

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

ООО "Промышленная интроскопия":

Ирина Алексеевна Вайнберг, старший научный сотрудник, к.т.н.
Эдуард Ильич Вайнберг, президент, д.т.н.
Сергей Геннадьевич Цыганов, старший научный сотрудник
Вадим Борисович Сидорин, старший научный сотрудник

Многие десятилетия разнообразные электровакуумные электронные приборы (ЭВП) [1] находят широкое применение в радиотехнических устройствах авиационного и космического назначения, в системах наземной и спутниковой связи, радиовещании, телевидении и телеуправлении, в многообразных радиолокационных комплексах, системах радиоэлектронного подавления и защиты, приборах ночного видения, в медицинской рентгеновской диагностике, промышленном неразрушающем контроле, при таможенном досмотре багажа и грузов, в технологии ВЧ, СВЧ нагрева и лазерной резки, в коммутирующих и защитных системах электроэнергетики, в атомной промышленности, в ускорительной технике и физике высоких энергий, в астрономических комплексах.

Несмотря на активную экспансию полупроводниковых и многоэлементных технологий, потеснивших ЭВП в бытовой светотехнике, в области маломощной генерации СВЧ колебаний, в технологии телевизионных и компьютерных мониторов, а также многоэлементных преобразователей изображений различного диапазона длин волн, современные ЭВП сохранили ведущее положение как усилители и генераторы излучения ВЧ и СВЧ диапазонов повышенной мощности, источники рентгеновского излучения, коммутаторы мощных высоковольтных электрических цепей и регистраторы быстропротекающих процессов. Их отличает высокое быстродействие и рекордный уровень мощности, надежность при работе с повышенными напряжениями, радиационная и температурная стойкость.

Обеспечение высокой надежности и конкурентоспособности современных ЭВП предполагает неразрушающий контроль качества исходных материалов и деталей конструкции (обычно из стекла, керамики и металла), правильности сборки и взаимного расположения узлов, а также дефектоскопию многочис-

ленных сварных и паяных соединений. При этом максимальные размеры ЭВП могут достигать 500 мм в диаметре и 1000 мм по длине, а используемые тяжелые конструкционные металлы включают ковар, медь, никель, молибден, вольфрам и тантал.

В этой связи целью проведенных нами экспериментальных исследований была оценка эффективности универсальных высокоэнергетических компьютерных томографов ООО "ПРОМИНТРО" [2] с проникающей способностью до 150 мм стали при неразрушающем контроле качества технологии и конструкции всего спектра современных ЭВП. Для испытаний использовался компьютерный томограф ВТ-600ХА и в одном случае (продольное сечение рентгеновского излучателя длиной 800 мм) - ВТ-1500ХА.

Примеры полученных томограмм основных типов современных ЭВП приведены на рис.1-10. Там же указаны габаритные размеры исследованных приборов.

Рамки статьи ограничивают нас в количестве представленных примеров. Видно, что томограммы достоверно воспроизводят мельчайшие особенности внутренней структуры каждого

