

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### Основные структурные элементы установки радиографического контроля

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение устройства и технических характеристик переносного рентгеновского аппарата РАПАН М 200/100 и регистраторов радиографического изображения на основе ПЗС-матрицы и энергонакапливающих экранов.

Подготовка устройств к работе, включение и получение радиографических изображений.

#### 2. РЕНТГЕНОВСКИЙ АППАРАТ РАПАН М 200/100 В КАЧЕСТВЕ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА

##### 2.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

###### 2.1.1. Радиационные методы контроля

Радиационные методы контроля основаны на способности ионизирующего излучения неодинаково проникать через различные материалы и поглощаться в них в зависимости от толщины, рода (плотности) материалов и энергии излучения. Интенсивность проникающего излучения будет больше на участках меньшей толщины или меньшей плотности, в частности в местах дефектов – несплошностей (трещин, непроваров), неметаллических включений или пор. Разность интенсивностей регистрируется детектором.

В зависимости от вида применяемого детектора различают три основных метода радиационного контроля: радиографический, радиоскопический и радиометрический.

Радиографические методы радиационного контроля основаны на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок.

В зависимости от используемого излучения различают несколько разновидностей радиографии: рентгенографию, гамма-графию, ускорительную и нейтронную радиографию.

При радиоскопическом методе радиационное изображение преобразуется в светотеневое и передаётся на экран видеоконтрольного устройства, причем полученное изображение анализируется в процессе контроля.

Под радиометрическим понимают метод радиационного контроля, основанный на измерении интенсивности ионизирующего излучения, прошедшего через контролируемый объект. Изменение интенсивности излучения регистрируется в виде электрических сигналов.

Каждый из методов имеет свою сферу использования, но на практике для контроля сварных соединений наибольшее распространение получил рентгенографический метод в связи с его простотой и наличием документального подтверждения результатов контроля.

### **2.1.2. Получение рентгеновского излучения**

Для получения рентгеновского излучения используют рентгеновскую трубку, представляющую собой стеклянную колбу с двумя электродами – анодом и катодом. Между электродами трубки создают высокое (от десятков до сотен киловольт) напряжение. Ток накала нагревает катод до температуры, при которой возникает эмиссия электронов. Испускаемые катодом свободные электроны ускоряются электрическим полем трубки и попадают на анод узким электронным пучком. При торможении электронного пучка на аноде почти вся кинетическая энергия электронов превращается в энергию рентгеновского излучения.

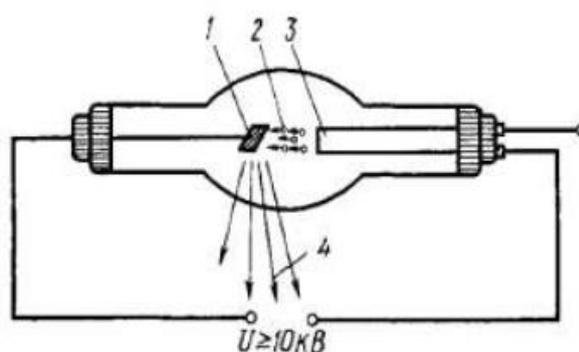


Рисунок 1. Схема рентгеновской трубки: 1– анод; 2 – электроны; 3 – катод; 4 – рентгеновское излучение

Рентгеновская трубка является одной из составляющих рентгеновского аппарата. Рентгеновским аппаратом называют совокупность технических средств, предназначенных для получения и использования рентгеновского излучения. В общем случае рентгеновский аппарат состоит из трёх основных частей: рентгеновского излучателя – рентгеновской трубки в защитном кожухе, блока питания и пульта управления.

## 2.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.2.1. Назначение и технические характеристики рентгеновского аппарата РАПАН М 200/100

**Назначение:** радиографический неразрушающий контроль и дефектоскопия в промышленности; досмотр багажа, почтовых отправок; проведение физических экспериментов и исследований. Кроме этого, аппарат может быть использован и для других целей, где требуется пучок рентгеновского излучения с максимальной энергией до 200 кэВ. Аппарат может использоваться как в стационарных (производственные цеха), так и нестационарных условиях (строительные и монтажные площадки, полевые условия).

**Технические характеристики** рентгеновского аппарата РАПАН М 200/100 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики рентгеновского аппарата РАПАН М 200/100

Тип рентгеновского аппарата	с постоянным анодным напряжением, моноблочный
Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	100-200
Регулировка напряжения	ступенями по 5 кВ
Максимальная мощность на аноде рентгеновской трубки, Вт	100
Выход излучения	торцевой, 120°
Фокусное пятно, мм	Ø2,5
Максимальная толщина просвечиваемой стали на пленку (F = 700 мм, экспозиция - 10 мин., плотность почернения - 2), мм: - на пленку D7 Agfa Structurix с Pb-экранами 0,027 мм - на пленку F8 с рентгенофлуоресцентными экранами (F8+RCF)	22 35
Условия эксплуатации: - температура окружающего воздуха, °С - влажность, %	от -40 до +40 до 95
Максимальная длительность экспозиции, мин	15
Напряженность рабочего цикла	1:2
Питание	сеть 220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность, Вт, не более	350
Габаритные размеры, мм, не более: - излучатель (моноблок)	Ø165 × 400

- пульт питания - пульт дистанционного управления	420 × 140 × 120 170 × 80 × 35
Масса, кг, не более: - излучатель (моноблок) - пульт питания - пульт дистанционного управления (с кабелем связи) - кабель связи моноблока с пультом питания	10 3,5 2,5 4
Габаритно-массовые характеристики в упаковке (не более)	20 кг, 420×400×200 мм

### **Эксплуатационные ограничения**

При работе с РА следует помнить, что:

– недопустимо использовать РА, особенно ППУ, в условиях прямого воздействия влаги (снег, дождь туман и т.п.) и агрессивных сред;

– переносить МБ и ППУ следует только за ручки, предусмотренные для этой цели. Категорически запрещается использовать для переноса РА соединительные кабели;

– если появятся специфические звуки (треск, звуки электрических разрядов и т.п.) или запахи, немедленно выключите РА и вызовите представителей службы, проводящей техническое обслуживание РА.

#### **2.2.2. Внешний вид**

Конструктивно рентгеновский аппарат состоит (рисунок 2) из моноблока, пульта питания, пульта дистанционного управления, соединительного кабеля длиной 15 м, обеспечивающего безопасность оператора.



Рисунок 2. Внешний вид блоков рентгеновского аппарата РАПАН М 200/100 (пульт управления не показан).

### 2.2.3. Состав и блок-схема

РА состоит из моноблока ТРМБ131 (МБ), пульта питания и управления ТРПП62 (ППУ), пульта управления дистанционного ТРПУ61 (ПУ), кабеля ТРА62.010 для соединения МБ с ППУ и кабеля сетевого ТРА62.030.

Схема соединения составных частей РА приведена на рисунке 3.

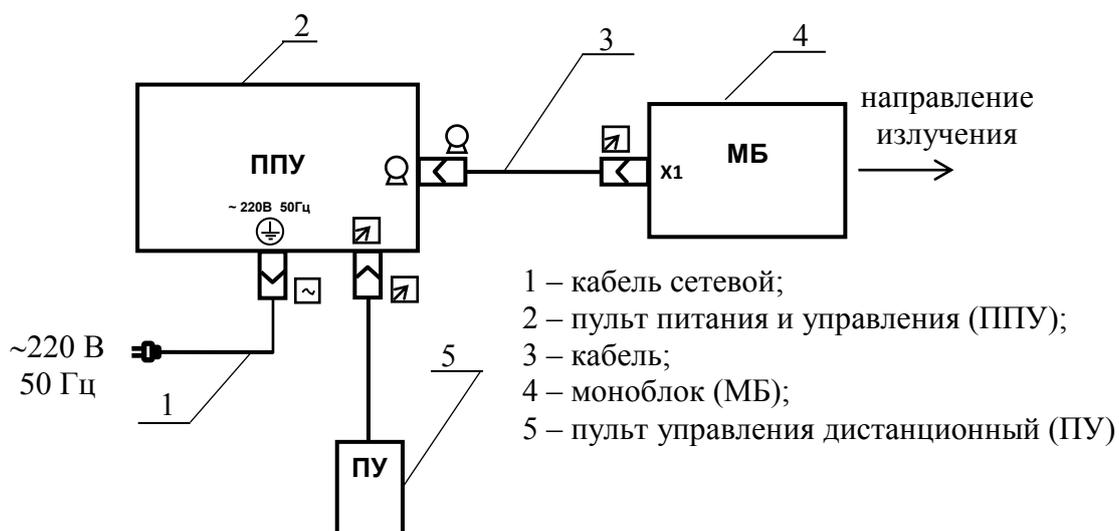


Рисунок 3 – Блок-схема соединения составных частей РА

Пульт управления (ПУ) и пульт питания и управления (ППУ) показаны на рисунках 4 и 5.

Пульт управления (ПУ) служит для задания режимов работы РА и запуска его в работу. Для этого на панели ПУ имеются органы управления (кнопки) и индикации (индикаторы), расположение и назначение которых показано на рисунке 4.

