

УДК 520.344+535.241.53

## Применение К.К. Чуваевым каскадных ЭОПов для исследований галактик и звезд на 2.6-метровом телескопе ЗТШ

*В.В. Прокофьева-Михайловская*

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

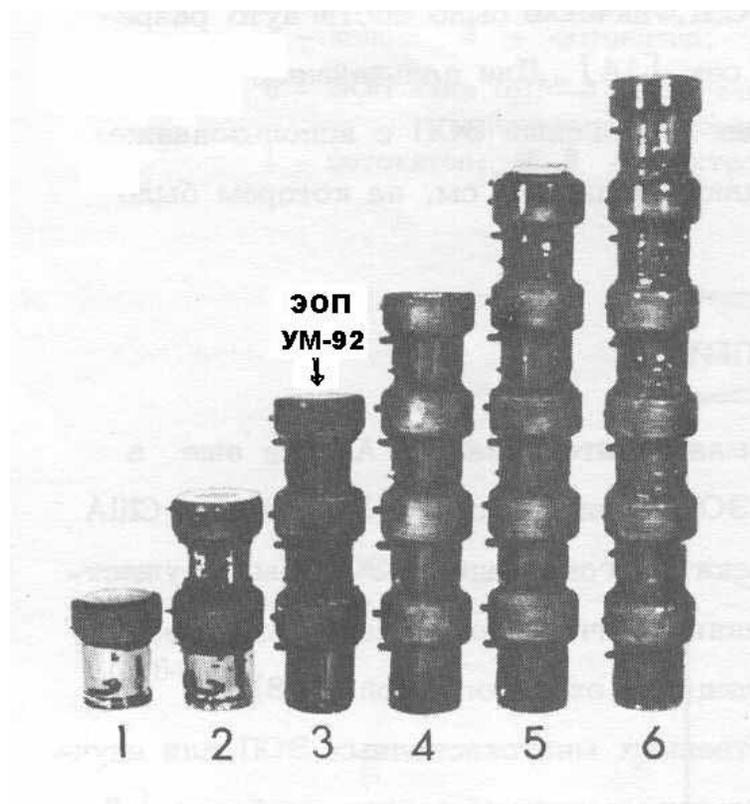
Поступила в редакцию 7 декабря 2007 г.

**Аннотация.** Каскадные ЭОП были впервые созданы в СССР М.М. Бутсловым в 1952 г. Первые успешные испытания многокаскадных ЭОП в условиях астрономических наблюдений были проведены в КраО летом 1957 г. На основе полученных результатов было принято решение оснастить строящийся 2.6-метровый телескоп такими приборами. Были отобраны лучшие экземпляры трехкамерных ЭОП типа УМ-92. К.К. Чуваев провел в лаборатории их тщательные исследования. В 1961 г. 2.6-метровый телескоп ЗТШ вступил в строй, и ЭОП УМ-92 был установлен в прямом фокусе телескопа. Первая работа с описанием изображений 10 галактик, полученных в узких спектральных участках, была сразу опубликована (Бутслов и др., 1962). С 1964 г. с помощью ЭОП УМ-92 на специальном спектрографе начали получать спектры различных типов звезд и галактик. Спектрограф проработал более 30 лет.

APPLICATION OF THE CASCADE IMAGE TUBES BY K.K. CHUVAEV FOR STUDYING GALAXIES AND STARS WITH THE 2.6-M SHAJN TELESCOPE, by V.V. Prokofjeva-Mikhaylovskaya. The cascade image tubes were first developed in USSR by M.M. Butslav in 1952. The first successive testing of multi-cascade image tubes under astronomical observations was carried out at CrAO in the summer of 1957. On the basis of results obtained it was decided to equip the 2.5m telescope with such devices. The best examples of three-camera image tubes of UM-92 type were selected. K.K. Chuvaev examined them carefully at the laboratory. In 1961 the 2.6m Shajn telescope was put into operation and the image tube UM-92 was mounted on the prime focus of the telescope. The first paper describing images of 10 galaxies obtained in narrow spectral ranges was published (Butslav et al., 1962). From 1964 the spectra of various stars and galaxies have been taken with a special spectrograph using the image tube UM-92. The spectrograph has been in operation for more than 30 years.