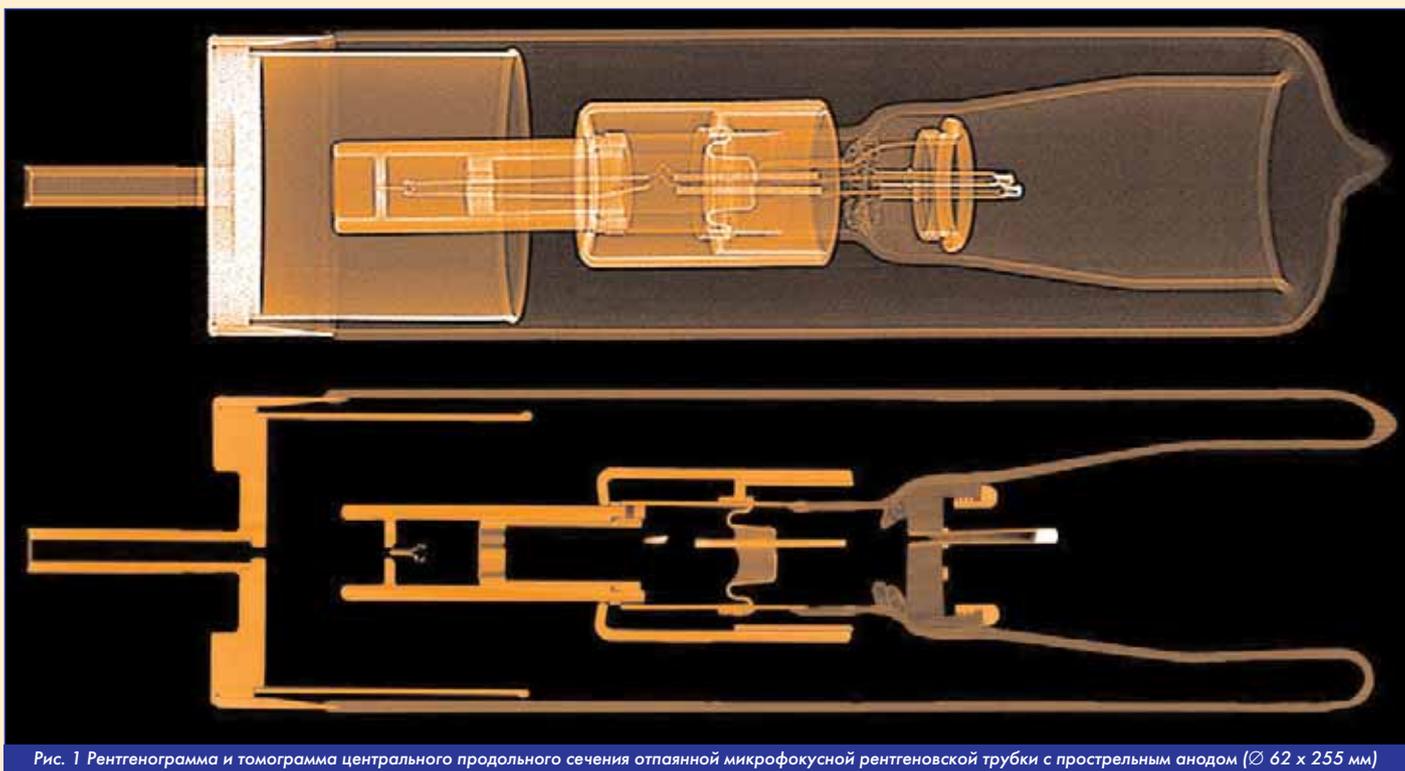


Рис. 1 Рентгенограмма и томограмма центрального продольного сечения отпаянной микрофокусной рентгеновской трубки с прострельным анодом (\varnothing 62 x 255 мм)

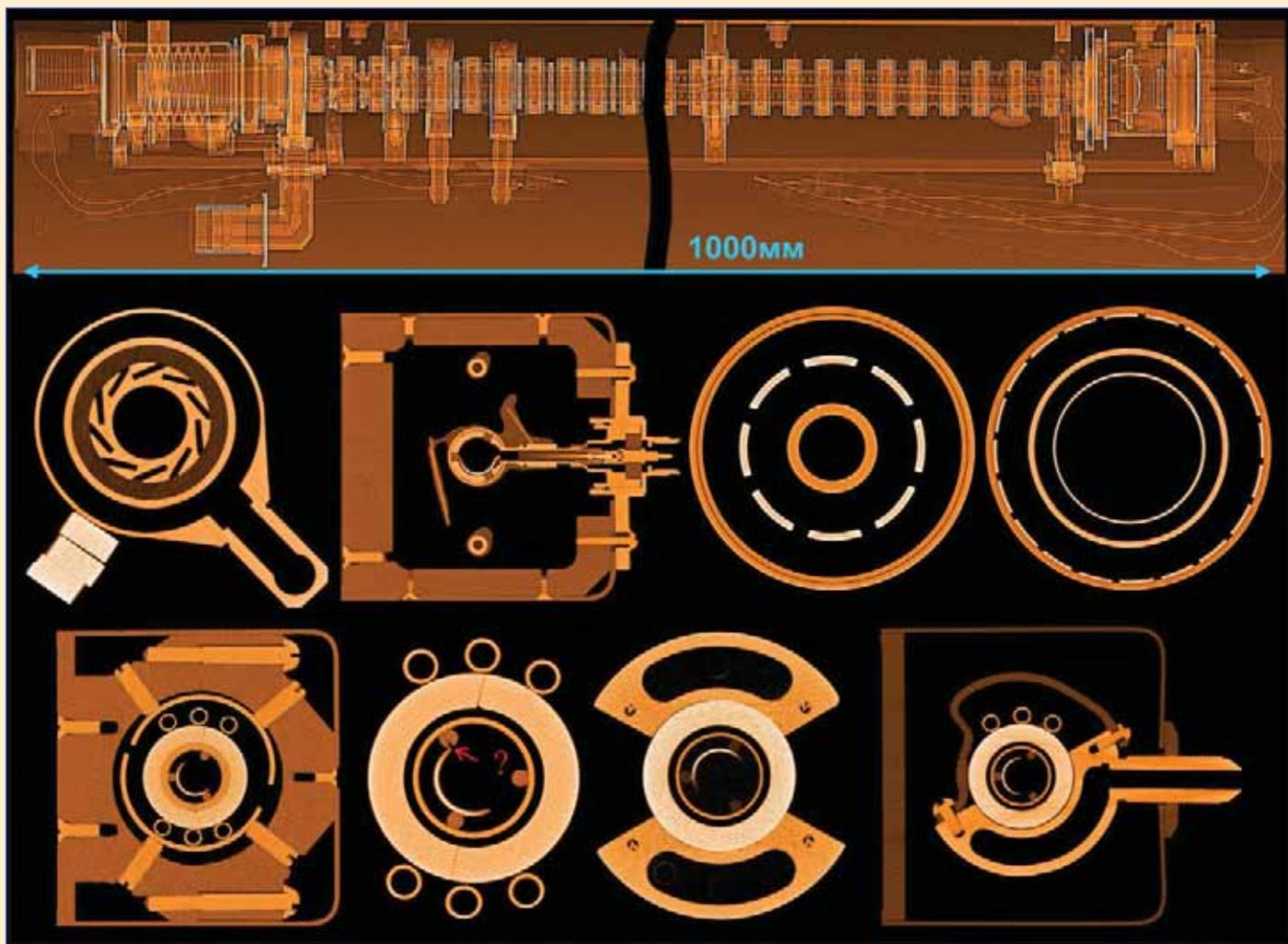


Рис. 2 Рентгенограмма и восемь томограмм поперечных сечений мощной лампы бегущей волны (1030 x 86 x 82 мм)