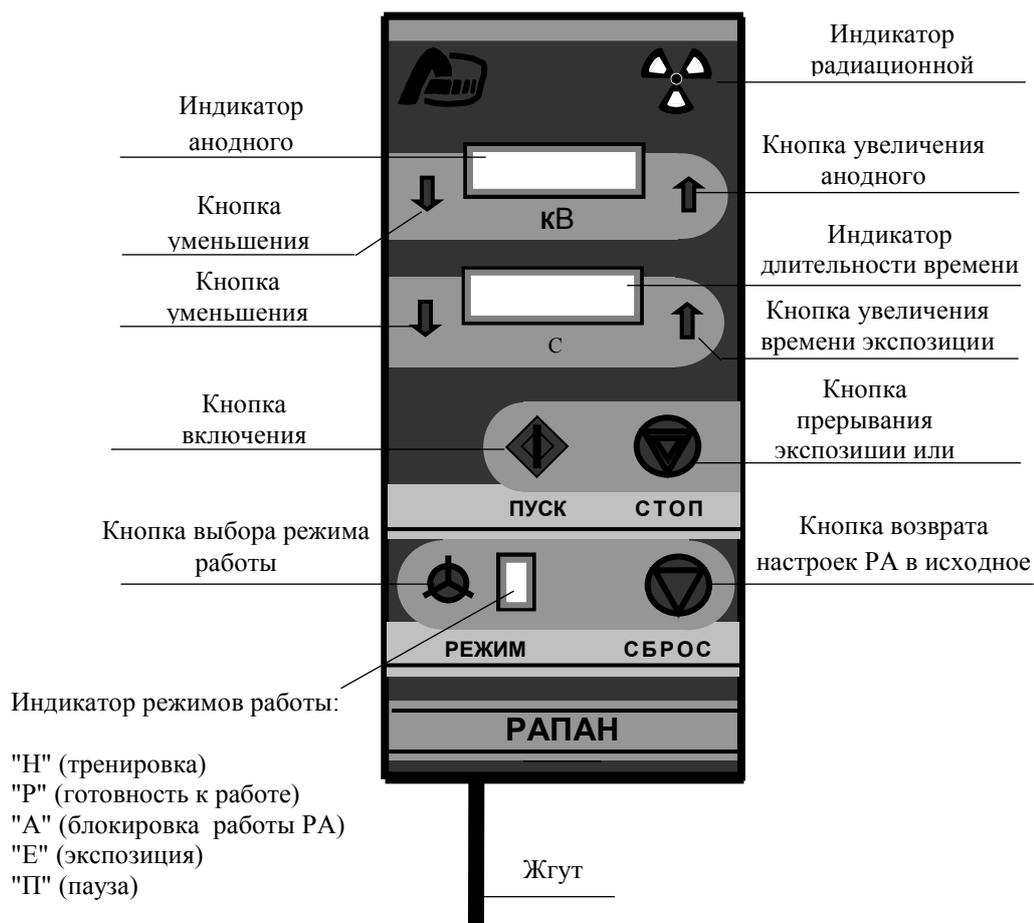


Рисунок 4. Внешний вид ПУ

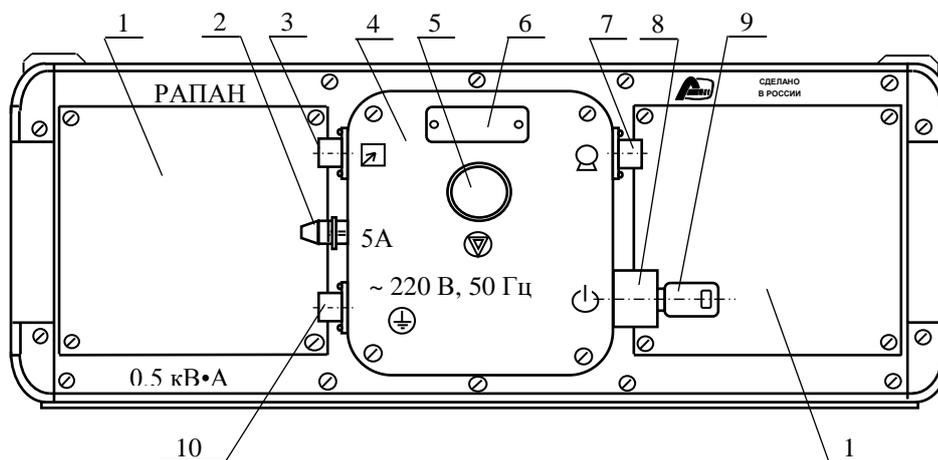


Рисунок 5. Внешний вид ППУ со стороны передней панели. 1 – крышка вентилятора; 2 – вставка плавкая; 3 – соединитель для подключения ПУ; 4 – панель передняя; 5 – кнопка экстренного отключения РА; 6 – табличка; 7 – соединитель для подключения МБ; 8 – замок; 9 – ключ; 10 – вилка для подключения сетевого кабеля

#### 2.2.4. Порядок работы с рентгеновским аппаратом

Извлечь составные части РА (МБ, ПУ в кофре, кабели) из меньшего по размеру кофра.

Допускается эксплуатация ППУ и ПУ без извлечения их из кофров. При этом должна быть обеспечена циркуляция воздуха в кофре с ППУ, как минимум, через боковые клапаны верхней крышки кофра.

Разместить и закрепить МБ в удобном для проведения экспонирования месте. Открыть кофр с ППУ и собрать РА в соответствии с рисунком 3.

На ППУ (рисунок 5) установите ключ поз. 9 в замке поз. 8 в положение "0". Необходимо убедиться в том, что кнопка экстренного отключения "⚠" поз. 5 отжата. Подсоединить ППУ к сети переменного тока 220 В, 50 (60) Гц.

Включить ППУ, для чего установить ключ в замке в положение "I". На панели ППУ начнет светиться зеленым цветом кнопка "⚠". После включения РА проходит тестирование индикации и звукового сигнала ПУ кратковременным включением индикаторов и звука.

Затем начинается прогрев катода рентгеновской трубки (РТ) и на лицевой панели ПУ на индикаторах "кВ" и "с" высветится информация, изображенная на рисунке 6 (слева).

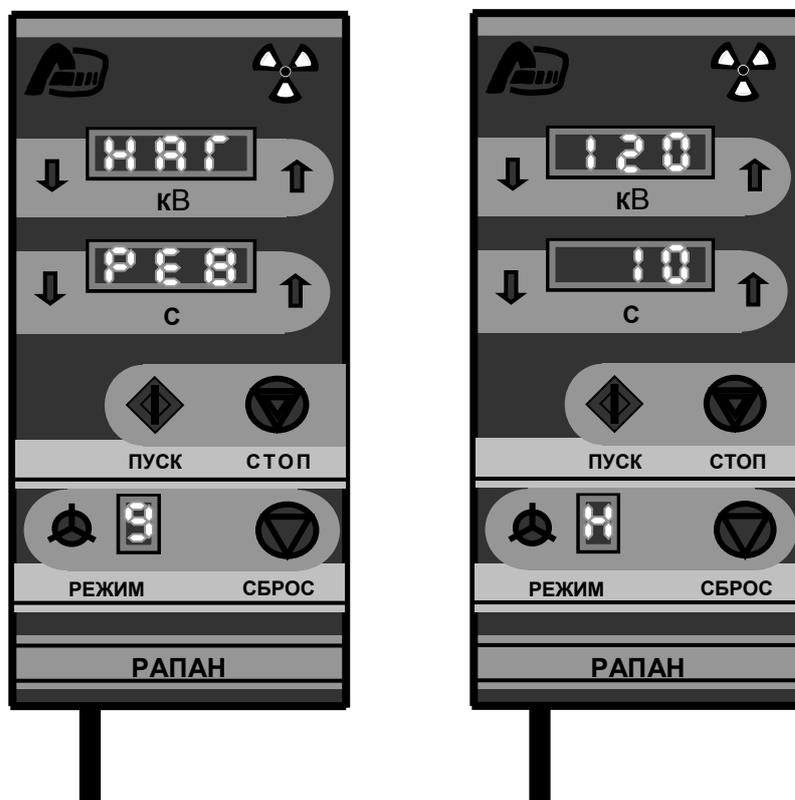


Рисунок 6. Информация на индикаторах ПУ

На индикаторе "РЕЖИМ" высветятся последовательно три раза цифры от "9" до "0" с интервалом в 1 с (пройдет обратный отсчет времени в течение 30 с).

После этого на индикаторах ПУ высветится информация, изображенная на рисунке 6 (справа), означающая предложение провести тренировку РТ.

Для начала тренировки нажмите на ПУ кнопку "ПУСК". После чего ПУ издаст прерывистый звуковой сигнал, а индикаторы "кВ" и "с" замигают. Через 5 с начнется тренировка РТ. На ПУ включатся сигналы радиационной опасности (свечение индикатора радиационной опасности и непрерывный звуковой сигнал), которые будут сопровождать тренировку РТ.

Тренировка заключается в последовательном ступенчатом повышении напряжения на РТ (120; 140; 160 и 180 кВ). Значения напряжения отобразятся на индикаторе "кВ".

На индикаторе "с" отобразится обратный отсчет времени от 9 до 0 с для каждого из перечисленных значений напряжения.

После окончания тренировки РА перейдет в режим паузы, длящийся 80 с. В режиме паузы на ПУ высветятся на индикаторе "РЕЖИМ" – буква "П", на индикаторе "с" – время в секундах до окончания паузы. Затем на индикаторах ПУ высветится информация, изображенная на рисунке 7, сообщающая о готовности РА к работе.



Рисунок 7. Информация на индикаторах ПУ

**ВНИМАНИЕ! ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТРЕНИРОВКИ СЛЕДУЕТ ОБЯЗАТЕЛЬНО ВЫПОЛНЯТЬ ТРЕБОВАНИЯ, ИЗЛОЖЕННЫЕ В РАЗДЕЛЕ "ПОРЯДОК БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ".**

Для проведения экспонирования установить с помощью кнопок "▲" и "▼" на ПУ:

– на индикаторе "кВ" значение анодного напряжения в диапазоне от 100 до 200 кВ с шагом 5 кВ;

– на индикаторе "с" значение времени экспозиции в диапазоне от 30 до 990 с с шагом 10 с.

**Примечание.** Для защиты от перегрева РА в процессе разогрева МБ происходит ограничение времени экспозиции в соответствии с приложением А (рисунок А.1). При ограничении максимального времени экспозиции автоматически увеличивается длительность режима паузы до трех длительностей предыдущей экспозиции.

Нажать на ПУ кнопку "ПУСК". ПУ издаст прерывистые звуковые сигналы, индикаторы "кВ" и "с" замигают, и через 5 с начнется режим экспозиции, сопровождаемый сигналами радиационной опасности.

На индикаторе "РЕЖИМ" высветится буква "Е" (экспозиция), на индикаторе "кВ" отобразится значение выбранного напряжения, а на индикаторе "с" начнется обратный отсчет установленного времени экспозиции.

После окончания времени экспозиции РА перейдет в режим паузы, по длительности равный удвоенному времени предшествующей экспозиции. В режиме паузы на индикаторе "РЕЖИМ" высветится буква "П", а на индикаторе "с" отобразится время до окончания паузы.

**Примечание.** Экспозиция может быть прервана оператором при нажатии кнопки "СТОП" на ПУ (прерывание экспозиции) или кнопки "⚡" на ППУ (экстренное отключение РА).

После окончания работы РА выключить ППУ, повернув ключ поз. 9 на ППУ (рисунок 3) в положение "0", отсоединить РА от сети и разобрать на составные части.

Упаковать составные части РА в кофр меньшего размера, закрыть кофр с ППУ.

### **Причины блокировки работы рентгеновского аппарата**

Если при включении РА отсутствует свечение кнопки "⚡" на ППУ, то сначала необходимо проверить наличие напряжения в питающей сети.

При наличии напряжения отсоединить РА от сети и проверить целостность:

– вставок плавких поз. 2 (рисунок 3) ППУ. При обнаружении неисправной вставки плавкой заменить ее;

– кабеля сетевого. При обнаружении неисправности в кабеле заменить его или отремонтировать.

При работе с РА могут возникать ситуации, при которых работа РА автоматически блокируется. При этом на ПУ высвечиваются на индикаторе "РЕЖИМ" - буква "А", а на индикаторе "с" - соответствующий код сообщения.

Коды сообщений, причины их возникновения и необходимые при этом действия персонала приведены в таблице 2.

**Примечание.** В случаях, когда предлагаемые действия оператора не приводят к возобновлению работы РА, выключить РА, отсоединить его от сети и вызвать представителя обслуживающей организации.

Таблица 2. Коды сообщений

Код сообщения	Описание неисправности	Действия персонала по устранению неисправности
Е0	Перегрузка анодного инвертора	Выключить РА. Через интервал времени от 10 до 15 с включить РА и повторить экспозицию
Е1	МБ не подключен	Выключить РА. Проверить исправность и качество подсоединения кабеля к ППУ и МБ. При обнаружении неисправности устранить ее
Е3	Температура МБ больше допустимой	Выключить РА. Включить РА после остывания МБ
Е7	Анодное напряжение отличается более чем на 10 % от установленного значения	Выключить РА. Проверить напряжение питающей сети

### **2.2.5. Меры безопасности при эксплуатации рентгеновского аппарата РАПАН М 200/100**

2.2.5.1. Основными видами опасности для персонала при радиографическом контроле является воздействие на организм ионизирующего излучения и вредных газов, образующихся в воздухе под воздействием излучения, а также поражение электрическим током.