---

Каскадные электронно-оптические преобразователи (ЭОПы) были созданы с целью достижения предельного усиления оптического изображения, обеспечивающего регистрацию отдельных фотоэлектронов. Идея создания такого ЭОПа была запатентована в СССР еще в 1934 г. (Гончарский, 1934). Однако технологические трудности изготовления сложного вакуумного прибора были настолько велики, что ни в Англии, ни в США, ни в Германии в начале 40-х годов попытки его создания не увенчались успехом. В послевоенные годы разработка различных типов уникальных ЭОПов для научного применения велась быстрыми темпами. Каскадный ЭОП разрабатывался в СССР в виде вакуумной стеклянной колбы, в которой находились: входной фотокатод с внешним фотоэффектом, каскады усиления, состоящие из люминесцентного экрана и промежуточного фотокатода, и выходной люминесцентный экран. Прибор имел металлические выводы для

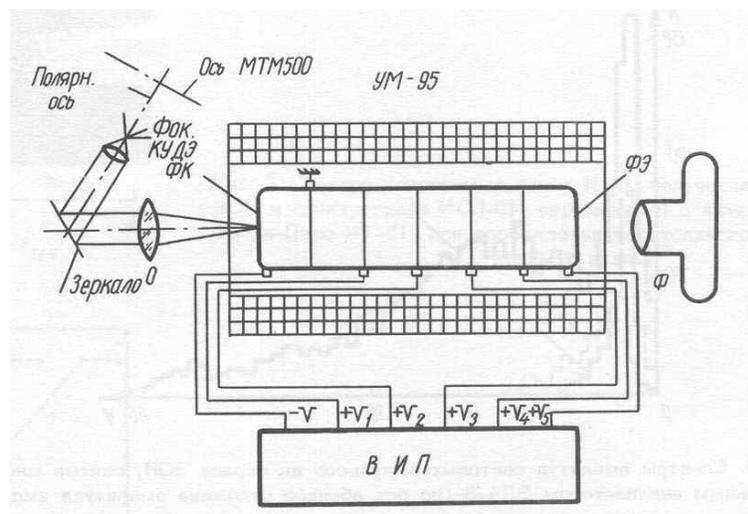


**Рис. 1.** Фотографии ЭОП различных типов: от однокамерного (1) до шестикамерного (6). Трехкамерный ЭОП УМ-92 (указан на рисунке) применялся К.К. Чуваевым для астрономических наблюдений на 2.6-метровом телескопе ЗТШ им. Г.А. Шайна

подсоединения источника высоковольтного питания. Для сборки каскадных ЭОП были разработаны специальные вакуумные посты, позволяющие проводить сложные манипуляции с разными деталями, которые находились внутри высокого вакуума. Технологи, работающие на них, обладали высочайшим искусством, позволяющим им изготавливать уникальные вакуумные приборы. В качестве входного фотокатода вначале использовался сурьмяно-цезиевый фотокатод, а потом стали применять более эффективный мультищелочной. Технология изготовления уникальных ЭОПов была разработана в Москве в НИИ прикладной физики в лаборатории, возглавляемой талантливым экспериментатором Михаилом Михайловичем Бутсловым (Фанченко, 1978). Под руководством М.М. Бутлова была разработана и доведена до высокого совершенства технология каскадного сочленения отдельных камер ЭОП друг с другом. Богатая технологическая интуиция позволила ему впервые в мире в 1952 г. создать ЭОП, состоящий из двух камер и получить тем самым значительное усиление яркости изображения.

К 1956 г. были созданы, испытаны и успешно использованы в ядерно-физических исследованиях пяти- и шестикамерные ЭОПы с магнитной и электростатической фокусировкой электронного изображения, обеспечивавшие предельное усиление яркости оптического изображения (см. рис. 1).