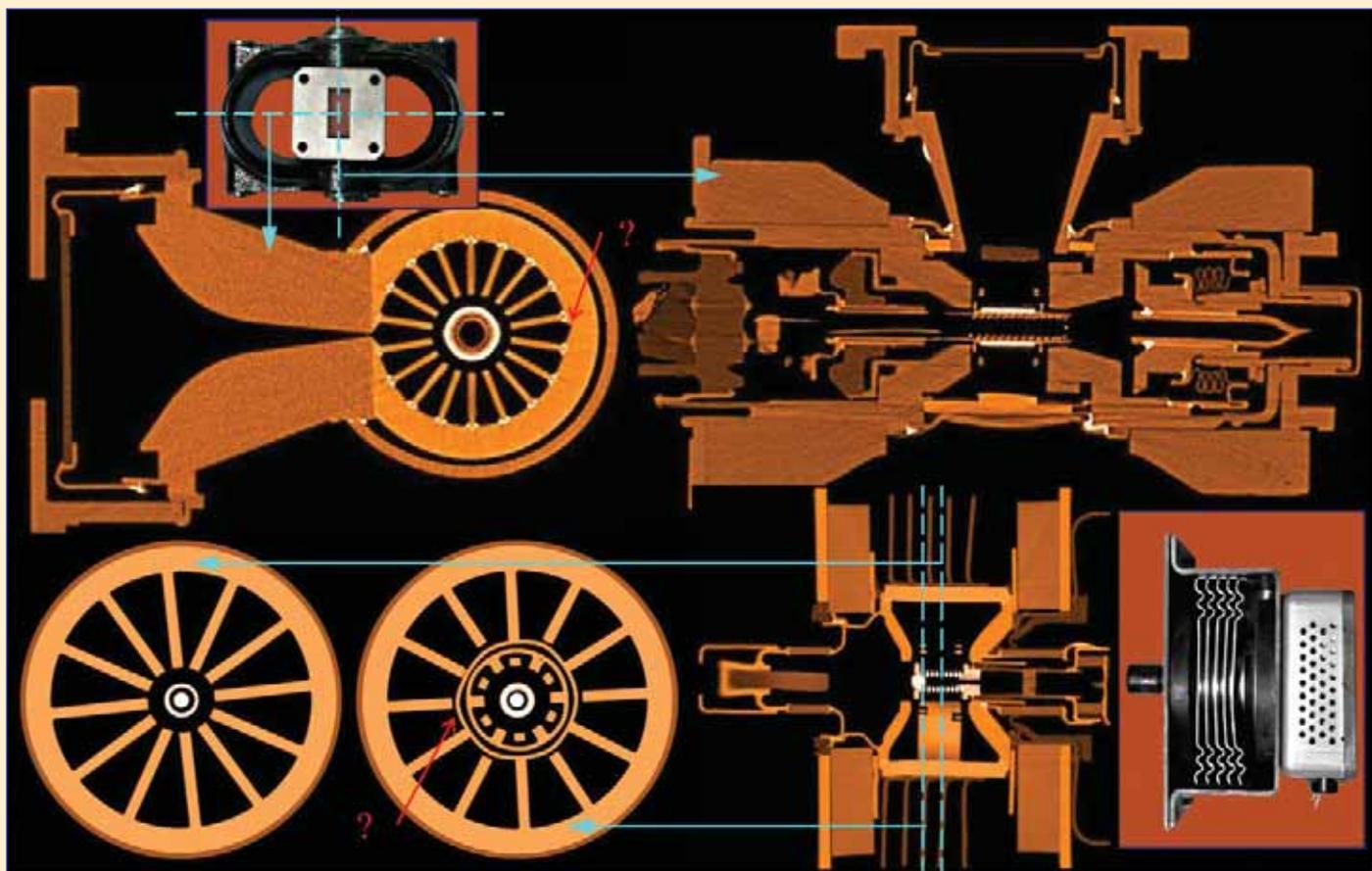


Рис. 3 Внешний вид и пять томограмм продольных и поперечных сечений двух магнетронов 3-см и 10-см диапазонов (80 x 120 x 60 мм и 100 x 100 x 130 мм)

