

## РЕНТГЕНТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ИНТРОСКОПЫ, РАЗРАБОТАННЫЕ В НИИ ЭИ В 1969—1972 гг.

Д. И. СВИРЯКИН, А. Н. КОЛУПАЕВ,  
В. Ф. ПЕТУШЕНКО, В. И. ЧАНЦЕВ, А. Д. МАКСИМЕНКО

В течение 1969—1972 гг. в НИИ электронной интроскопии продолжались работы по совершенствованию методов радиационной интроскопии, в результате которых были разработаны и внедрены в производство новые системы рентгентелевизионных интроскопов для контроля качества сварных и паяных соединений, литых изделий из алюминиевых и магниевых сплавов, контроля правильности монтажа электронных модулей, для наблюдения и кинорегистрации динамических процессов, протекающих за непрозрачными барьерами.

Одним из них является внедренный в 1972 году рентгентелевизионный интроскоп для контроля качества паек многослойных плат печатного монтажа и контроля правильности сборки радиотехнических модулей, содержащий кроме основных блоков, обеспечивающих получение теневых рентгеновских черно-белых изображений, ряд блоков и устройств, улучшающих условия работы оператора и повышающих дефектоскопическую чувствительность интроскопа.

В отличие от ранее выпускавшегося рентгентелевизионного микроскопа МТР-1 и выпускаемого в настоящее время МТР-3 интроскоп, созданный в НИИ ЭИ, может работать как на рентгенвидиконах ЛИ-417, так и на ЛИ-423, имеет более мощные полупроводниковые блоки разверток, малозумящий камерный видеоусилитель, в несколько раз большую по объему камеру просвечивания, маркерное устройство для нанесения цветных меток на дефектные места, блок условного окрашивания с цветным видеоконтрольным устройством, систему локального анализа яркости изображений с записью результатов анализа на диаграммную ленту автоматического потенциометра и телевизионный монитор для фотографирования рентгеновских изображений на фотопленку шириной 35 мм.

Весь комплекс аппаратуры интроскопа представлен на рис. 1 а и 1 б. На рис. 1 а блоки расположены следующим образом (слева направо): пульт управления аппарата РУП-150-10, устройство рентгеновского просвечивания контролируемых изделий с ручным манипулятором, расположенным с правой стороны; на переднем плане — пульт управления телевизионным каналом, на заднем плане — блок-трансформатор аппарата РУП-150-10 с высоковольтным кабелем, в правой части устройства просвечивания на вращающемся столе находится черно-белое видеоконтрольное устройство (ВКУ), справа рядом — подставка с цветным видеоконтрольным устройством (ЦВКУ-1), далее шкаф с синхрогенератором, генераторами строчной и кадровой разверток рентгенвидиконов, промежуточным видеоусилителем, блоками питания, телевизионным мо-