Выполненные исследования показали, что предельный коэффициент электронно-оптического усиления был достигнут. Дальнейшее усовершенствование приборов продолжалось по пути повышения квантового выхода фотокатода и создания приборов с пониженным уровнем шумов, обеспечивших повышение отношения сигнала к шуму при регистрации слабых оптических изображений. Впоследствии под руководством М.М. Бутлова были разработаны специальные типы

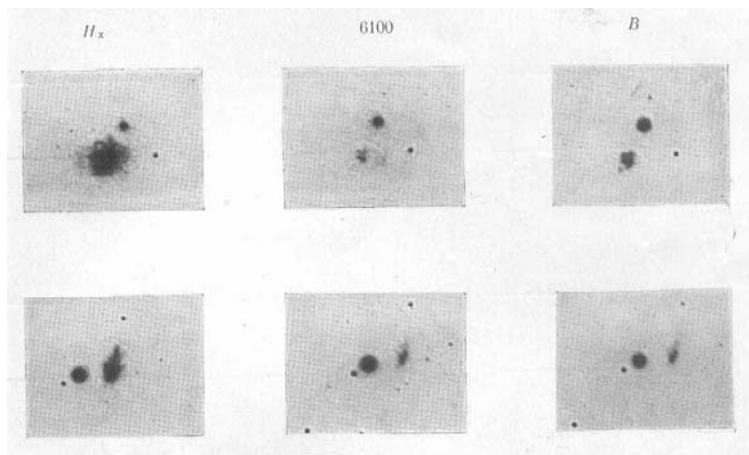


**Рис. 2.** Блок-схема испытания шестикамерного ЭОП УМ-95 на полуметровом телескопе МТМ-500 в Крымской астрофизической обсерватории летом 1957 года

ЭОП, позволяющие регистрировать изображения с высоким временным разрешением (Бутслов, Степанов, 1972). В кадровом режиме съемки изображений временное разрешение достигало  $10^{-8}$  с, а в режиме непрерывной развертки –  $10^{-14}$  с.

Первые в мире наблюдения слабых звезд и галактик с помощью многокаскадного ЭОП (использовался 6-ти камерный ЭОП) были проведены в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) АН СССР летом 1957 г. (Бутслов и др., 1958). Перед испытаниями заведующий отделом физики звезд и туманностей КрАО Владимир Борисович Никонов договорился с академиком Евгением Константиновичем Завойским о проведении совместных испытаний ЭОПа предельно высокой чувствительности в условиях астрономических наблюдений. В.Б. Никонов предложил провести наблюдения на полуметровом менисковом телескопе системы Максудова МТМ-500. Он был установлен в небольшой башне, к которой прилегалo удобное лабораторное помещение. Телескоп имеет неподвижный фокус куда, в котором может быть установлена светоприемная аппаратура. Кроме того, имеется возможность с помощью дополнительной оптики перебросить изображения звезд из фокальной плоскости телескопа вниз в специальное помещение башни (помещение фокуса куда), где можно установить громоздкую и тяжелую аппаратуру. Так и было сделано. Вся аппаратура для испытаний была подготовлена к наблюдениям сотрудником ИАЭ (Институт атомной энергии) Геннадием Ефимовичем Смолкиным и им же привезена в обсерваторию. Использувавшийся в этих экспериментах шестикамерный ЭОП передан в исторический музей Государственного астрономического института им. Штернберга и находится в настоящее время в Москве. Соленоид с шестью катушками, фокусирующими электронное изображение в шести камерах ЭОПа, источник тока для питания соленоида и блок высоковольтного питания на 60 кВ, привезенные тогда в КрАО Г.Е. Смолкиным, находятся в КрАО.

Вся аппаратура была установлена в помещении фокуса куда телескопа. Оптическое изображение звезд и галактик с помощью дополнительной оптики перебрасывалось из фокальной плоскости телескопа в масштабе 1:1 на входной сурьмяно-цезиевый фотокатод ЭОПа. С экрана ЭОПа изображение проектировалось на фотоэмульсию с помощью светосильного объектива. За время экспозиции одна минута были зарегистрированы изображения звезд  $16^m$  при качестве изображений около 6 угловых секунд. Прямое фотографирование звездных изображений на том же телескопе с помощью той же фотоэмульсии позволило получить изображения звезд  $10^m$  за время экспозиции 4 мин. Выигрыш во времени экспозиции, который был получен при использовании каскадного



**Рис. 3.** Снимки галактики NGC 604 (в верхнем ряду) и галактики NGC 1569 (в нижнем ряду), полученные К.К. Чуваевым в трех светофильтрах: в интерференционном, центрированном на линию водорода  $H\alpha$  (слева), в интерференционном, центрированном на длину волны 6100 Å (в центре), и в широкой спектральной полосе В (справа)

ЭОПа, был оценен авторами (Бутслов и др., 1958) примерно в 1000 раз. Проведенный опыт фотометрирования снимков, полученных с экрана ЭОПа, дал положительный результат, показав ошибки измерений интенсивностей около 5 %, что было вполне пригодно для измерений блеска слабых звезд. Так, многокаскадный ЭОП, разработанный группой физиков и техников под руководством М.М. Бутслова и Е.К. Завойского, был испытан в астрономических условиях и дал по тому времени рекордный результат в регистрации изображений слабых звезд и галактик.