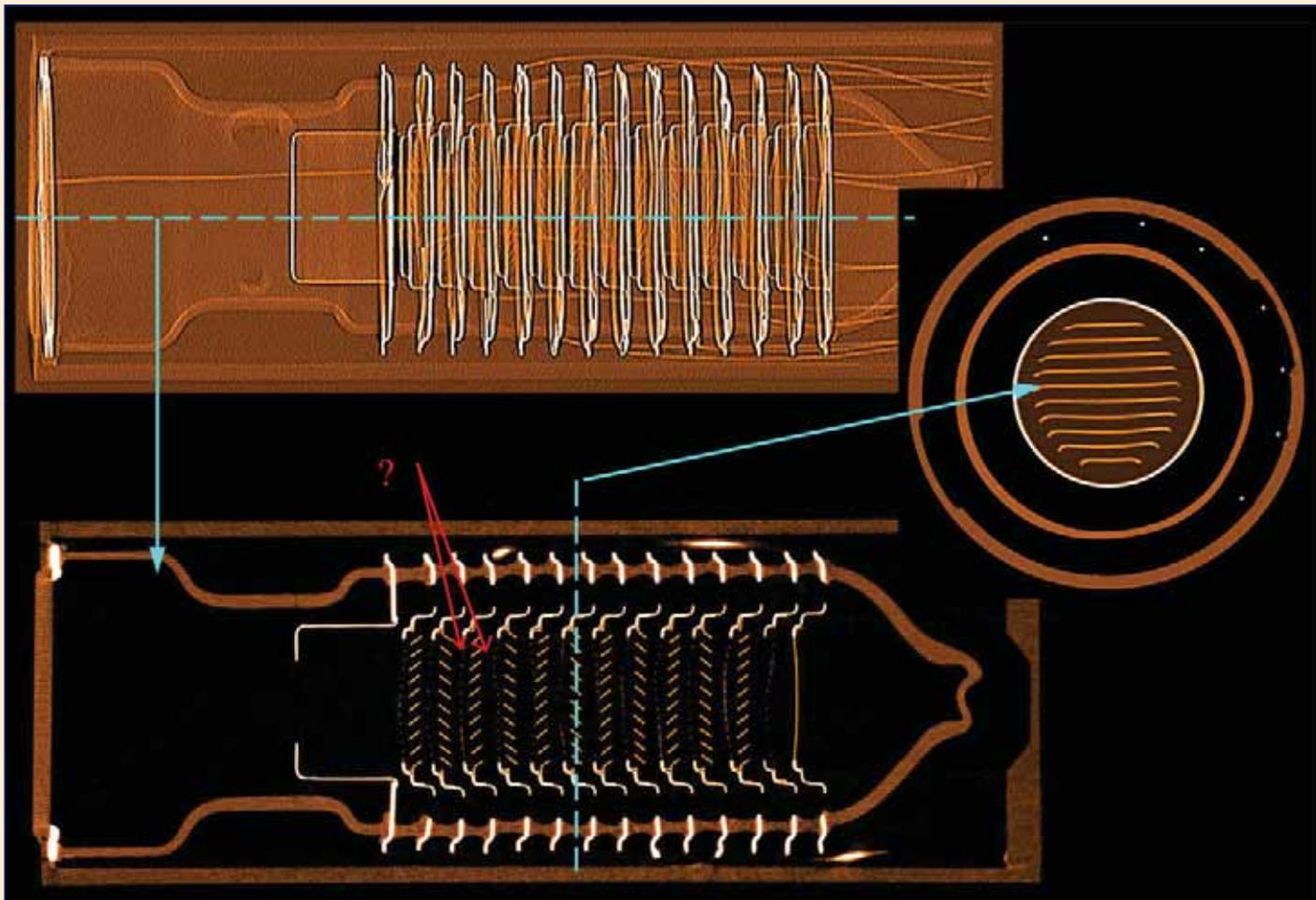


Рис. 4 Рентгенограмма и томограммы продольного и поперечного сечений многокаскадного фотоэлектронного умножителя (\varnothing 40 x 100 мм)

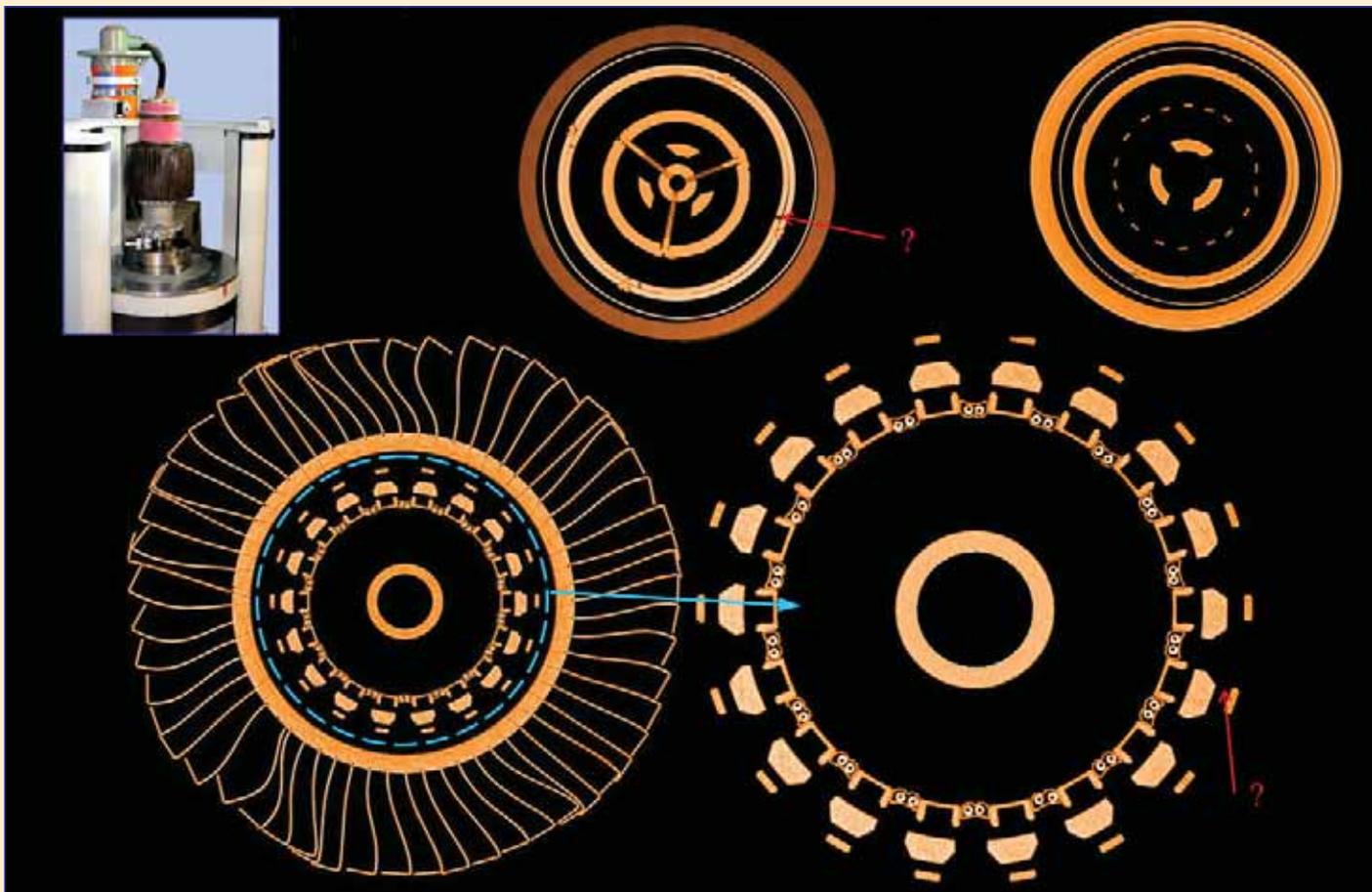


Рис. 5 Внешний вид и томограммы поперечных сечений мощного металлокерамического многокатодного генераторного УКВ тетрода с воздушным охлаждением (\varnothing 300 x 400 мм)