2.2.5.2. При работе с рентгеновским аппаратом необходимо обеспечить безопасность работ в соответствии с требованиями санитарных правил при проведении рентгеновской дефектоскопии СП 2.6.1.1283-03 и "Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности" СП 2.6.1.2612-10 (ОСПОРБ-99/2010).

2.2.5.3. При эксплуатации подключенного рентгеновского аппарата необходимо обеспечивать безопасность работ в соответствии с требованиями "Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей".

2.2.5.4. Указания электрической безопасности:

2.2.5.4.1. Устраняйте возникшие неисправности только на аппарате с отключенным от питающей сети сетевым кабелем.

2.2.5.4.2. Проверяйте систематически надежность заземления. Так как в аппарате используется бестрансформаторный выпрямитель, работа без заземления не допускается.

2.2.5.4.3. Проверяйте состояние крепления электрических кабелей к разъёмам.

2.2.5.4.4. Отключайте аппарат от сети после окончания работы.

2.2.5.4.5. Не допускайте перекручивания электрических кабелей, а также возможности механического повреждения узлов и блоков аппарата во время работы.

2.2.5.4.6. Отсоединение электрических кабелей от блоков аппарата возможно не ранее, чем через 2 минуты после отключения сетевого напряжения.

2.2.5.5. Указания радиационной безопасности:

2.2.5.5.1. Не превышайте допустимую мощность экспозиционной дозы излучения на рабочих местах. Эффективная доза излучения для лиц из персонала (по НРБ-99) за любые последовательные 5 лет не должна превышать 100 мЗв, но не более 50 мЗв в год.

2.2.5.5.2. При вводе аппарата в эксплуатацию и каждый раз при оборудовании нового рабочего места, выполняйте контрольные измерения мощности дозы в местах возможного нахождения рабочего персонала и в смежных помещениях. Контрольные измерения производите на максимальном режиме аппарата (анодное напряжение 200 кВ, анодный ток ? мА).

2.2.5.5.3. При оборудовании рабочего места стремитесь расположить его вне рабочего пучка излучения. Для снижения лучевой нагрузки на оператора, в полевых условиях, выбирайте место его размещения в соответствии с диаграммами распределения неиспользуемого излучения (рисунки 8 и 9). Измерения проводились в режиме 200 кВ, ? мА, при этом мощность дозы на оси пучка при отсутствии свинцовой заглушки ? Р/час.

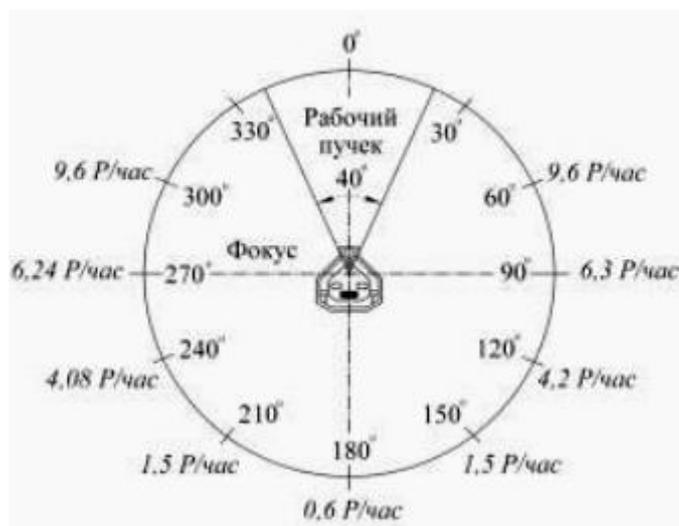


Рисунок 8. Диаграмма распределения неиспользуемого излучения в плоскости, перпендикулярной оси излучателя на расстоянии 1 м от фокуса трубки

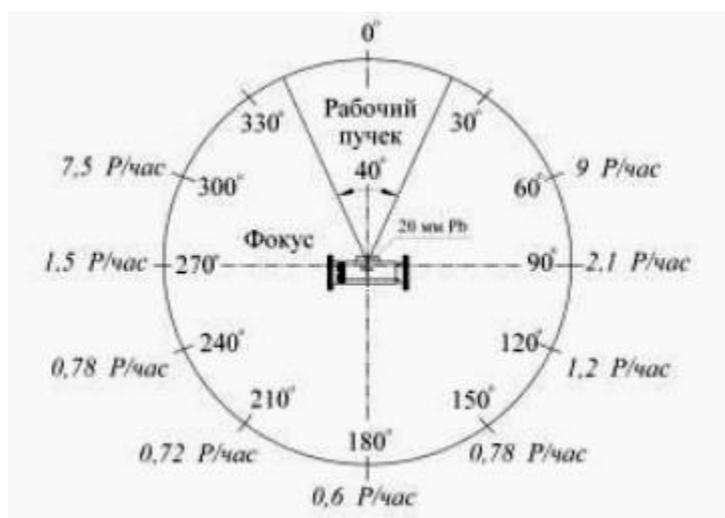


Рисунок 9. Диаграмма распределения неиспользуемого излучения в плоскости, совпадающей с осью излучателя на расстоянии 1 м от фокуса трубки

2.2.5.5.4. При производстве работ на открытых площадках оградите место работы и вывесите ясно видимые предупредительные надписи:

"НЕ ПРОХОДИТЬ", "ОПАСНО" и знак радиационной опасности, установите красный источник мигающего света.

Не допускайте к месту производства работ и к рентгеновскому аппарату посторонних лиц.

2.2.5.5.5. В случае необходимости защищайте обслуживающий персонал и посторонних лиц от действия прямого и рассеянного рентгеновского излучения защитными экранами.

Толщина защитных экранов может быть определена с помощью контрольных измерений

или рассчитана по методикам, изложенным в санитарных требованиях "Обеспечение радиационной безопасности при рентгеновской дефектоскопии".

### **3. ЦИФРОВЫЕ ПРИЕМНИКИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

#### **3.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ**

##### ***3.1.1. Основы цифрового представления изображений***

Изображение – это двумерное отображение наблюдаемой сцены, возникающее в результате регистрации лучистой энергии, исходящей из наблюдаемой сцены, с помощью некоторого устройства – сенсора (совокупности сенсоров). Регистрируемый сенсором сигнал возникает в результате взаимодействия источника «освещения» с элементами изображаемой «сцены». Цвет – это психическое свойство человеческого зрения, возникающее при наблюдении объектов и света, а не физические свойства объектов и света; результат взаимодействия света сцены и зрительной системы человека.

Большинство устройств ввода данных в современных системах обработки изображений, а также подавляющее большинство цифровых фото- и видеокамер используют сенсоры в форме двумерного массива (матрицы). Типичным чувствительным элементом является матрица на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС) или Charge Coupled Device (CCD). Ответная реакция каждого элемента пропорциональна интегралу световой энергии, попадающей на поверхность этого элемента за время экспозиции.

Существует две основные формы представления изображений: непрерывная и дискретная. Очень редко изображения, получаемые в информационных системах, имеют цифровую форму. Преобразование изображений к цифровому виду включает в себя два этапа. Первый этап – замена непрерывного кадра дискретным, обычно называется дискретизацией, а второй этап выполняет замену непрерывного множества значений яркости множеством квантованных значений ( $Q$  дискретных уровней) и носит название квантования. При цифровом представлении каждому из квантованных значений яркости ставится в соответствие двоичное число, чем и достигается возможность ввода изображения в ЭВМ.

Компьютеры обрабатывают не изображения, а только массивы дискретных чисел. Таким образом, изображение представляется в виде двумерного массива чисел. Точка в 2D-сетке называется *пикселем* (*pixel*) (рис. 10, а, б). Это название является сокращением понятия *picture element* (элемент изображения). Пиксель представляет энергетическую

освещенность в соответствующем месте сетки. Положение пикселя задается с помощью общепринятого обозначения для матриц.

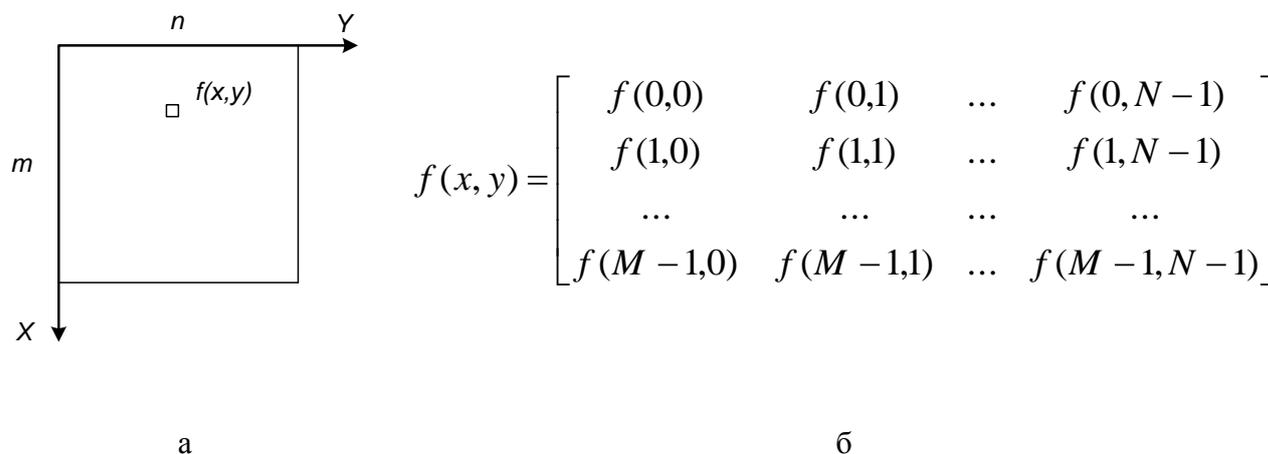


Рисунок 10. а - положение пикселя в 2D-сетке; б – матричное представление изображения

Размер пикселя цифрового изображения определяется разрешением, а минимальная разница между яркостями пикселя определяется глубиной цвета. *Разрешение изображения* измеряется количеством пикселей, расположенных на единице длины. Как правило, в качестве единицы длины при оцифровке изображений используется дюйм, в таком случае разрешение измеряется в количестве пикселей на дюйм (dots per inch, *dpi*). *Глубина цвета* определяется количеством различных значений, которое может принимать пиксель.

Как правило, изображения квантуются в 256 уровней яркости. Тогда каждый пиксель занимает 8 бит или 1 байт. Этот битовый размер хорошо подходит к архитектуре стандартных компьютеров, которые могут обращаться к памяти побайтово. Кроме того, разрешающая способность является приемлемой для того, чтобы создать иллюзию непрерывного изменения в уровнях яркости, поскольку относительное разрешение зрительной системы человека по интенсивности не лучше, чем приблизительно 2%.

В общем виде значение  $Q$  (число уровней (градаций) яркости) обычно выбирают равным целочисленной степени двойки:

$$Q = 2^k \quad (1)$$

Дискретные уровни яркости расположены с постоянным шагом и принимают целые значения в интервале  $[0, Q-1]$ . Общее количество битов  $b$ , необходимое для хранения цифрового изображения, определяется по формуле

$$b = M \times N \times k \quad (2)$$

Наилучшая глубина цвета зависит от специфики задачи и типа исходных изображений. Наиболее часто встречаются следующие случаи:

- 2 уровня яркости (черный и белый) – бинарное изображение;
- 256 уровней яркости (1 байт на пиксель) – полутоновое изображение;
- 65 536 уровней яркости (2 байта на пиксель) – полутоновое изображение;
- 16,7 млн цветов (3 байта – красный, синий, зеленый – на пиксель) – цветное изображение;
- 4,3 млрд цветов (4 байта – голубой, сиреневый, желтый, черный – на пиксель) – цветное изображение.

