

На правах рукописи

**Алхимов Василий Юрьевич**

**РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ГАЗОРАЗРЯДНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ  
ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-МОДУЛИРОВАННЫХ ПОЛЕЙ  
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НАНО- И ПИКОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ  
И СОЗДАНИЕ ПРИБОРОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НА ЕГО ОСНОВЕ**

**Специальность 05.11.13. - «Приборы и методы контроля природной среды, веществ,  
материалов и изделий»**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

Томск – 2008

Работа выполнена в Томском политехническом университете, г. Томск.

Научный руководитель: Кулешов Валерий Константинович,  
д.т.н. профессор,  
Томский политехнический университет,  
г. Томск.

Официальные оппоненты: Алексей Григорьевич Якунин  
д.т.н., профессор, АлГТУ им. И.И.Ползунова,  
г.Барнаул

Вавилов Станислав Платонович  
к.т.н., доцент, Томский политехнический университет,  
г. Томск

Ведущая организация: ООО НИИ ТКБ «Проект», г.Томск

Защита диссертации состоится 30 декабря 2008 г. в 11-00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.004.06 Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова по адресу:  
656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина,46.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И.Ползунова.

Автореферат разослан: «\_\_» ноября 2008г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



Д. Е. Кривобоков

## Общая характеристика работы

Представляемая работа направлена на решение проблемы разработки приборов для регистрации импульсных полей ионизирующих излучений, обладающих высокой чувствительностью, простотой и технологичностью, и разработки аппаратуры неразрушающего контроля на их основе.

### Актуальность работы

Рентгеновское излучение применяется в науке и технике уже более 100 лет. Широкое распространение рентгеновские методы нашли в неразрушающем контроле в промышленности и в медицине. Это объясняется высокой информативностью этих методов, которые позволяют получить теневую картину контролируемого объекта. Но рентгеновское излучение обладает существенным недостатком – оно вредно воздействует на живые организмы. Поэтому разработка новых детекторов рентгеновского излучения, обладающих высокой чувствительностью является актуальной задачей. Полученные результаты дают возможность разрабатывать переносные недорогие системы рентгеновского контроля для применения в медицине, промышленности, на транспорте

Цель работы - разработка и оптимизация высокочувствительного газоразрядного преобразователя рентгеновского излучения для визуализации полей импульсного рентгеновского излучения наносекундной и субнаносекундной длительности и создание на его основе малодозового прибора неразрушающего контроля объектов в промышленности, технике, в области обеспечения безопасности перевозок на транспорте и медицине.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Исследование процессов взаимодействия рентгеновского излучения с конструктивными материалами преобразователя, оптимизация конструкции и применяемых материалов для получения скрытого изображения с требуемыми параметрами.
2. Исследование процессов развития газового разряда в условиях множественного развития параллельных лавин, процессов усиления скрытого первичного изображения. Выбор оптимального газового наполнения.
3. Исследование процессов распространения видимого излучения в собственном газе и способов повышения светоотдачи.
4. Исследование характерных времен процессов преобразования импульсного рентгеновского излучения в видимое. Решение проблемы синхронизации коротких рентгеновских импульсов и импульсов питания преобразователя.
5. Разработка структурных и принципиальных схем приборов на основе ГРП.
6. Проведение экспериментальных исследований параметров ГРП в различных режимах работы и его применимости для решения задач в неразрушающем контроле.

### Научная новизна работы

1. Разработан новый газоразрядный преобразователь рентгеновского излучения в видимое, позволивший получить изображения пространственного распределения полей импульсного рентгеновского излучения при длительности импульса излучения менее 500 пс и дозе излучения в плоскости преобразователя не более 10 мкР ( $2.58 \cdot 10^{-9}$  Кл/кг).
2. Теоретически оценена роль вторичных механизмов в развитии разряда и их вклад в конечный коэффициент усиления первичной ионизации, проведены экспериментальные измерения яркости свечения преобразователей и коэффициента газового усиления, которые удовлетворительно согласуются с теоретическими оценками;
3. Экспериментально исследованы временные параметры преобразователя: время памяти (время, в течение которого сохраняется без рекомбинации первичная ионизационная картина), и зависимость этого параметра от добавок электроотрицательных газов (воздух, кислород), а также зависимость качества получаемого изображения от длительности временной задержки импульса высоковольтного питания относительно импульса рентгеновского излучения; сформулированы технические требования к источникам импульсного высоковольтного питания преобразователей;
4. Реализован квазистационарный режим питания газоразрядного преобразователя при котором импульс рентгеновского излучения длительность менее 1 нс накладывается на высоковольтный импульс питания преобразователя, в результате чего повышается коэффициент использования рентгеновского излучения и в 5 раз повышается дозовая чувствительность преобразователя.