На основе успешных испытаний каскадного ЭОПа на небольшом телескопе была начата подготовка к установке такого прибора на строящийся 2.6-метровый телескоп им. Г.А. Шайна (ЗТШ). К этому времени стало ясно, что для обеспечения как хорошей фотометрической точности при обработке снимков, полученных с помощью ЭОПа, так и достаточно высокого выигрыша во времени экспозиции по сравнению с используемыми в астрономии фотоэмульсиями, усиление его должно быть оптимальным. Этим требованиям отвечал трехкамерный ЭОП, имевший марку УМ-92. Из серии таких приборов с мультищелочным фотокатодом, изготовленных в лаборатории под руководством М.М. Бутслова, были отобраны лучшие экземпляры. Тщательные их исследования, проведенные в КрАО Константином Константиновичем Чуваевым, показали, что они имели достаточно высокую квантовую эффективность, минимальный уровень шумов и однородную чувствительность по полю.

В 1961 г. 2.6-метровый телескоп ЗТШ вступил в строй, и ЭОП УМ-92 был установлен в его прямом фокусе. Уже в 1962 г. была опубликована первая работа (Бутслов и др., 1962) с описанием изображений 10 галактик, полученных в четырех областях спектра с помощью ЭОП УМ-92. Выигрыш во времени экспозиции по сравнению с наблюдениями на фотоэмульсии был оценен примерно в 100 раз. Снимки двух галактик, полученные в трех светофильтрах и приведенные на рис. 3, демонстрируют области свечения водорода.

Использование узких интерференционных светофильтров позволило провести исследования областей ионизованного водорода и гнезд звездообразования. За короткое время был получен обширный наблюдательный материал для различных галактик в 9 спектральных областях и выполнен большой цикл научных исследований. С 1964 г. ЭОП УМ-92 начал использоваться на ЗТШ для получения спектров различных типов звезд и галактик. Для этого в КрАО был изготовлен специальный спектрограф. За счет меньшего, чем на фотоэмульсии, разрешения выигрыш во времени экспозиции при спектральных наблюдениях, проводимых с помощью ЭОП УМ-92, был

меньше, чем в случае прямых снимков, и составлял около 50 раз.

Одновременно с применением ЭОП УМ-92 для астрономических наблюдений К.К. Чуваев наладил их тщательные исследования в лабораторных условиях. Полученные им результаты и основанные на них требования к приборам обсуждались с изготовителями ЭОП и перечислены в нескольких статьях К.К. Чуваева (Бутслов, Чуваев, 1966). В работе с электронной аппаратурой К.К. Чуваеву много помогал инженер первой категории А.И. Смирнов. Он разработал электронику для обеспечения стабильной работы ЭОП в условиях астрономических наблюдений. Кроме этого, по предложению К.К. Чуваева, им был разработан и осуществлен электронный метод расширения спектра звезд (Смирнов, 1975). Аппаратура позволяла при ускоряющем напряжении на каскадах ЭОП около 8 кВ получать расширение спектра от 0.1 до 1.5 мкм. Электронный метод расширения спектра имел ряд преимуществ перед используемыми тогда в спектроскопии звезд методами. К.К. Чуваев многократно указывал изготовителям ЭОП на необходимость разработки специального прибора для астрономических наблюдений. Прежде всего, такой прибор должен быть малошумящим. Еще в середине 50-х годов Завойский и др. (1956) обнаружили, что собственные шумы ЭОПа имеют два компонента: одноэлектронный, обусловленный термоэлектронной эмиссией фотокатода, и многоэлектронный, имеющий более сложное происхождение. Выяснилось, что “многоэлектроника”, то есть испускание фотокатодом сразу пачки электронов (2–20 шт.) из одной точки, возникает при бомбардировке фотокатода ионами щелочных металлов. Такие ионы возникают внутри рабочего объема ЭОП при изготовлении в нем фотокатода и присутствуют в виде паров и слоя на стенках и электродах прибора (Бутслов, Липатов, 1975). Исключение многоэлектронной компоненты шумов в ЭОП было осуществлено в новом, разработанном во ВНИИОФИ (Всесоюзном научно-исследовательском институте оптико-физических измерений), по заказу Астросовета АН СССР, приборе ЭПИ (электронографический преобразователь изображения). Прибор был изготовлен специально для регистрации спектров (Асланов и др., 1975) и получил среди астрономов название спектракон. Он представлял собой однокамерный ЭОП с магнитной фокусировкой изображения. Входной фотокатод размером 5x50 мм изготавливался отдельно и переносился в ЭОП. На выходе ЭОП располагалось тонкое слюдяное окно, предназначенное для вывода электронов наружу. Регистрация электронного изображения производилась контактным способом на электронографическую эмульсию (Бутслов, Липатов, 1975). Прибор ЭПИ имел темновой ток, составляющий около  $10^3$  эл./см<sup>2</sup> с, который был обусловлен термоэмиссией фотокатода. Поэтому его можно было подавить охлаждением. Испытания прибора, проведенные во ВНИИОФИ, а также на телескопах в КраО и в ШАО (Шемахинская астрономическая обсерватория) АН АзССР, показали перспективность использования ЭПИ в астрономических наблюдениях (Асланов и др., 1975). В КраО он использовался на ЗТШ для регистрации спектров.