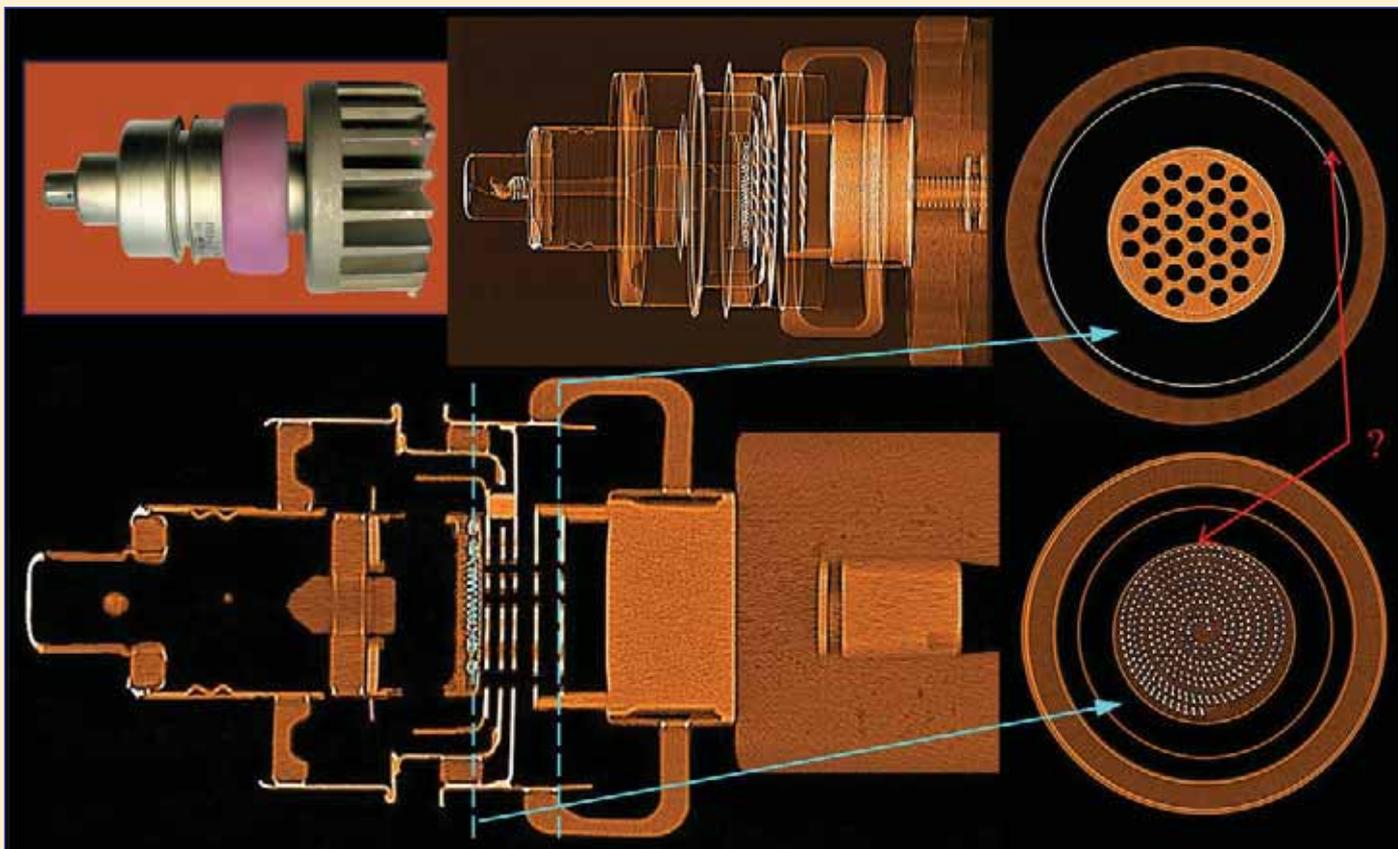


Рис. 6 Внешний вид, рентгенограмма и томограммы продольного и поперечных сечений металлокерамического генератора с воздушным охлаждением ($\varnothing 65 \times 115$ мм)