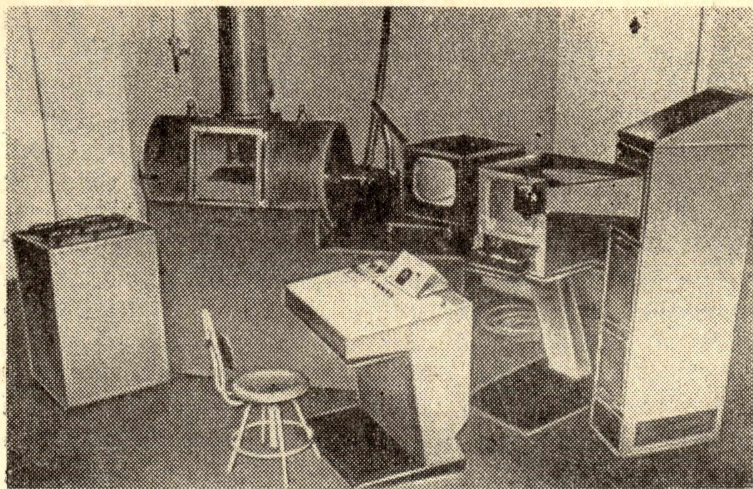


Рис. 1 а. Интроскоп для контроля качества паек плат печатного монтажа

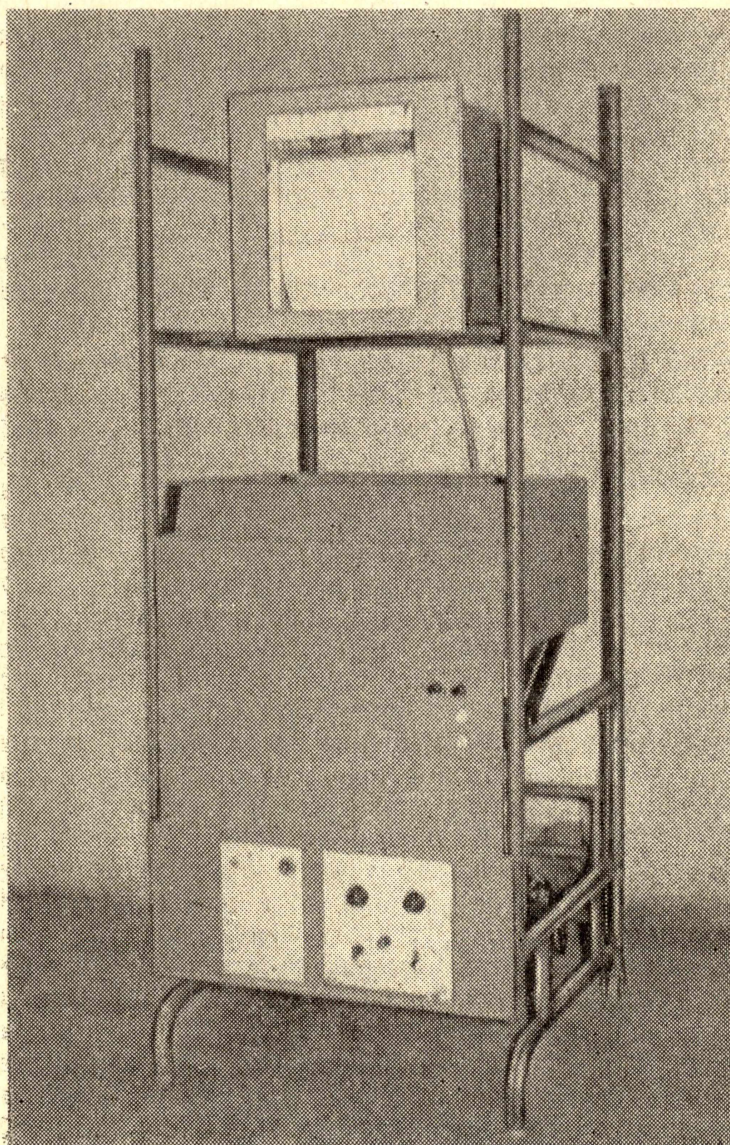


Рис. 1 б. Установка локального анализа яркости слабоконтрастных изображений

ниторм с тубусом и зеркальной фотокамерой «Зенит». Острофокусная рентгеновская трубка типа 0,3БПВ-6-150 с фокусирующей катушкой расположена внутри свинцового защитного кожуха и размещена под камерой просвечивания. Декоративная облицовка устройства просвечивания скрывает кожух с рентгеновской трубкой и коллиматор.

Рентгенвидикон (ЛИ-417 или ЛИ-423) с фокусирующе-отклоняющей системой ФОС-35, трансформатором накала и предварительным видеосилителем расположен под камерой просвечивания в цилиндрическом, выложенном изнутри свинцовым листом, корпусе. Специальный ручной регулятор позволяет менять расстояние от центра камеры просвечивания до входного торца рентгенвидикона. Конструкция интроскопа и защитные устройства полностью исключают возможность облучения оператора и позволяют располагать все блоки интроскопа в одной комнате.

Относительная дефектоскопическая чувствительность, обеспечиваемая интроскопом при работе с черно-белым ВКУ, лежит в пределах 2—2,5% по медному эквиваленту толщиной 1,5—2 мм. Минимальный диаметр различимой на экране ВКУ медной проволоки равен 20 мкм. При работе с ЦВКУ-01 чувствительность можно улучшить до 15%. Объясняется это тем, что в блоке условного окрашивания изображение ЦВКУ, реализующем частотный метод разделения спектра видеосигналов по каналам цветности, производится переход от яркостного контраста деталей изображения к цветному, который легче различается глазом, и тем, что благодаря наличию трех независимых электронных пушек и регулируемости степени сведения лучей цветного кинескопа возможно получение эффекта субъективной объемности, помогающего зрительному выделению контуров изображения. Кроме того, визуальный анализ цветных рентгенотелевизионных изображений не так быстро, как в случае черно-белых изображений, утомляет оператора-дефектоскописта, что ведет к повышению производительности труда последнего.