Последнее представление используется, как правило, лишь в издательских системах, тогда как первые четыре способа широко распространены в обработке изображений.

### ***3.2. Цифровые радиографические приемники***

Существует 5 основных типов цифровых приемников ионизирующего излучения:

1. Цифровые камеры с экраном, оптикой и ПЗС – матрицей.
2. Приемники с запоминающим энергонакапливающим люминофором.
3. Цифровые детекторы на базе сканирующей линейки детекторов.
4. Матричные приемники с детекторами из аморфного кремния.
5. Матричные приемники с детекторами из аморфного селена.

#### ***3.2.1. Цифровые камеры с экраном, оптикой и ПЗС – матрицей (ПЗС-детекторы)***

Данные приемники состоят из одной или нескольких ПЗС матриц, площадью существенно меньшей площади реального объекта. Для покрытия всей площади объекта (экрана), используется оптический узел. Оптическая и функциональная схемы приемника приведена на рисунках 11 и 12. Ионизирующее излучение при прохождении через экран преобразуется в видимое. Экран установлен на входе приемника. С помощью светосильного оптического узла это изображение передается на ПЗС матрицу. Накопленные во время экспозиции в пикселях матрицы заряды считываются через выходное устройство ПЗС. Далее аналоговый видеосигнал обрабатывается и подается на АЦП. С АЦП цифровой поток поступает в ПК, где осуществляется анализ полученного

изображения. Главное преимущество данной технологии заключается в низкой стоимости приемника.

- 1 – ПЗС-матрица
- 2 – масштабирующий объектив
- 3 – ЭОП (усилитель изображения)
- 4 – входной объектив
- 5 – зеркало
- 6 – экран

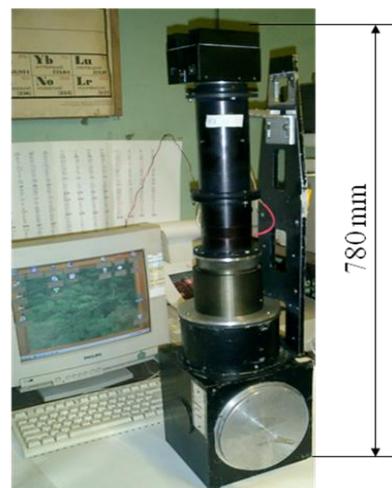
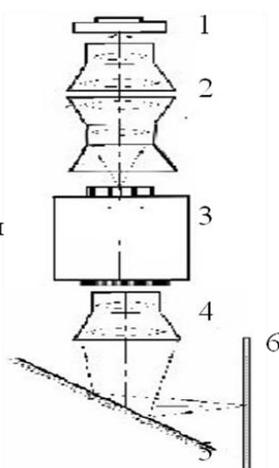


Рисунок 11. Оптическая схема и внешний вид приемника на основе ПЗС-матрицы

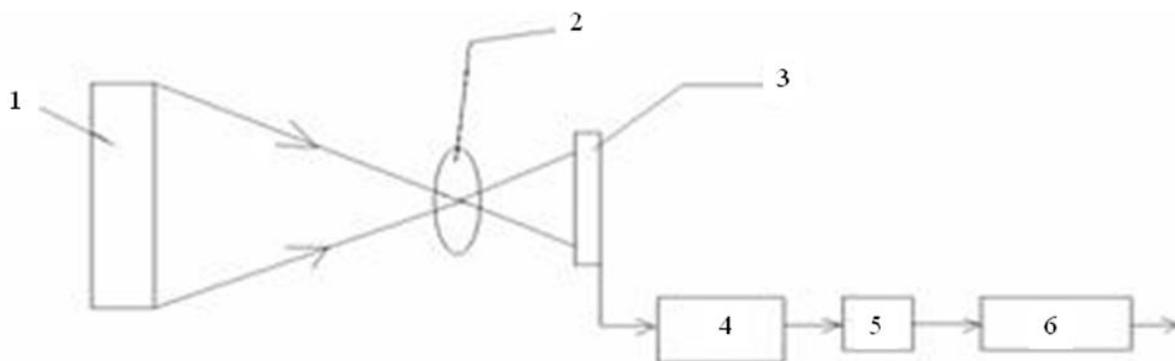


Рисунок 12. Функциональная схема приемника на основе ПЗС-матрицы  
1 – экран; 2 – объектив; 3 – ПЗС; 4 – выходное устройство ПЗС; 5 – АЦП;  
6 – цифровой интерфейс

Главный недостаток – низкая по сравнению с другими приемниками квантовая эффективность из-за потерь при преобразовании излучения в световое (экран) и потерь на оптическом узле.

### 3.2.2. Приемники с запоминающим энергонакапливающим люминофором

Данные приемники конструктивно представляет собой обычную рентгеновскую кассету, в которую вместо пленки установлен экран, покрытый люминофором с вынужденной (фотостимулированной) люминесценцией.

Принцип работы приемника показан на рисунке 13. Рентгеновское излучение поглощается этим люминофором и выбивает электроны, которые запоминаются как носители поглощенной энергии. Далее кассету устанавливают в специальное устройство (сканер), в котором происходит следующее: при облучении люминофора светом лазера,

энергия высвобождается в виде светового излучения. Испускаемый люминофором свет собирается с помощью оптической системы, усиливается и преобразуется в аналоговый сигнал на фотоэлектронном умножителе (ФЭУ). Видеосигнал затем через АЦП попадает в компьютер.

На рисунке 14 показан принцип регистрации с помощью такого приемника быстрых нейтронов.

Главное преимущество данного вида детекторов – возможность их применения в традиционной рентгеновской аппаратуре без какой-либо ее переделки. При этом одна подобная установка (сканер) позволяет производить цифровую рентгенографию на нескольких рентгеновских аппаратах при оснащении их достаточным количеством кассет с запоминающими экранами.

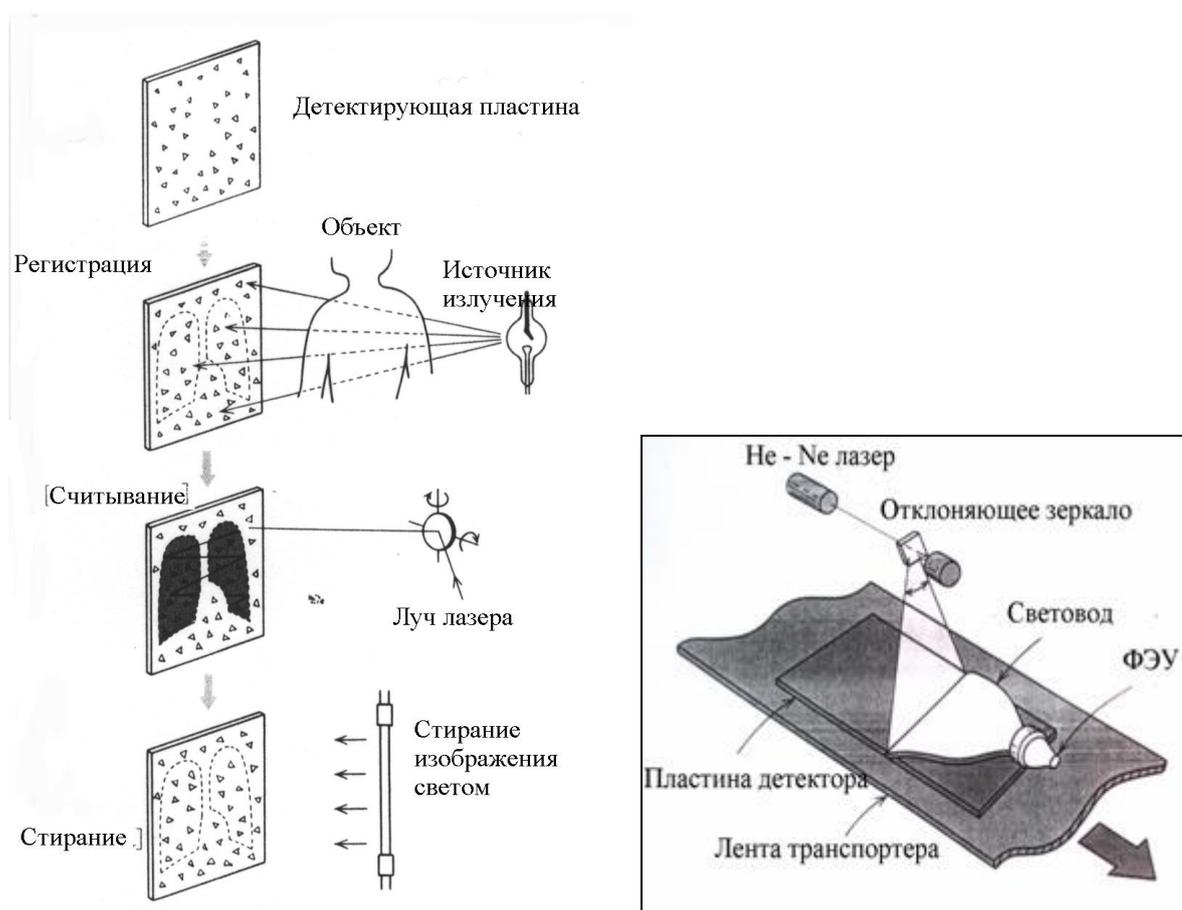


Рисунок 13. Принцип работы системы регистрации изображений на основе детектора с энергонакапливающим люминофором

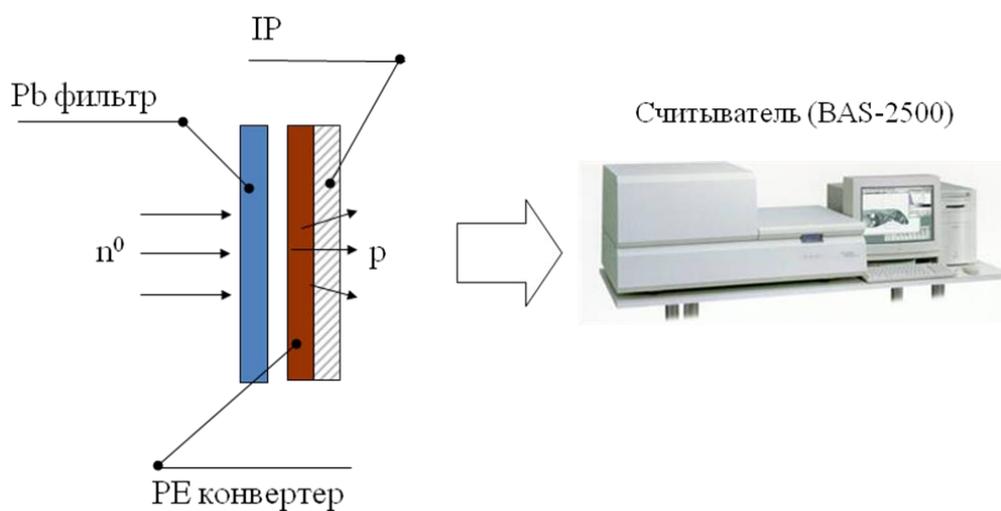


Рисунок 14. Принцип работы системы регистрации быстрых нейтронов детектором с энергонакапливающим люминофором

### 3.2.3. Цифровые детекторы на базе сканирующей линейки детекторов

Принцип работы и устройство рентгеновского детектора показаны на рисунках 15 и 16. В данном детекторе в качестве приемника используется линейка одноэлементных детекторов (полупроводниковых или сцинтилляционных). Длина линейки зависит от числа одноэлементных детекторов. Обычно объект перемещается перпендикулярно веерному (коллимированному) пучку рентгеновского излучения. Возможно также, что линейка механически перемещается (сканирует) по кадру изображения. Синхронно с линейкой с другой стороны объекта исследования с очень высокой точностью механически перемещается (сканирует) коллимированный рентгеновский луч.