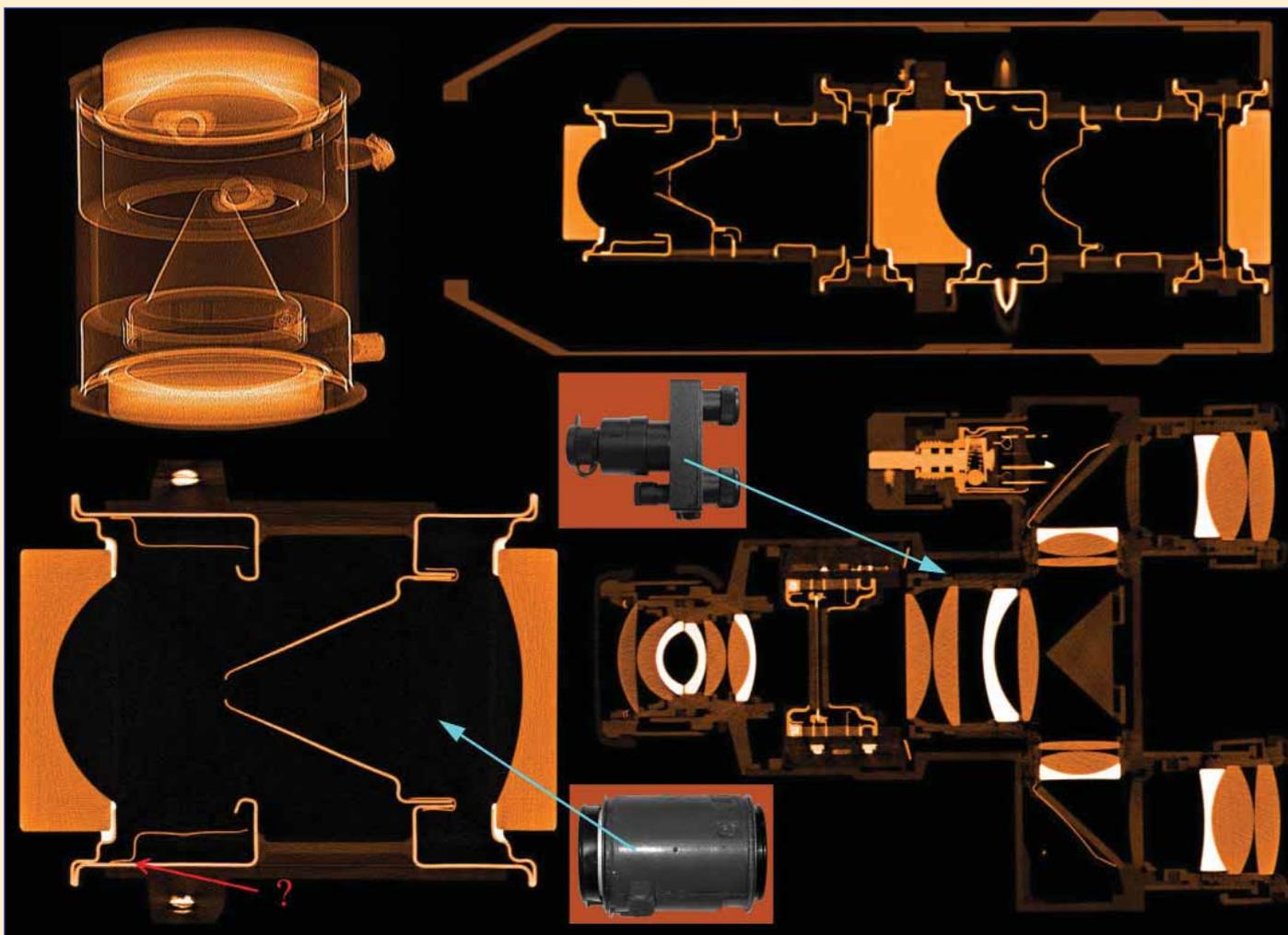


Рис. 7 Внешний вид, рентгенограмма и томограммы продольных сечений однокамерного и двухкамерного электронно-оптических преобразователей, а также бинокля ночного видения (60 x 200 мм)

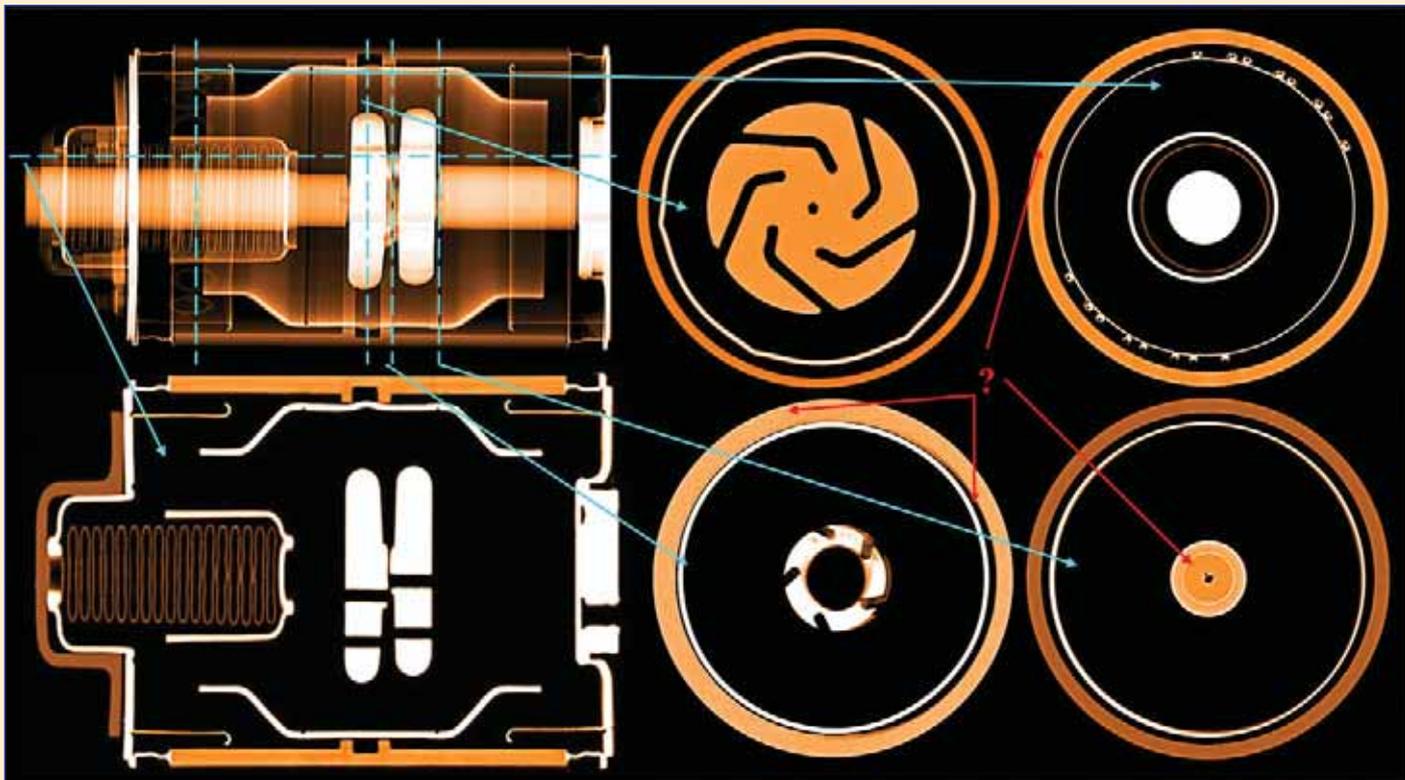


Рис. 8 Рентгенограмма и томограммы продольного и поперечных сечений высоковольтного вакуумного выключателя (металлокерамической вакуумной дугогасительной камеры $\varnothing 150 \times 250$ мм)

