового или линейной развёртки, для каждого диапазона развёртки, для каждого положения ручки усиления яркости каждому разрешаемому элементу изображения (пикселю) в памяти компьютера присвоены поправочные координаты для коррекции геометрических искажений и поправочные коэффициенты яркости изображения для коррекции фотометрических искажений. Благодаря этому, многократно снижаются погрешности измерения параметров регистрируемых процессов и повышается достоверность получаемой с помощью камер информации.

За 40 лет электронно-оптическое приборостроение во ВНИИОФИ пережило как периоды бурного развития, так и периоды стагнации. В трудные для российской экономики годы основными заказчиками ЭОП и камер были зарубежные организации. Поставки в США, Англию, Францию, Израиль и Китай спасли это направление науки и техники во ВНИИОФИ от полного исчезновения. Сейчас с удовлетворением можно отметить возрождение интереса российских организаций к электронно-оптическому методу исследований. Несмотря на исключительные трудности последних 15 лет, электронно-оптическое приборостроение во ВНИИОФИ выжило, развивается и его история продолжается.

Далее приведены фотографии некоторых из перечисленных выше сотрудников, внесших большой вклад в развитие электронно-оптического приборостроения во ВНИИОФИ.



Рис.8. Разработчики знаменитого ФЭР-2 (фото 1966г, слева направо): Ю.А. Дрожбин, Б.З. Горбенко, А.М. Толмачёв, Д.Ф. Коринфский, участник Великой Отечественной Войны - десантник (1921-2001) и В.А. Яковлев, ныне д.т.н..



Рис.9. Д.т.н. М.М. Бутслов (1914-1973) – создатель первого в мире ЭОП ПИМ-3 с развёрткой изображения электрическим полем (фото 1970г).



Рис.10. А.Ф. Котюк – основоположник научной метрологии во ВНИИОФИ (фото1971г).



Рис.11. Г.В. Колесов (1932-1993) – «царь и бог» в метрологии электронно-оптических камер (фото с доски почета ВНИИОФИ 1970 года).



Рис.12. В.А. Миллер (1919-1985) – известный специалист в области электронно-лучевых приборов, во ВНИИОФИ разрабатывал электронно-оптические преобразователи (фото1973г).



Рис.13. Л.М. Зайцев (1920-1990) –
начальник сектора люминесцентных
преобразователей ИК излучения (фото
1970г).



Рис.14. Израиль, Иерусалим, март 1997г: В.Б. Лебедев (в центре) во время командировки в научный центр в г. Сорек встретился с бывшими сотрудниками ВНИИОФИ А.Е. Меламидом (слева, 1919-2003) и И.М. Весельницким (1926-1997).

На следующих фотографиях (рис.15-18), сделанных в июне 2000 года и направленных в феврале 2001г А.Е. Меламиду к дню его рождения – 82-летию,

можно видеть сотрудников, много лет проработавших с А.Е. Меламидом во ВНИИОФИ.



Рис.15. Сотрудники ВНИИОФИ (слева направо): к.ф.м.н. В.Ф. Романовский, А.В. Белоусов, д.т.н. А.А. Либерман, М.И. Крутик и к.т.н. В.Б. Лебедев; (фото 2000г).



Рис.16. Сотрудники ВНИИОФИ (слева направо): Э.Н. Карпова, В.Н. Сырцев, д.т.н. Г.Г. Фельдман, В.А. Слепченко и В.М. Жилкина; (фото 2000г).



Рис.17. Сотрудники ВНИИОФИ, слева направо сидят: Н.П. Воронкова, Ю.П. Балатаева, Т.М. Ломова, Т.М. Куракина, Л.З. Пекарская; стоят: Ю.М. Михальков, Б.Н. Брагин, Г.И. Брюхневич, В.П. Плюта, А.Ф. Козлов; (фото 2000г).



Рис.18. Сотрудники ВНИИОФИ: технолог Т.И. Медведева и механик Ф.Ф. Шрамко; (фото 2000г).



Рис.19. В.И. Аверин (1940-1998) – гений электроники, так и не завершивший высшего образования, (фото 1970г).



Рис.20. С.В. Липатов – разработчик малошумящих ЭОП (фото 1975г).



Рис.21. В.И. Басс – разработчик камер на малошумящих ЭОП для астрофических исследований, участник ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС, (фото 1977г).



Рис.22. Т.С. Вьюгина – разработчик камеры «Диакон»-регистратора астрономических спектров, а также серии высокоскоростных камер ЛВЭ-2, ЛВЭ-4 и ЛВЭ-4Р, последние две совместно с М.И. Крутиком, (фото 1970г)



Рис.23. И.М. Корженевич – теоретик, исследовавшая и описавшая практически все физические процессы во времяанализирующих ЭОП и оптических системах пико – фемтосекундных камер (фото 1971г)



Рис.24. А.А. Соболев (1950 - 2002) – разработчик ЭОП (фото 1978г).



Рис.25. А.Ф.Мясников – разработчик
ЭОП (фото 2005г).



Рис.26. И.И. Потапов – токарь
высочайшей квалификации (фото
2004г).



Рис.27. Проводы А.И.Ситниковой
на пенсию, слева направо:
В.С.Артемьев, А.И.Батыгина,
А.И. Ситникова; (фото 2002г).



Рис.28. А.А. Жариков за наладкой разработанного им блока питания камеры К008 (фото 2002г).



Рис.29. А.М. Толмачёв – старожил ВНИИОФИ со дня его образования, разработчик знаменитого ФЭР-2 и последующей целой серии ФЭРов, за наладкой медленного блока управления самой миниатюрной камеры в мире К008, (фото 2002 г).