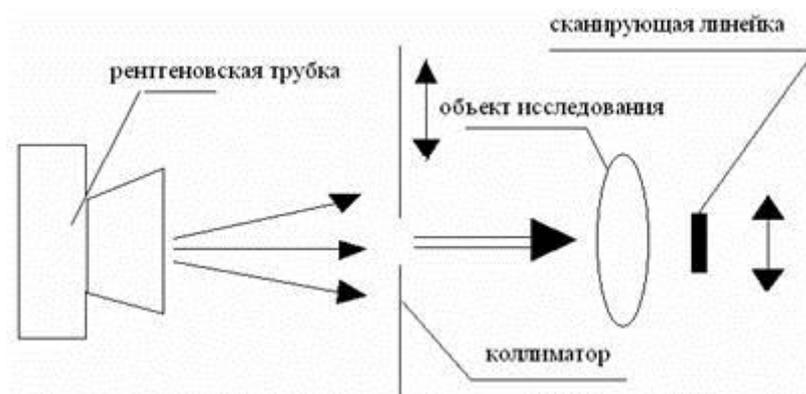


Рисунок 15. Принцип работы однокоординатного рентгеновского детектора

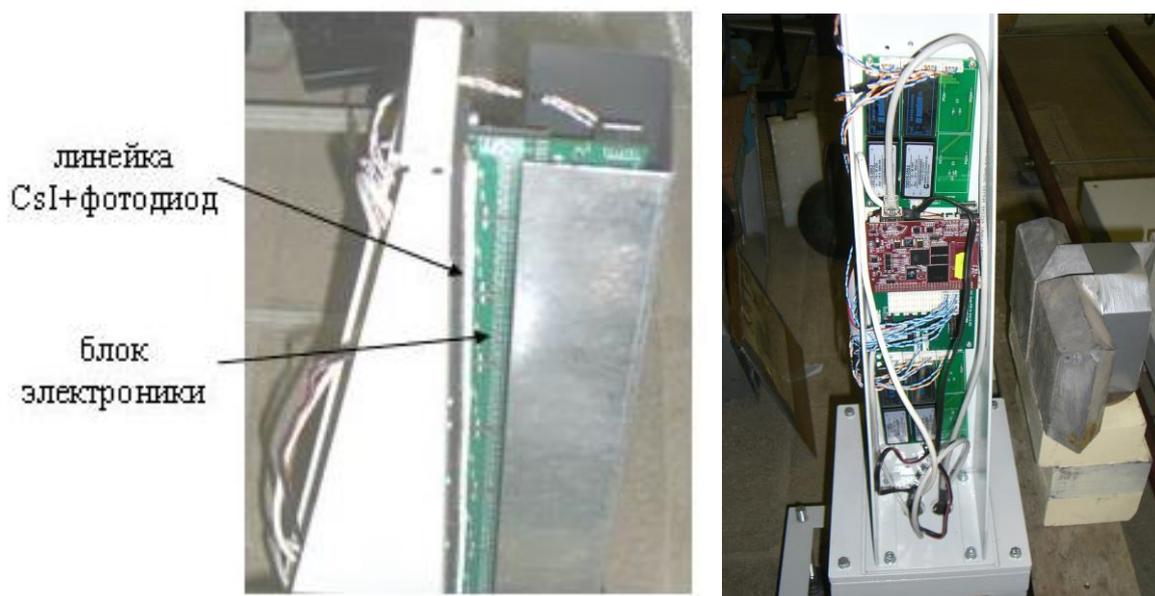


Рисунок 16. Устройство однокоординатного рентгеновского детектора

Сигнал, полученный в каждом элементе детектора, считывается, оцифровывается и передается в цифровую память компьютера. Полное изображение складывается из суммированного изображения всех строк при сканировании.

Главный недостаток данного вида приемника – необходимость обеспечения точного механического перемещения.

### **3.2.4. Матричные приемники с детекторами из аморфного кремния**

Конструкция данного приемника представляет собой кремниевый кристалл размерами  $\approx 430 \times 430$  мм, который состоит из матрицы фотодиодов с количеством пикселей (фотодиодов)  $\approx 3000 \times 3000$  (рисунок 17).

Данный кристалл покрыт экраном, который преобразует рентгеновское излучение в световое. На границах фотодиодов проходят проводящие шины. По шине б через сигнал с матрицы фотодиодов, который зависит от светового потока рентгеновского экрана на матрицу фотодиодов, передается в процессор.

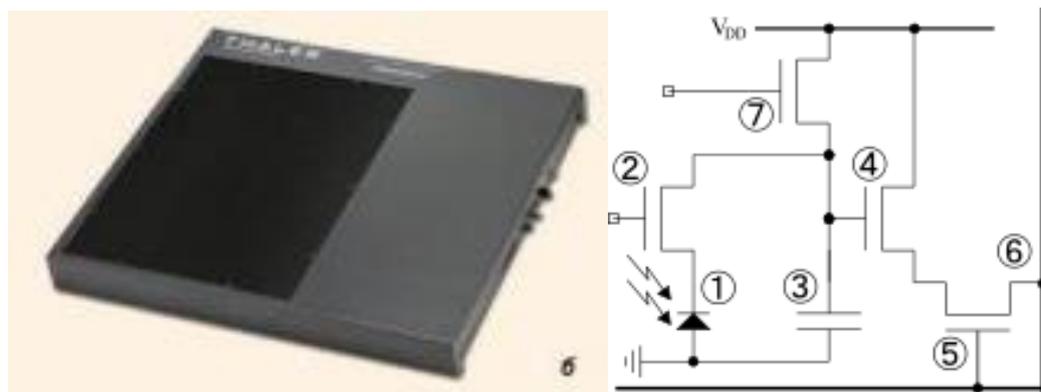


Рисунок 17. Внешний вид и принцип работы детектора на основе аморфного кремния.

1 — светодиод; 2 — затвор; 3 — конденсатор, сохраняющий заряд с диода; 4 — усилитель; 5 — шина выбора строки; 6 — вертикальная шина, передающая сигнал процессору; 7 — сигнал сброса

### 3.2.5. Матричные приемники с детекторами из аморфного селена

Матричные приемники с детекторами из аморфного селена отличаются от матричных приемников с детекторами из аморфного кремния тем, что у селеновых приемников нет экрана для преобразования рентгеновского излучения в световое. Аморфный селен поглощает рентгеновское излучение и преобразует его напрямую в электрический сигнал (рисунок 18). Таким образом, у данного типа приемников нет потерь на преобразование рентгеновское излучения в световое. Главным достоинством селеновых приемников является их максимальная квантовая эффективность. Главный недостаток обоих типов матричных приемников – их очень высокая стоимость.

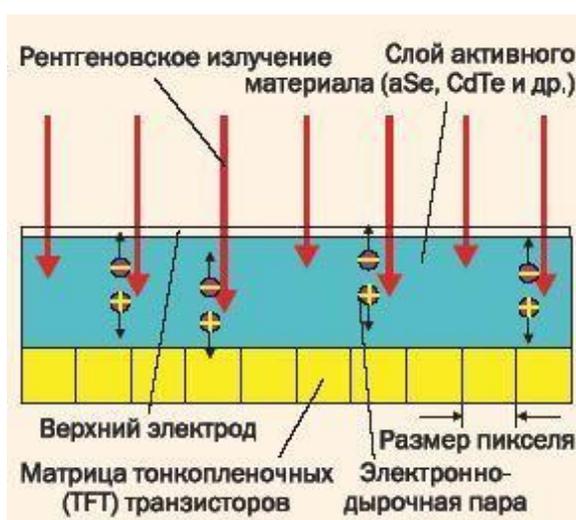


Рисунок 18. Схема регистрации рентгеновского излучения детектором прямого преобразования

#### 4. Сравнительные характеристики цифровых приемников рентгеновского излучения

В таблице 3, представленной ниже, приведены характеристики реальных рентгенодиагностических аппаратов с ЦПРИ, собранные автором.

Таблица 3. Характеристики цифровых систем регистрации

Название аппарата	РЕНЕКС-Флюоро	D <sub>B</sub> R	ПРО – СКАН 2000	Fuji 500	Siemens	Canon 4000
Фирма	Гелпик	SwissRay	Амико	Fuji	Siemens	Canon
Страна	Россия	Швейцария	Россия	Япония	Германия	Япония
Тип ЦПРИ	Экран, оптика, ПЗС-матрица	Экран, оптика, ПЗС-матрица	Сканирующая линейка	Фотостимулируемый люминофор	Si матрица +экран	Si матрица +селеновый слой
Рабочее поле, мм	390*390	350*430	380*380	400×400	400*400	400*400
Число матриц	1	4	нет	1	1	1
Число пикселей	1000*1000	2000*2000	1520	4000*4000	3200	4000*4000
Простр. разрешение, п.л./мм	1,4	2,3	2,0	5,0	4,0	5,0
Контр. чувств., %	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	0,8
Дин. диапазон, раз	>150	200	>150	250	>150	300
Доза на кадр, мР	1	1	0,6	0,8	0,7	0,4
Усредненная квантовая эфф-сть, %	20	20	60	60	50	70

Качество радиографического изображения обычно оценивается исходя из его статистической значимости (отношение сигнал/шум) и пространственного разрешения, которые в значительной степени зависят от характеристик пучка излучения, условий проведения измерений и характеристик детектора. Очевидно, что возможности получения качественного изображения, прежде всего, определяются эффективностью регистрации и пространственным разрешением детектора.

При определении эффективности регистрации обычно используется понятие квантовой эффективности регистрации, определяемой выражением:

$$DQE = (S_{out}/\delta S_{out})^2 / (S_{in}/\delta S_{in})^2,$$

где  $S_{in}$ ,  $S_{out}$ ,  $\delta S_{in}$ ,  $\delta S_{out}$  - сигналы на входе и выходе детектора и их шумы, соответственно.

Входным сигналом является полный поток квантов излучения за время регистрации  $T$  через площадку, соответствующую пикселю изображения.

В случае ПЗС-детектора - это поток через площадку люминесцентного экрана детектора, проецируемую на элемент ПЗС-матрицы. Если  $m$  - коэффициент уменьшения изображения,  $p$  – линейный размер элемента матрицы,  $F$  - плотность потока нейтронов, то входной сигнал  $S_{in}=FT(mp)^2$ . При этом шум входного сигнала  $\delta S_{in}=(S_{in})^{1/2}$ .