На рис. 16 представлена установка локального анализа яркости слабоконтрастных изображений. Она содержит дополнительное видеоконтрольное устройство, пространственный селектор с фотодатчиками, включенными по дифференциальной схеме, схемы электронного перемещения изображения, канал усиления с интегратором, блоки питания и самопишущий электронный потенциометр КСП-4. Положение фотодатчиков над анализируемым изображением отмечается в каждый момент времени стробимпульсами на экране основного черно-белого ВКУ. Анализ яркости изображения, а следовательно, и плотности контролируемого объекта проводится по линии, пересекающей изображение в любом месте и в любом направлении при параллельном или последовательном расположении фотодатчиков относительно линии анализа. Положение линии анализа и скорость перемещения изображения определяются оператором. Результаты анализа в форме низкочастотного аналогового сигнала записываются на диаграммную ленту электронного потенциометра. В зависимости от времени интегрирования, скорости перемещения изображения относительно фотодатчиков и апертуры последних контрастная чувствительность интроскопа по линии анализа повышается в 5÷10 раз, что позволяет обнаружить дефекты, которые не всегда появляются даже способом рентгенографии. Однако, несмотря на все эти положительные качества, описанный интроскоп не является и не может быть универсальной установкой, так как используемые в нем рентгенвидиконы обладают значительной инерционностью, сравнительно малой площадью рентгеночувствительных мишеней, узким спектральным диапазоном регистрируемого рентгеновского излучения (30÷150 КэВ), что обуславливает контроль неподвижных изделий небольших толщин (6÷8 мм по стали, 40÷45 мм по алюминию) при сравнительно низкой производительности операций контроля (0,005÷0,1 м<sup>2</sup>/мин).