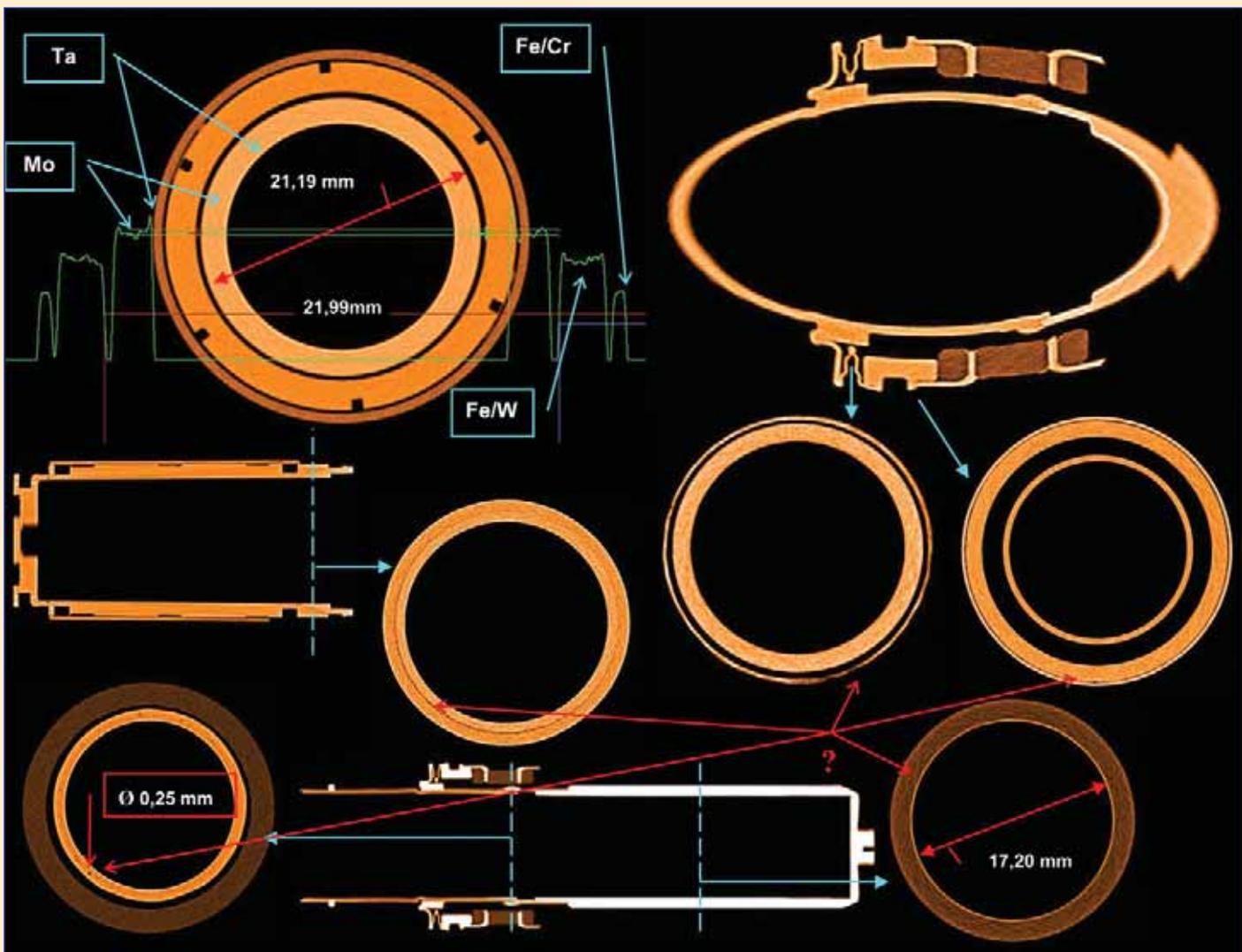


Рис. 9 Томограммы сварных и паяных соединений разнородных жаропрочных материалов металлокерамического термоэмиссионного радионуклидного источника тока ($\varnothing 30 \times 100$ мм)