Для оценки величины выходного сигнала, вызванного квантами излучения, попадающими на вход детектора, а также для оценки шумов этого сигнала необходимо учитывать физические процессы, происходящие при регистрации излучения.

Считываемый с матрицы выходной сигнал  $S_{out}$ , кроме полезной составляющей  $S$ , вызванной потоком излучения, имеет составляющую, обусловленную тепловой генерацией носителей в полупроводнике (темновой ток матрицы). Шум выходного сигнала содержит также составляющую, обусловленную шумами считывающей электроники. Для используемой матрицы среднеквадратичное отклонение шума считывания  $\Omega$  составляет  $20e^-$ . Шум темнового тока определяется скоростью тепловой генерации электронов в элементе матрицы  $G$  и временем регистрации изображения  $T$  и определяется как  $\sqrt{GT}$  ( $G=8e^-/c$  на элемент матрицы). В связи с этим шум выходного сигнала матрицы может быть представлен в виде:

$$\delta S_{out}=[(\delta S)^2 + GT + \Omega]^2$$

Для оценки пространственного разрешения радиографического детектора используются понятия функции рассеяния линии (LSF)-изображение линейного источника нейтронов на экране, и функции рассеяния точки (PSF)-изображение точечного источника.

Сложность в оценке квантовой эффективности и пространственного разрешения того или иного детектора состоит в правильном моделировании процессов, происходящих в детекторе с учетом их стохастического характера.

## 5. ОПИСАНИЕ ПЗС-ПРИЕМНИКА И ПОРЯДОК РАБОТЫ С НИМ

### 5.1. Состав

#### 5.1.1. Электронные блоки:

- электронно-оптический преобразователь ЭПМ28Г;
- ПЗС-матрица типа «КЕВЛАР-М» формата 768x580 с размером ячеек (пикселя изображения) 27x27 мкм и динамическим диапазоном  $\sim 10^4$ ; темновой ток матрицы составляет около 5 электронов/пиксель, шумы электронных узлов считывания информации около 50 электронов/пиксель;
- Пельтье-холодильник, служащий для уменьшения темнового тока ПЗС-матрицы до  $\approx -40^\circ\text{C}$ ;
- блок управления ПЗС-матрицей;
- интерфейсная плата для управления работой приемника;
- низковольтный источник питания ПЗС-матрицы;
- высоковольтный источник питания электронно-оптического преобразователя (ЭОП);
- соединительные кабели.

5.1.2. Программное обеспечение (ПО) “Introscope”, служащее для настройки параметров приемника, экспозиции, вывода радиографического изображения на экран монитора и математических операций с изображениями.

5.1.3. Люминесцентный экран-преобразователь ионизирующего излучения.

5.1.4. Зеркало для поворота изображения.

5.1.5. Корпус.

### 5.2. Устройство

Блок-схема приемника показана на рисунке 19. Конструктивно приемник выполнен в виде нескольких отдельных блоков:

- блока детектирования;
- персональной ЭВМ;
- блока питания ПЗС-матрицы и ЭОП;
- интерфейсной платы.

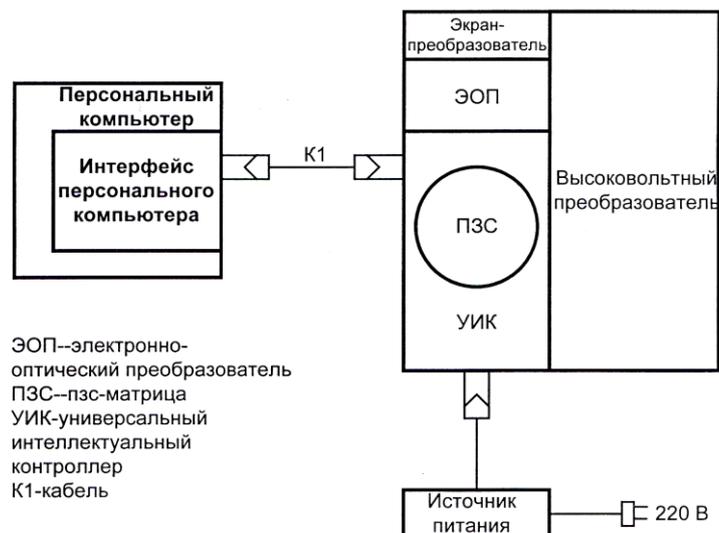


Рисунок 19. Блок-схема ПЗС-приемника

Блок детектирования (см. рисунок 11) включает в себя:

- сцинтилляционный экран-преобразователь (СЭП), преобразующий попадающие в него кванты ионизирующего излучения в сцинтилляционные вспышки;
- элементы оптической системы, предназначенной для передачи и трансформации оптических сигналов от сцинтилляционных вспышек;
- электронно-оптический преобразователь (усилитель) слабых световых сигналов (ЭОП); ПЗС-матрицу в качестве регистратора оптического изображения, блок питания;
- блок управления, сбора и обработки экспериментальных данных, состоящий из персонального компьютера с интерфейсной платой для связи с блоком детектирования.

#### 5.2.1. Сцинтилляционный экран-преобразователь

Конструктивно СЭЗ выполнен в виде тонкого слоя люминофора, тип которого зависит от вида регистрируемого излучения. В частности, при регистрации тепловых нейтронов и рентгеновского излучения в качестве СЭЗ может использоваться слой порошкового люминофора Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Tb.

#### 5.2.2. Оптическая схема блока детектирования (рисунок 11)

Оптическое изображение, возникающее на поверхности СЭП (6) с помощью входного объектива (4) попадает на входное окно ЭОП (3), где усиливается и через масштабирующий объектив (2) поступает на ПЗС-матрицу (1), служащую в качестве фотоприемного устройства.

#### 5.2.3. Электронно-оптический преобразователь

Основные характеристики электронно-оптического преобразователя представлены в таблице 4. ЭОП с микроканальным усилением имеет мультищелочной фотокатод, электростатическую фокусирующую систему с оборачиванием изображения, одну

микроканальную пластину (МКП). Для ввода и вывода оптического сигнала используются волоконно-оптические пластины.

Таблица 4. Основные параметры электронно-оптического преобразователя

ЭОП	Размер рабочего поля, мм	Коэффициент усиления яркости		Предел разрешения, отнесенный к экрану, штрих/мм		Яркость темнового тока, Кд/м <sup>2</sup>	
		УМКП 850 В	УМКП 900 В	Центр	Край	УМКП 850 В	УМКП 900 В
Тип - индивидуальный №10	80	1,76x10 <sup>6</sup>	2,6x10 <sup>6</sup>	28	22	3,5x10 <sup>-5</sup>	9x10 <sup>-3</sup>

#### 5.2.4. ПЗС-матрица

В качестве приемника оптических сигналов использовалась ПЗС-матрица типа “Kevlar” прямоугольной формы размером 20x16 мм, имеющая 768 пикселей по оси X и 576 пикселей по оси Y. Размер каждого пикселя составляет 27x27 мкм. Оцифровка сигналов производится в 16 бит формате. Темновой ток матрицы составляет около 5 электронов/пиксель, шумы электронных узлов считывания информации около 50 электрон/пиксель. Для уменьшения темнового тока матрицы она охлаждалась до – 400С с помощью встроенного холодильника Пельтье.

#### 5.2.5. Персональный компьютер и требования к нему

Управление работой блока детектирования в период набора информации осуществляется через интерфейсную плату стандарта PCI, с помощью персонального компьютера со следующими характеристиками: объем оперативной памяти 512 Мбайт, процессор Pentium 4 с тактовой частотой 2–3 ГГц, объем винчестера 40 – 80 Гбайт, видеокарта с объемом не менее 8 Мбайт.

Связь между интерфейсной платой и блоком детектирования осуществляется по кабелю «витая пара», допускающему удаление ПК от действующей системы до 50 м.

#### 5.2.6. Программа управления работой приемника и представления результатов

Программное обеспечение состоит из программы «Introscope», работающей в среде Windows 2000 или Windows XP.

Управление работой приемника в период набора информации и при первичной обработке информации осуществлялось через стандартную интерфейсную плату стандарта PCI, размещенную в одном из слотов ПЭВМ со следующими характеристиками: объем оперативной памяти не менее 512 Мбайт, процессор Pentium 4 с тактовой частотой не менее 2–3 ГГц, объем винчестера не менее 40 – 80 Гбайт, видеокарта с объемом не

менее 8 Мбайт. Связь между интерфейсной платой и блоком электроники детектирующей систему производилась по кабелю «витая пара» длиной до 30 м.

Программа “Introscope” позволяла осуществлять следующие операции:

- установка времени набора информации в диапазоне 0,1–65536 сек,
- установка напряжения на ЭОП в диапазоне 600–900 вольт,
- запуск режима набора информации в соответствии с установленными параметрами,
- автоматическая остановка набора по истечении выбранного интервала времени,
- считывание информации с ПЗС-матрицы и ее оцифровка в 16 бит формате,
- запись в буферную память и вывод двумерного изображения на экран монитора.

В режиме предварительной обработки информации программа “Introscope” дает возможность выполнять следующие действия: коррекцию гистограммы распределения яркости изображения, установку цветовой палитры изображения, масштабирование изображения, определение величины сигнала, зарегистрированного в каждом пикселе, выделений области интереса (ROI), интегрирование по этой области, сохранение информации как по выделенной области, так и по всему изображению, в определенном пользователем файле.

Файлы сохраняются в формате “FITS”, содержащим специальный заголовок, в котором содержатся все данные о предустановках программы и параметрах файла. Кроме того, программа “Introscope” дает возможность провести простейшие арифметические действия с полученными изображениями, как-то сложение, вычитание, умножение, нормирование (деление). Результат применения арифметических операций также может быть сохранен в виде отдельного файла.

Запуск программы “Introscope” осуществляется с помощью ярлыка CCD\_new, находящегося на рабочем столе. На рисунке 20 показано рабочее окно программы.

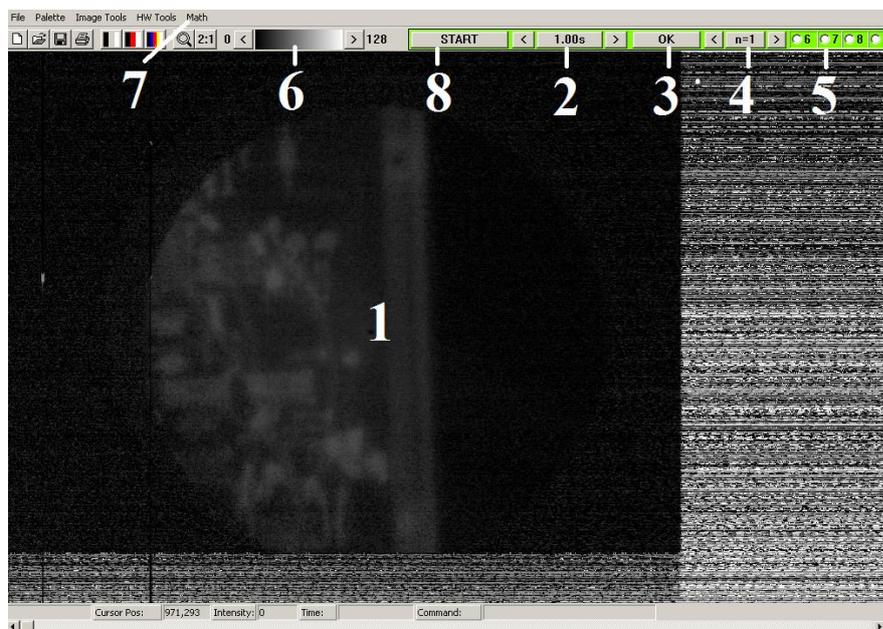


Рис.20. Рабочее окно программы “Introscope”. 1 – рабочая область (изображение, получаемое с выхода приемника); 2 – инструмент для установки времени набора информации; 3 – подтверждение установленного времени набора; 4 – количество циклов получения информации с установленным временем набора; 5 – инструмент для подачи напряжения на приемник (цифры соответствуют значениям 600, 700, 800, 900 В); 6 – шкала чувствительности; 7 – вызов подпрограммы математической обработки изображений; 8 – кнопка запуска набора информации.