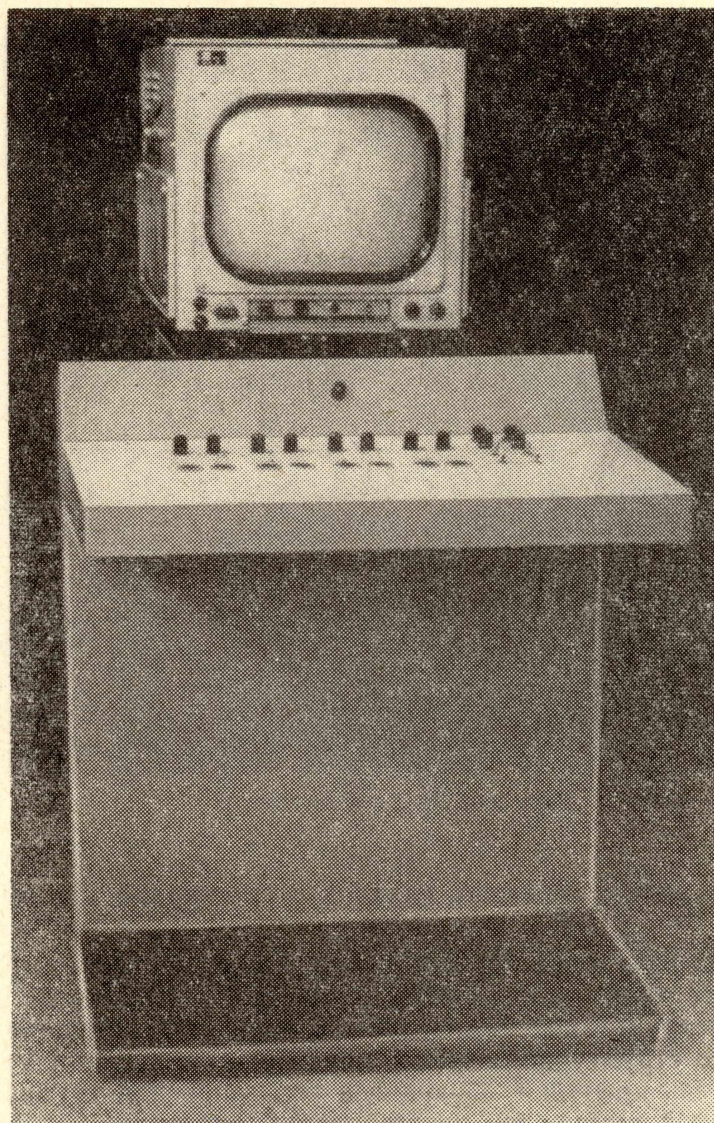


Рис. 2а. Интроскоп для контроля литых изделий

Более высокую производительность обеспечивает интроскоп, фотографии которого приведены на рис. 2а и 2б (пульт управления рентгеновским аппаратом РУП-120-5 здесь не показан). На переднем плане рис. 2а помещен общий пульт управления, на заднем — ВКУ (черно-белое). На рис. 2б размещен стол-манипулятор с пультом-дублером, закрепленном на левой стороне, под столом-манипулятором размещен приемник рентгеновского излучения, на столе закреплено контролируемое изделие (отливка корпуса радиоэлектронного прибора), над столом на опоре, имеющей электропривод, установлен блок-трансформатор с трубкой рентгеновского аппарата РУП-120-5, пучок излучения которого направлен вниз на изделие. Конструкция интроскопа предусматривает размещение его в двух смежных комнатах — пультовой (общий пульт управления, пульт управления РУП-120-5 и ВКУ) и аппаратной (приемник излучения, стол-манипулятор и стойка с источником излучения). Стол-манипулятор, снабженный электроприводом, имеет три степени свободы: поворот вокруг оси на  $\pm 45^\circ$  и линейное перемещение по двум осям, поэтому в процессе контроля изделия оператор имеет возможность выбрать наиболее удачный ракурс просвечивания и путем сканирования обеспечить контроль самого крупногабаритного изделия ( $600 \times 600 \times 400$ )

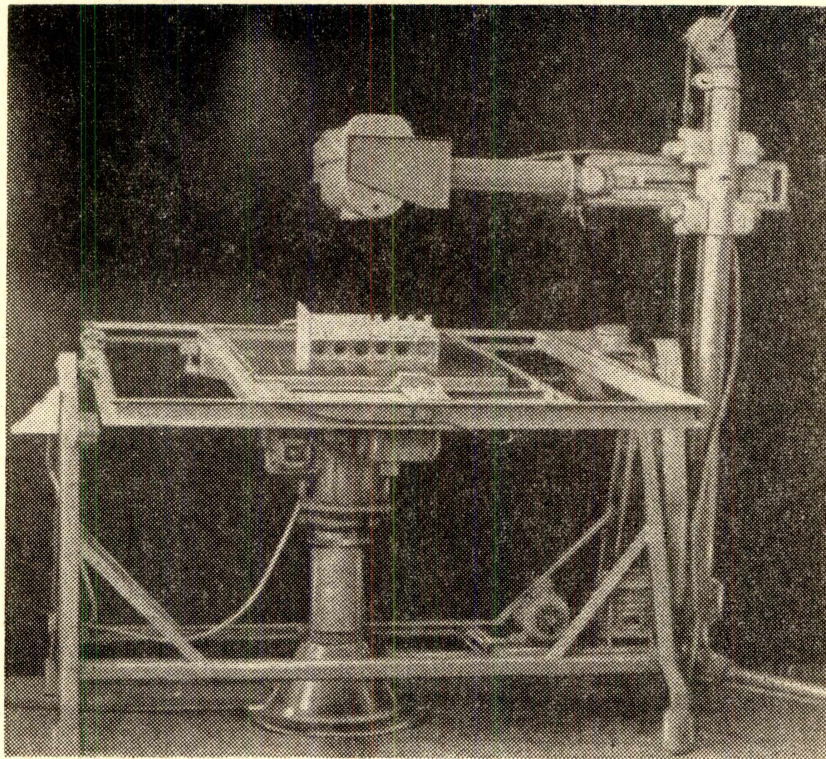


Рис. 2 б. Стол-манипулятор

из алюминиевых и магниевых сплавов с суммарной толщиной стенок 80—90 мм.