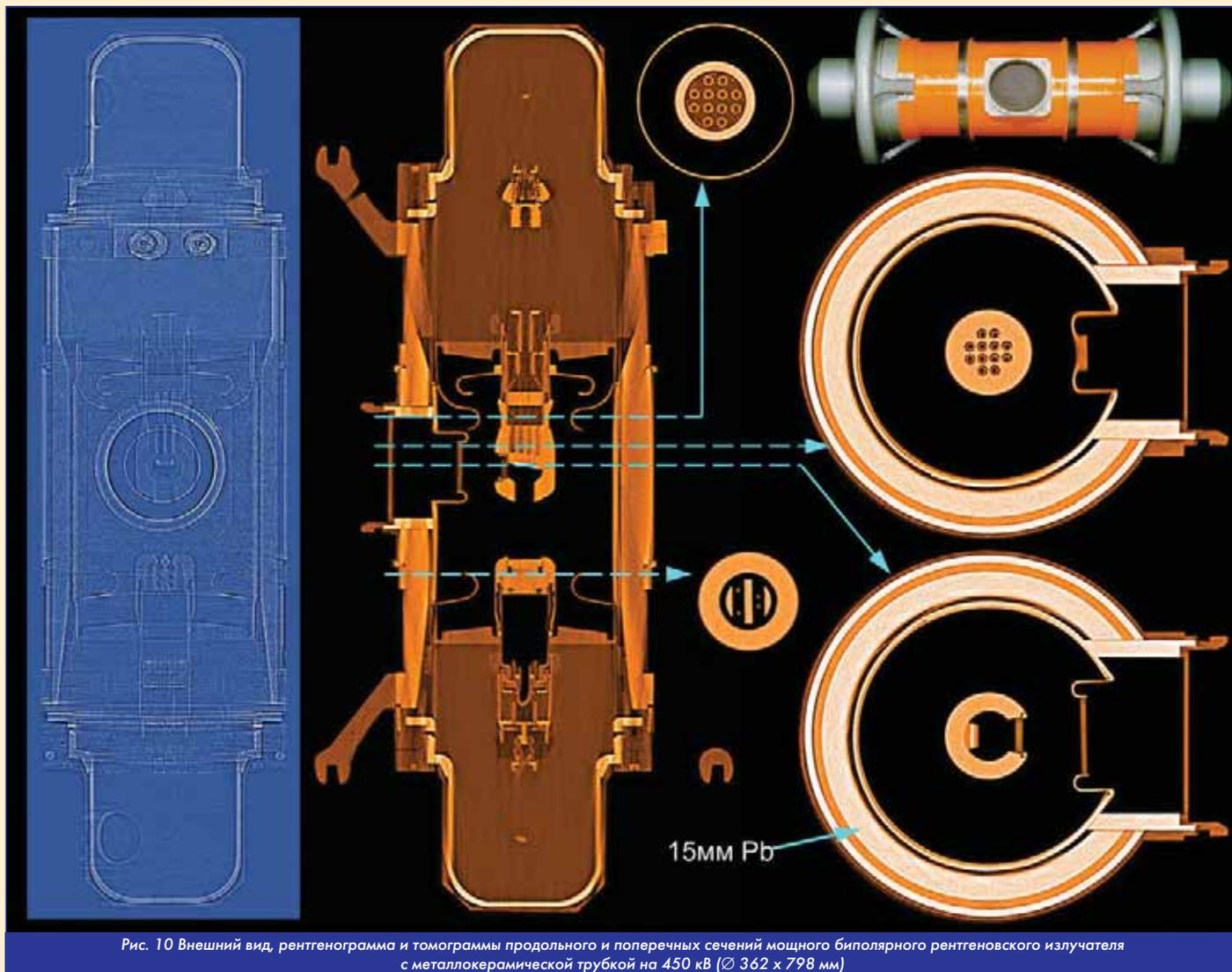


Рис. 10 Внешний вид, рентгенограмма и томограммы продольного и поперечных сечений мощного биполярного рентгеновского излучателя с металлокерамической трубкой на 450 кВ (Ø 362 x 798 мм)

неразборного электровакуумного прибора, позволяют оценить уровень технологии и выявить дефекты, возникшие при сборке, пайке и эксплуатации. Часть обнаруженных дефектов помечена на рисунках красными стрелками. Внимательно рассмотрев приведенные иллюстрации, Вы сами имеете возможность провести подробный анализ конструкции и технологии внутренней структуры этих приборов.

При анализе представленных изображений томограмм следует помнить, что каждая двумерная томограмма содержит от одного до четырёх миллионов 16-разрядных цифровых значений, отражающих пространственное распределение плотности материалов в исследуемом сечении или выбранной оператором локальной зоне такого сечения. Результаты томографического контроля, помимо изображений, представляются в виде графиков распределения плотности внутри контролируемого изделия, позволяющих обнаружить дефекты в виде разноплотностей, пор, трещин, включений и бесконтактно количественно измерить плотность и геометрические размеры внутренних конструктивных элементов и зазоров. Правда, делается это не по картинкам, а по цифровым файлам исходных томограмм с помощью специального программного обеспечения томографа.

Видно, что высокоэнергетические компьютерные томографы ООО "ПРОМИНТРО" по допустимым массогабаритным характеристикам объектов контроля, проникающей способности излучения и пространственному разрешению позволяют контролировать всю номенклатуру современных ЭВП и целенаправленно обрабатывать техпроцесс с оперативным контролем его влияния на внутреннюю структуру с целью минимизации дефектов и повышения надежности ответственных радиотехнических и технологи-

ческих комплексов. Особо отметим представленные на рис. 10 уникальные по проникающей способности томограммы мощного биполярного промышленного рентгеновского излучателя фирмы GE длиной 800 мм на напряжение 450 кВ с толстостенной радиационной защитой в виде 15-мм свинцовой трубы.

Благодаря томографии у разработчиков, технологов и потребителей ЭВП возникает возможность детально сравнить особенности конструкции и технологии внутренней структуры однотипных ЭВП разных производителей, чтобы осознанно выбрать наилучшее решение.

Таким образом, мы видим, что электровакуумные приборы, начавшие свое развитие 130 лет назад с лампочки Эдисона и "катодно-лучевой" трубки Крукса, достигли зрелого технического состояния и благодаря уникальным физическим особенностям сохраняют заметное место в современной промышленности и ответственных гражданских и оборонных применениях, а высокоэнергетическая компьютерная томография может стать важным фактором повышения уровня технологии, надежности и долговечности ЭВП. **▲**

Литература

1. Электровакуумные электронные и газоразрядные приборы: справочник / Б.В. Кацнельсон, А.М. Калугин, А.С. Ларионов; ред. А.С. Ларионов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1985. - 864 с.
2. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г., Сидорин В.Б. Российские высокоэнергетические томографы для отработки технологии и сертификации ответственных изделий авиационной промышленности. // Двигатель. 2012. № 4. С.20-26.