Изображения, полученные с использованием программы “Introscope” могут быть открыты с использованием программы Image\_J (экземпляр программы, и информацию о порядке работы с ней можно получить у преподавателя во время выполнения работы).

**Примечание:** программа “Introscope” работает под управлением операционной системы Windows2000. Компьютер, используемый для проведения лабораторных работ, позволяет загружать одну из двух операционных систем на выбор: либо Windows2000 либо Windows98. Необходимость использования системы Windows98 возникает при работе с другим приемником рентгеновского изображения (на основе энергонакапливающего люминофора), о котором будет рассказано дальше.

### **5.3. Подготовка к работе**

- 5.3.1. Вставить интерфейсную плату в свободный слот ПЭВМ.
- 5.3.2. Соединить кабелем блок питания с блоком управления ПЗС-матрицей.
- 5.3.3. Соединить кабелем блок управления ПЗС-матрицей с входом интерфейсной платы.
- 5.3.4. Включить в сеть ПЭВМ.
- 5.3.5. Загрузить и запустить программу “Introscope”.

5.3.6. Включить в сеть блок питания ПЗС-приемника.

5.3.7. С помощью ПО выбрать режим работы приемника:

- напряжение питания ЭОП;
- время экспозиции (накопления изображения) одного кадра;
- количества суммируемых кадров в ПЗС-матрице.

5.3.8. Запустить экспозицию ПЗС-матрицы.

5.3.9. Проверить правильность выбора режимов работы приемника по качеству полученного изображения и, в случае необходимости, скорректировать их.

### **ВНИМАНИЕ !**

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ВКЛЮЧАТЬ ПОДАВАТЬ НАПРЯЖЕНИЕ НА ПЗС-ПРИЕМНИК  
ПРИ СНЯТОМ ВХОДНОМ ФЛАНЦЕ (ЗАЩИТНОМ КОЖУХЕ)**

**ЭТО МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К ЗАСВЕЧИВАНИЮ ЭОП И ВЫХОДУ ЕГО ИЗ СТРОЯ**

## **6. ОПИСАНИЕ ПРИЕМНИКА НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОНАКАПЛИВАЮЩЕГО ЛЮМИНОФОРА И ПОРЯДОК РАБОТЫ С НИМ**

### **6.1. Состав**

- считыватель BAS-2500;
- пластина люминофора;
- кассета;
- ПЭВМ;
- программное обеспечение “Image Reader”;
- очиститель пластин люминофора;
- SCSI заглушка;
- соединительные кабели.

### **6.2. Устройство**

Конструктивно приемник выполнен в виде следующих блоков:

- считыватель BAS-2500 (см. рисунок 21);
- ПЭВМ;

- очиститель пластин люминофора (рис.21);
- пластина с энергонакапливающим люминофором (рис.22);
- кассета для пластин люминофора (рис.23).



Рис.21. На фотографии: 1 – считыватель BAS-2500; 2 – очиститель пластин.

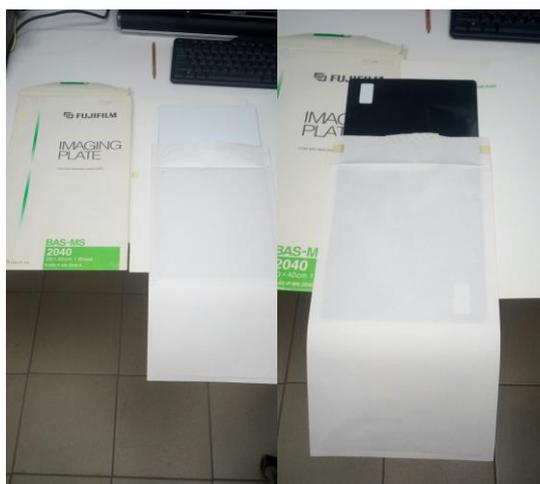


Рис.22. Пластина с энергонакапливающим люминофором в защитном конверте (упаковке): показаны изображения лицевой (белой) и тыльной (черной) сторон



Рис.23. Кассета для установки пластин люминофора

Установка пластины люминофора в кассету для осуществления облучения тестового образца, или выгрузка пластины из кассеты с последующим размещением в считыватель или же в очиститель должна осуществляться с использованием тряпичных перчаток, которые могут быть получены у лаборанта.

Запрещается касаться открытыми участками кожи до лицевой (белой) стороны пластины люминофора, т.к. это может привести к порче пластины.

Установка пластины в кассету осуществляется её лицевой стороной к координатной сетке, которую можно увидеть внутри кассеты.

На рисунке 24 показан интерфейс программы считывания изображения Image Reader.

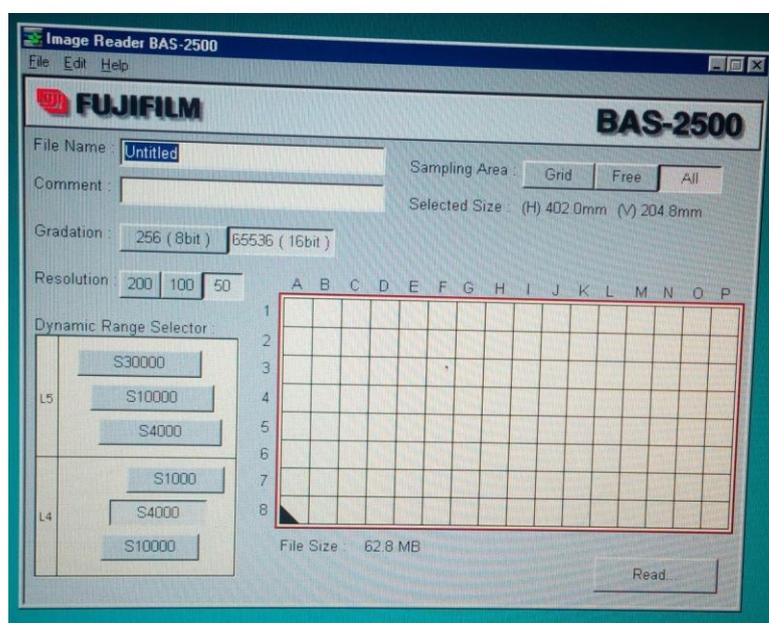


Рис.24. Интерфейс программы Image Reader.

Данная программа позволяет выбрать требуемый режим считывания пластины Image Plate, с учетом особенностей экспозиции, которой она была подвергнута, а также с учетом особенностей самой пластины. Рекомендуемые параметры программы в процессе выполнения лабораторной работы сообщит преподаватель/лаборант.

Файл изображения представляет собой совокупность двух файлов формата .IMG и .INF. Данные файлы также могут быть открыты в программе Image\_J с использованием плагина ISAC Manager. Программа Image\_J и плагин ISAC Manager позволяют сохранить открытые файлы изображений в наиболее распространенных форматах изображений без потери качества (BMP, PNG и др.).

**Примечание:** ввиду невозможности запуска программы считывания изображений Image Reader на системах новее, чем Windows98, файлы полученных изображений необходимо скинуть на USB-флешку (находится у лаборанта), после чего, на другом компьютере уже производить перевод изображения в более распространенный формат или его обработку. Данные процедуры также можно проводить на домашнем компьютере, т.к. Image\_J с плагином ISAC Manager является свободно распространяемым программным обеспечением.

### **6.3. Подготовка к работе**

6.3.1. Включить ПЭВМ, очиститель и BAS-2500.

6.3.2. Загрузить программу считывания изображений Image Reader с помощью ярлыка на рабочем столе.

6.3.3. Вставить пластину IP в очиститель.

6.3.4. После автоматического выключения очистителя вынуть из него пластину IP и вложить в кассету.

6.3.5. Поместить кассету с IP в позицию облучения (в случае облучения).

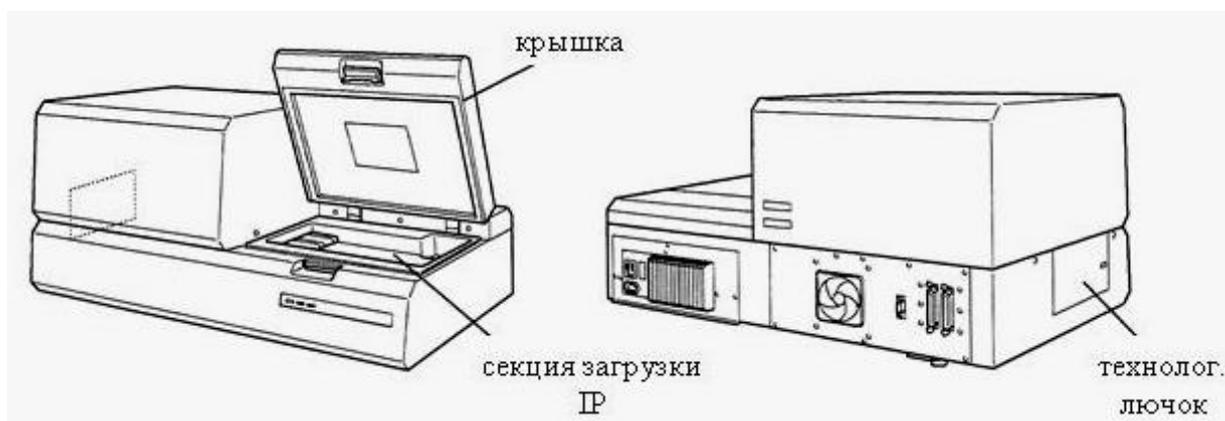
6.3.6. По окончании облучения перенести кассету к считывателю BAS-2500, вынуть пластину IP из кассеты и положить в секцию для загрузки (см. рисунок 25 ).

6.3.7. Произвести считывание накопленного изображения.

6.3.8. По окончании считывания вынуть пластину IP из секции для загрузки.

6.3.9. Проверить правильность выбора времени экспозиции кассеты (в случае облучения) по качеству полученного изображения и, в случае необходимости, скорректировать его.

6.3.10. Поместить в секцию для загрузки не очищенную пластину IP и произвести ее считывание.