Развитие космических исследований и появление космических аппаратов, уходящих на большие расстояния от Земли, поставило в 60-е годы задачу регистрации оптическими средствами изображений искусственных космических объектов. В течение ряда лет она успешно решалась с помощью ЭОП УМ-92, установленного в прямом фокусе ЗТШ.

К.К. Чуваев внес значительный вклад в совершенствование регистрирующей аппаратуры, в частности в применение ЭОП для астрофизических исследований. Его работы были высоко оценены на общесоюзном семинаре, прошедшем в Москве в июне 1970 г. (Бутслов и др., 1971). После цитирования докладов с участием К.К. Чуваева в обзоре представленных материалов было указано, что “результаты этих работ получили широкий международный резонанс и послужили толчком к разработке каскадных ЭОП за рубежом и оснащению ими во второй половине 60-х годов более 35 астрофизических обсерваторий мира”.

Автор благодарит П.П. Петрова и Н.С. Полосухину-Чуваеву за прочтение рукописи и полезное обсуждение материала.

## Литература

Асланов И.А., Есипов В.Ф., Липатов С.В., Птицын Д.А., Хохлова В.Л., Чуваев К.К. // Новая техника в астрономии. В. 5. Ленинград: “Наука”. 1975. С. 93.

- Бутслов М.М., Завойский Е.К., Калиняк А.А., Никонов В.Б., Прокофьева В.В., Смолкин Г.Е. // Доклады АН СССР. 1958. Т. 121. №. 5. С. 815.
- Бутслов М.М., Копылов И.М., Никонов В.Б., Северный А.Б., Чуваев К.К. // Астрон. журн. 1962. В. 2. Т. 39. С. 315.
- Бутслов М.М., Чуваев К.К. // Труды конференции “Электроннолучевые и фотоэлектрические приборы”. 1966. Т. II. С. 233.
- Бутслов М.М., Степанов Б.М. // Электронно-оптические преобразователи и их применение в науке и технике. Приборы экспериментальной физики. Москва. 1972. Серия В. Вып. 1. С. 11.
- Бутслов М.М., Липатов С.В. // Новая техника в астрономии. Вып. 5. Ленинград.: “Наука”. 1975. С. 90.
- Бутслов М.М., Прокофьева В.В., Смолкин Г.Е., Фанченко С.Д. // Успехи физ. наук. 1971. Т. 104. Вып. 3. С. 509.
- Завойский Е.К., Бутслов М.М., Смолкин Г.Е. // ДАН АН СССР. 1956. Т. 111. №. 5. С. 996.
- Гончарский Л.А. // Авторское свидетельство СССР от 26 ноября 1934 г. №. 43462.
- Смирнов А.И. // Новая техника в астрономии. Вып. 5. Ленинград.: “Наука”. 1975. С. 21.
- Фанченко С.Д. // Электронно-оптические преобразователи и их применение в научных исследованиях / Ред. Завойский Е.К. М.: “Наука”. 1978.