Рис.30. В.Б. Лебедев с разработанным им быстрым блоком управления камеры К008 (фото 2002г).



Рис.31. Н.В. Чернышев – разработчик камер ЛВЭ-6, K001, K004, K004М, K010X, K011, K012 и K013 (фото 2005г).

На следующих фотографиях можно видеть сотрудников среднего и молодого поколения, выбравших для себя специальность разработчика электронно-оптических камер.



Рис.32. Разработчик фемтосекундной камеры K009 А.Н. Машковцев (фото 2005г).



Рис.33. Разработчик камеры К014
А.Е. Соколов (фото 2005г).



Рис.34. Конструктор ЭОП и камер
Г.Н. Нартов (слева) и настройщик
камеры К008 техник М.А. Карпов;
(фото 2002г).

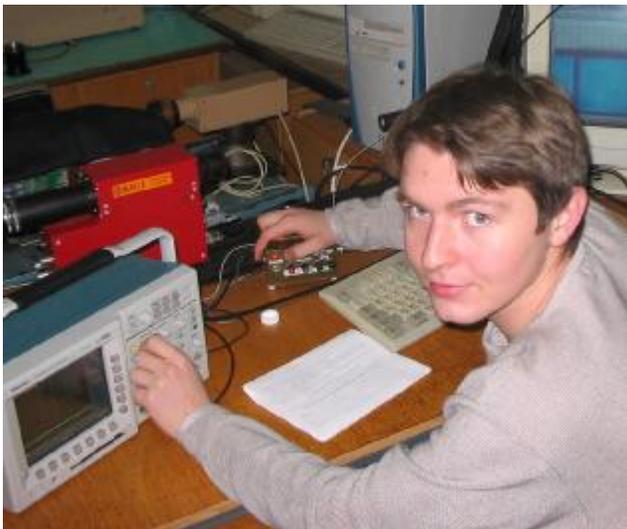


Рис.35. Инженер К.Ю. Назаров за
настройкой камеры К011 (фото
2005г).

Список литературы

1. М.М. Бутслов, Ю.А. Дрожбин, Б.З. Горбенко, А.М. Толмачёв, Д.Ф. Коринфский, В.А. Яковлев, В.А. Нефедьев, И.В. Ляпин, Высокоскоростной фотохронограф ФЭР-2 с временным разрешением 2×10^{-11} с, Измерительная техника, №11, 1972, стр.21-23.
2. П.П. Барзилович, А.С. Брюханов, Промышленные электронно-оптические лупы времени типа ЛВ-01 – ЛВ-04, Научные труды ВНИИОФИ “Электронно-оптические преобразователи и их применение в науке и технике. Приборы экспериментальной физики”, М., 1972, сер. В, вып. 1, стр.115.
3. Э.Н. Виноградов, Ю.А. Дрожбин и др., Двухканальная электронная лупа времени ЛВЭ-1, Всесоюзная н/тех. конф. “Современное состояние и перспективы высокоскоростной фотографии и кинематографии и метрологии быстропротекающих процессов”, Тезисы докладов, М., ВНИИОФИ, 1972, стр.36.
4. В.И. Аверин, Э.Н. Виноградов и др., Двухканальный фотохронограф ФЭР-3 с ЭОП, там же, где и [3], стр.35.
5. Л.И. Андреева, М.М. Бутслов, Б.З. Горбенко, Ю.А. Дрожбин, С.А. Кайдалов, С.Д. Кайтмазов, Л.А. Кулевский, В.М. Марченко, В.А. Нефедьев, А.М. Прохоров, Б.М. Степанов, А.М. Толмачёв, В.И. Хлыстов, Фотохронограф, авт. свид. СССР № 299819, Бюлл. изобр., 1971, № 12.
6. Проспект фирмы Hamamatsu TV Co., Ltd., Hamamatsu Temporal disperser C979, Japan, 1978.
7. В.И. Аверин, Б.З. Горбенко и др., Новая пикосекундная фотохронографическая камера, Труды 14-го Международного конгресса по высокоскоростной фотографии и фотонике, М., 1980, стр.135.
8. В.И. Аверин, Р.Г. Бельговская и др., Малогабаритный фотохронограф ФЭР-7 с ЭОП, там же, где и [7], стр.203.
9. В.И. Аверин и др., Рентгеновская фотохронографическая камера “Агат-СФ5”, ж-л Приборы и техника эксперимента, № 3, 1986, стр.248.
10. Брехов О.М., Лебедев В.Б., Лузанов В.Б., Мараниченко Н.И., Степанов Б.М., Чувасов Г.И., Экспериментальная электронно-оптическая камера “Агат-04М” со скоростью развёртки $5,2 \times 10^{10}$ см/с, там же, где и [7], стр. 253.

11. Г.В. Колесов, В.Б. Лебедев, *Высокоскоростная электронно-оптическая техника ВНИИОФИ. Итоги разработок за 10 лет (1978-1988гг.), “Методы и средства измерений параметров быстропротекающих процессов”*, Сборник научных трудов, М.: Изд. ВНИИФТРИ, 1989, стр.5-36.
12. Г.Г. Фельдман, *Новые электронно-оптические преобразователи для научных исследований*, там же, где и [10], стр.61-70.
13. V.V. Lebedev, G.G. Feldman, *Super small single streak and single frame image converter camera*, Proc. of the 23th Intern. Congress on High Speed Photography and Photonics, Moscow, 20-25 September, 1998, SPIE, Vol. 3516, pp.85-91.