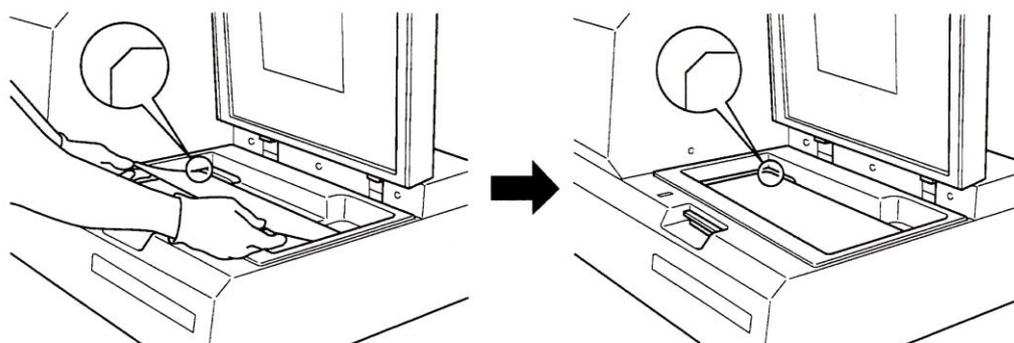


Рисунок 25. Устройство и порядок загрузки пластины IP

## ОПИСАНИЕ ТЕСТОВОГО ОБЪЕКТА.

Тестовый объект представляет собой электронную плату, имеющую в своём составе различные радиоэлектронные компоненты (микросхемы, резисторы, конденсаторы и др.). На одну из сторон тестового объекта установлен эталонный образец (пластинка с системой штрихов), параметры которого могут быть получены у преподавателя/лаборанта. Эталонный образец предназначен для получения информации о разрешении изображения, и его геометрических характеристиках (размеры).

## 7. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

- 7.1. Подготовить РА к работе.
- 7.2. Задать минимальные установочные данные для напряжения и тока рентгеновской трубки.
- 7.3. Подготовить к работе ПЗС-детектор и установить его на расстоянии 1 м напротив фокуса трубки.
- 7.4. Произвести измерения темнового тока от времени экспозиции при различных напряжениях на ЭОП.
- 7.5. Подготовить к работе считыватель BAS-2500 и очиститель пластин эргонакапливающего люминофора (IP).
- 7.6. Очистить одну из пластин IP.
- 7.7. Произвести считывание очищенной и не очищенной пластин IP и сохранить их изображения.

- 7.8. Оценить величину сигнала, полученного с очищенной и не очищенной пластин IP.
- 7.9. Установить перед ПЗС-детектором тестовый образец.
- 7.10. Включить в работу РА.
- 7.11. Получить изображение тестового образца с помощью ПЗС-детектора в одном из режимов его работы.
- 7.12. При необходимости изменить режим работы ПЗС-детектора и повторить п. 7.11.
- 7.13. Поставить вместо ПЗС-детектора пластину IP и разместить рядом с ней тестовый объект.
- 7.14. Включить в работу РА.
- 7.15. Экспонировать IP и тестовый образец в рентгеновском пучке.
- 7.16. Произвести считывание облученной пластины IP.
- 7.17. При необходимости изменить режим работы РА и повторить п. 7.15.
- 7.18. Сравнить основные характеристики изображений, полученных с помощью ПЗС-приемника и приемника на основе пластины IP.

## **8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

- 8.1. Титульный лист с названием лабораторной работы, фамилией и группой.
- 8.2. Цель работы.
- 8.3. Блок-схема РА.
- 8.4. Таблица с основными техническими характеристиками РА.
- 8.5. Структурные схемы ПЗС-приемника и приемника на основе энергонакапливающего люминофора.
- 8.6. Таблица с основными техническими характеристиками обоих приемника.
- 8.7. График зависимости темнового тока ПЗС-матрицы от времени экспозиции при различных напряжениях на ЭОП.
- 8.8. Изображения тестовых образцов, полученные с помощью ПЗС-приемника и системы на основе энергонакапливающего люминофора.
- 8.9. Выводы о проделанной работе согласно цели.

## **9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 9.1. Назначение рентгеновского аппарата РАПАН М 200/100.
- 9.2. Состав и краткая характеристика блоков рентгеновского РА.
- 9.3. Назначение и основные органы управления блока питания рентгеновского аппарата.
- 9.4. Меры электрической безопасности при эксплуатации РАПАН М 200/100.
- 9.5. Меры радиационной безопасности при эксплуатации РАПАН М 200/100.
- 9.6. Подготовка к работе рентгеновского аппарата РАПАН М 200/100.
- 9.7. Выбор режимов работы рентгеновского аппарата РАПАН М 200/100.
- 9.8. Классификация радиографических приемников (регистраторов).
- 9.9. Основные типы цифровых регистраторов.
- 9.10. Что такое прямое и не прямое преобразование излучения ?
- 9.11. Чем отличаются цифровые системы регистрации от пленочных?
- 9.12. Основные характеристики цифрового регистратора.
- 9.13. Устройство ПЗС-приемника и принцип его работы.
- 9.14. Выбор режима работы ПЗС-приемника.
- 9.15. Происхождение темнового тока ПЗС-матрицы.
- 9.16. Что такое фотостимулированная люминесценция ?
- 9.17. Устройство и принцип работы пластин энергонакапливающего люминофора.
- 9.18. Сравнительный анализ характеристик ПЗС-приемника и приемника на основе энергонакапливающего люминофора.

## **10. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

- [1] В.В. Ключев. Рентгенотехника. Справочник в 2-х кн. М: Машиностроение, 1992.
- [2] ВНИИА – Рентгеновские аппараты. [www.vniia.ru](http://www.vniia.ru)
- [3] Рентгеновские аппараты ICM Site X. [www.ekolinknk.ru/\\_\\_\\_Site-X.pdf](http://www.ekolinknk.ru/___Site-X.pdf)
- [4] Портативные рентгеновские аппараты BALTOSPOT. [www.balteau-ndt.ru](http://www.balteau-ndt.ru)

- [5] Рентгеновский контроль. [www.megaltd.ru](http://www.megaltd.ru)
- [6] Рентгенографический контроль. [www.mnpro-spectr.ru](http://www.mnpro-spectr.ru)
- [7] Рентгеновские технологии. [www.x-pro.spb.ru](http://www.x-pro.spb.ru)
- [8] А.А. Майоров. Рентгеновское телевидение в промышленном НК / В мире НК - № 1 - 2007.
- [9] А.А. Майоров. Цифровые технологии в неразрушающем контроле. [www.s-ng.ru](http://www.s-ng.ru)
- [10] Б.И. Леонов, Э.Б. Козловский, Н.Н. Блинов, А.Н. Гуржиев. Сравнительные характеристики цифровых флюорографов / Медицинская техника – № 6 – 2004.
- [11] Н.Н. Блинов, А.Ю. Васильев. Современное состояние цифровой рентгенологии в России / Медицинский бизнес – № 4 – 2005.
- [12] В.Н. Линева. Сканирующие технологии в цифровой рентгенодиагностике / Рентгенология-практика. – №3 – 2003.
- [13] R.M. Harrison, "Digital radiography – a review of detector design", Nucl. Instr. and Meth. A310 (1991) 24-34.

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Питание РА осуществляется от сети переменного тока с частотой 50 (60) Гц напряжением 220 В с допустимым отклонением от минус 15 до плюс 10 %. Ток, потребляемый РА от сети, не более 1 А.

### ВНИМАНИЕ!

**ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ "УДЛИНИТЕЛЕЙ" СОЕДИНЕНИЕ С СЕТЬЮ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ ПРИ ПОМОЩИ ТРЕХПОЛЮСНОЙ ВИЛКИ С ЗАЗЕМЛЕНИЕМ.**

2. Мощность поглощенной в воздухе дозы рентгеновского излучения на расстоянии 0,5 м от торца МБ в направлении излучения при анодном напряжении 200 кВ не менее 26,2 мГр/мин (3,0 Р/мин).

3. Напряжение на аноде РТ изменяется в диапазоне от 100 до 200 кВ с шагом 5 кВ. Номинальная мощность на аноде РТ 80 Вт.

4. Номинальный размер эффективного фокусного пятна РТ 2,3 мм. Расположение фокусного пятна по оси МБ отмечено цветной меткой на его корпусе.

5. Радиографическая чувствительность для проволочных эталонов чувствительности при толщине просвечиваемой стали 15 мм не более 2 %.

6. Плотность почернения пленки Д7 при толщине просвечиваемой стали 25 мм, номинальном напряжении на аноде РТ и расстоянии 500 мм не менее 2.

### ВНИМАНИЕ!

**НАПРЯЖЕННОСТЬ РАБОЧЕГО ЦИКЛА, Т.Е. ОТНОШЕНИЕ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ В РЕЖИМЕ ЭКСПОНИРОВАНИЯ К ОБЩЕЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛА (ЭКСПОНИРОВАНИЕ И ПЕРЕРЫВ), СОСТАВЛЯЕТ НЕ БОЛЕЕ:**

– 30 % ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НЕ БОЛЕЕ 25 °С;

– 20 % ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ПЛЮС 25 до ПЛЮС 40 °С.

**ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ПЛЮС 30 до ПЛЮС 40 °С И ПРИ ПЕРЕХОДЕ РА НА РЕЖИМ ОГРАНИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЭКСПОЗИЦИИ 400 с НЕОБХОДИМО ВЫКЛЮЧИТЬ РА И ДОЖДАТЬСЯ ОСТЫВАНИЯ МБ ДО ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.**

7. Время экспозиции устанавливается в диапазоне от 30 до 990 с. Верхний предел времени экспозиции автоматически ограничивается в процессе работы исходя из степени нагрева МБ. Зависимость установки максимального времени экспозиции от степени нагрева МБ показана на рисунке 10.

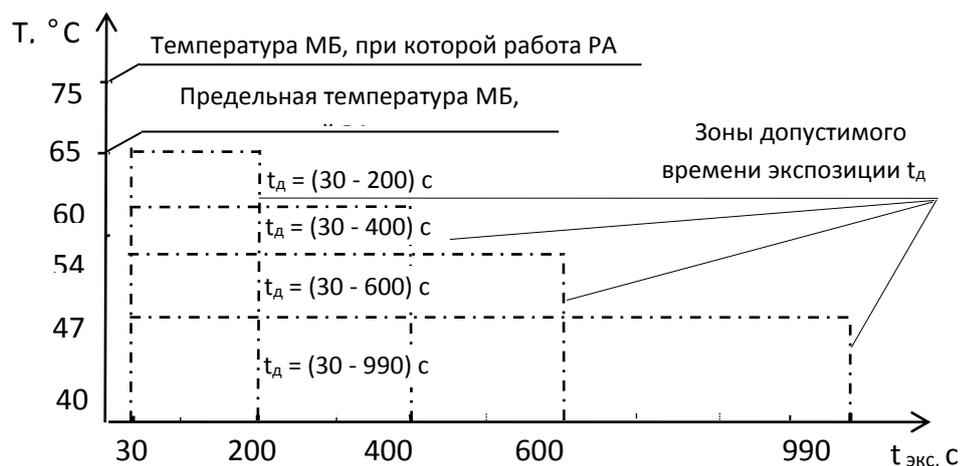


Рисунок 10. Зависимость максимального времени экспозиции от степени нагрева МБ

Если экспозиция началась при температуре МБ в интервале от плюс 60 до плюс 65 °С, то в процессе экспонирования МБ может нагреться до температуры более 65 °С. В этом случае экспозиция обрабатывается до окончания отсчета установленного времени, но по окончании экспозиции на индикаторе "с" на ПУ высветится код сообщения "ЕЗ".

Если в процессе экспонирования МБ нагреется до температуры более 75 °С, то работа РА будет блокирована, а на ПУ высветится информация:

- на индикаторе "с" код сообщения "ЕЗ";
- на индикаторе режима буква "А".