Приемник излучения в отличие от ранее описанного имеет большую рентгеночувствительную поверхность и обладает меньшей инерционностью, но конструктивно значительно сложнее. Функциональная схема интроскопа со структурной схемой приемника излучения представлены на рис. 3. Здесь цифрой 1 обозначена рентгеновская трубка; 2 — литой контролируемый корпус; 4 — рентгеновский электронно-оптический преобразователь РУ-135 (дан схематический разрез); 5 — оптика переноса

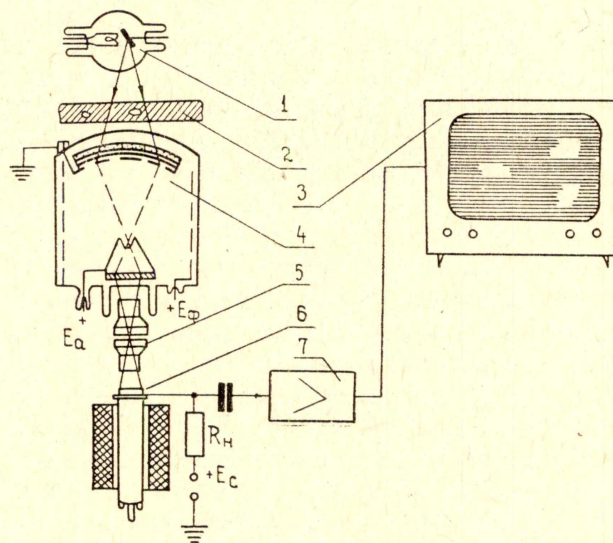


Рис. 3. Функциональная схема интроскопа со структурной схемой приемника излучения

изображения, состоящая из двух совмещенных входными линзами объективов «Юпитер-3»; 6 — видикон ЛИ-421, 7 — видеоусилитель и 3 — черно-белое ВКУ, на котором оператор наблюдает теневое рентгеновское изображение контролируемого объекта. В отечественном приборостроении такая схема приемника излучения до сих пор не использовалась из-за сравнительно низкого коэффициента преобразования прибора РУ-135 и слабой световой чувствительности видиконов. И только выпуск в 1971—1972 гг. приборов РУ-135 с большими коэффициентами усиления (больше 3000) и видиконов ЛИ-422 и ЛИ-421, работающих при освещенностях на мишенях, соответственно равных 2 и 1 лк, позволил реализовать эту схему. Дефектоскопическая чувствительность интроскопа — от 3 до 3,5% по ГОСТ 7512—69, разрешающая способность 1,8—2 лин/мм. Он позволяет проводить дефектоскопию литых алюминиевых и магниевых изделий с суммарной толщиной стенок до 80 мм. Схема интроскопа допускает подключение установки локального анализа яркости изображений просвечиваемых объектов и блока условного окрашивания с ЦВКУ, что значительно расширяет возможности интроскопа. Интроскоп этот внедрен на одном из предприятий в начале 1973 года.

На фотографии рис. 4 представлен интроскоп, предназначенный для наблюдения и кинорегистрации динамических процессов, протекающих за непрозрачными барьерами. В центре рисунка размещен пульт управления всеми блоками, слева — стойка кинорегистратора, состоящая из

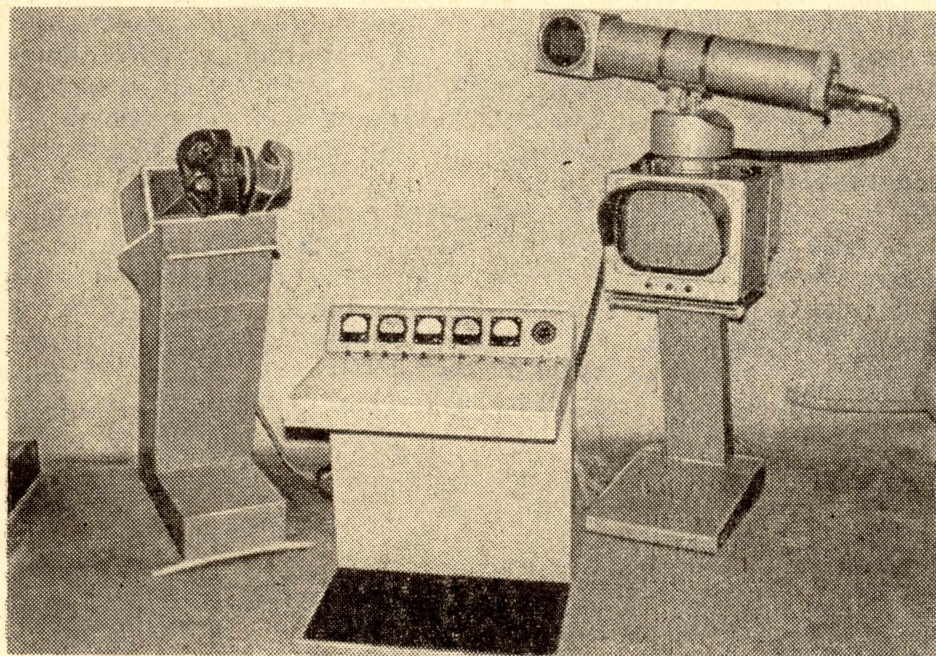


Рис. 4. Интроскоп для наблюдения и кинорегистрации динамических процессов

видеоконтрольного устройства ВК-150, кинокамеры с тубусом, снабженной электроприводом, работающим синхронно с частотой кадров, справа — основное видеоконтрольное устройство ВК-12 с установленным на нем во время фотографирования приемником излучения, состоящим из сцинтилляционного монокристаллического преобразователя (или поликристаллического тонкослойного экрана на основе  $ZnS \cdot CdS$ ), оптики переноса изображения (зеркало с внешним покрытием, объектив Ю-9 с дополнительной линзой) и передающей телевизионной камеры на суперорбитиконе ЛИ-218 или суперизоконе «Клубок» (или «Квартет»). Источником излучения (здесь не показан) могут служить аппараты РУП-150-10,

РУП-120-5, РУП-200-5 и др. Выбор передающей телевизионной трубки для приемника излучения определяется характеристиками регистрируемого динамического процесса, толщиной и материалом непрозрачных экранирующих барьеров, типом используемого рентгеновского аппарата и параметрами преобразующего экрана. Источник излучения, объект исследования и приемник излучения находятся в отдельном помещении, удаленном от пульта на расстояние до 50 м. Киносъемка ведется на пленку 35 мм непрерывно или короткими циклами с частотой 25 кадров/сек с пропуском одного из телевизионных полей (черезстрочное разложение). Моменты начала и конца съемки определяются оператором, наблюдающим исследуемый динамический процесс на экране основного ВКУ. Схема этого интроскопа тоже допускает подключение блока условного окрашивания и ЦВКУ. Вместе с тем без кинорегистратора интроскоп на базе аппарата РУП-150/300-10 и с суперизоконом в приемнике излучения может использоваться для контроля качества стального и чугуниного литья и сварных швов стальных конструкций до толщины 50÷60 мм. Дефектоскопическая чувствительность при этом на оптимальных толщинах 20÷40 мм лежит в пределах 2,0÷2,5% (ГОСТ 7512—69), разрешающая способность 2—3 лин/мм в зависимости от используемого сцинтилляционного преобразователя. Но несмотря на некоторое преимущество в чувствительности и разрешающей способности этот интроскоп по сравнению с предыдущим более сложен по схеме и предназначен для работы в лабораторных условиях. При использовании в интроскопе малогабаритного бетатрона ПМБ-6 монокристаллического экрана CsJ (Tl) толщиной 5 мм и суперизоконна «Клубок» толщина просвечиваемых стальных изделий была увеличена до 70÷80 мм. Дефектоскопическая чувствительность, полученная с помощью такого варианта интроскопа, по ГОСТ 7512—55 была равна 1,5—2,0%, а разрешающая способность 5—6 лин/мин.

Из сказанного видно, что каждый из описанных интроскопов имеет свою область применения и не может полностью заменить любой другой. Поэтому при выборе типа рентгенотелевизионного интроскопа необходимо учитывать не только требования, предъявляемые к его дефектоскопическим характеристикам, но и условия, в которых будет работать интроскоп, материал, толщину, габариты и вес изделий, производительность контроля, суточную загрузку, уровень технического обслуживания.

---