### Практическая ценность работы

1. Разработанный макет рентгеновского интроскопа на основе ГРП обладает повышенной радиационной безопасностью, уменьшенными габаритами и весом. Продемонстрирована возможность использования интроскопа на основе ГРП для решения ряда актуальных задач в неразрушающем контроле: контроль содержимого багажа, в том числе в нестационарных условиях, регистрация динамических процессов за непрозрачными преградами, противодействие террористической деятельности. Показана перспективность применения прибора для целей медицинской диагностики.

2. ГРП позволяет получать изображения объектов контроля при его облучении импульсным рентгеновским излучением с длительностью импульса до 100 нс при дозе облучения  $\sim 10$  мкр/имп с разрешением 1 линия/мм.

Результаты работы используются в учебном процессе при обучении студентов ТПУ в курсе «Радиационный контроль», а также в ООО НИИ ТКБ «Проект» для разработки экспериментальных образцов приборов неразрушающего контроля на основе газоразрядных преобразователей рентгеновского излучения в видимое.

Научные исследования проводились в рамках гранта РФФИ № 06-08-00772, 2006-2007 г.г. «Исследование инициированного рентгеновским излучением плоскостного многоканального разряда в инертных газах при атмосферном давлении».

#### Тезисы выносимые на защиту

1. Использование газоразрядного преобразователя рентгеновского излучения в видимое в качестве детектора импульсного рентгеновского излучения наносекундной длительности позволяет строить приборы неразрушающего контроля работающих в режиме регистрации изображения объекта контроля за один импульс рентгеновского излучения. Доза получаемая объектом контроля составляет 10мкР;
2. Учет процессов ассоциативной ионизации и фотоионизации атомов резонансными фотонами, распространяющимися на крыльях спектральных линий, позволяет провести теоретический расчет коэффициента усиления первичной ионизации и оценить яркость свечения ГРП удовлетворительно согласующиеся с экспериментальными измерениями;
3. Результаты экспериментальных исследований времени памяти преобразователя и зависимость этого параметра от добавок электроотрицательного газа (воздух), а также зависимости качества получаемого изображения от длительности временной задержки импульса высоковольтного питания относительно импульса рентгеновского излучения;
4. Применение квазистационарного режима питания позволяет использовать в качестве рабочего газа воздух и снизить требуемую дозу облучения объекта контроля в 5 раз при сохранении качества получаемого изображения.

### Апробация работы

Результаты работы, отраженные в диссертационной работе, доложены и обсуждены на международных конференциях:

- VIII Международной научно –практической конференции «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики», г. Новочеркасск, 28 сентября 2007 г.
- XIII International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists «Modern techniques and technologies» - Томск, 26-30 марта 2007 г.
- XI международной научно-практической конференции «Качество - стратегия XXI века» - Томск, 6 - 7 декабря 2006.
- X Международной научно-практической конференции «Качество-стратегия XXI века» - Томск, 7-8 декабря 2005.
- 11th International Conference «Modern technique and technologies МТТ2005» Томск, 29.03-2.04 2005г.

### Публикации

Основные результаты исследований отражены в 11 публикациях, в том числе 5 в рецензируемых научных изданиях.

### Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируется цель и задачи исследований, кратко излагается содержание глав, отмечается научная новизна работы.

Первая глава посвящена общим принципам работы газоразрядных преобразователей рентгеновского излучения в видимое.

Газоразрядный преобразователь рентгеновского изображения в видимое (ГРП) представляет из себя газовый детектор ионизирующего излучения. Газоразрядные преобразователи разработаны на базе искровых камер, применяемых в ядерной физике для регистрации треков элементарных частиц. В ГРП для визуализации поля рентгеновского излучения используется коллективный разряд, т.е. используется приблизительно  $10^2 - 10^4$  искр на  $\text{см}^2$ , развивающихся одновременно, которые формируют плоское видимое изображение объекта контроля. Таким образом, ГРП сочетает в себе свойства детектора рентгеновского излучения и усилителя яркости видимого изображения.

Схематично современная конструкция отпаянного ГРП с резистивным слоем представлена на рисунке 1.

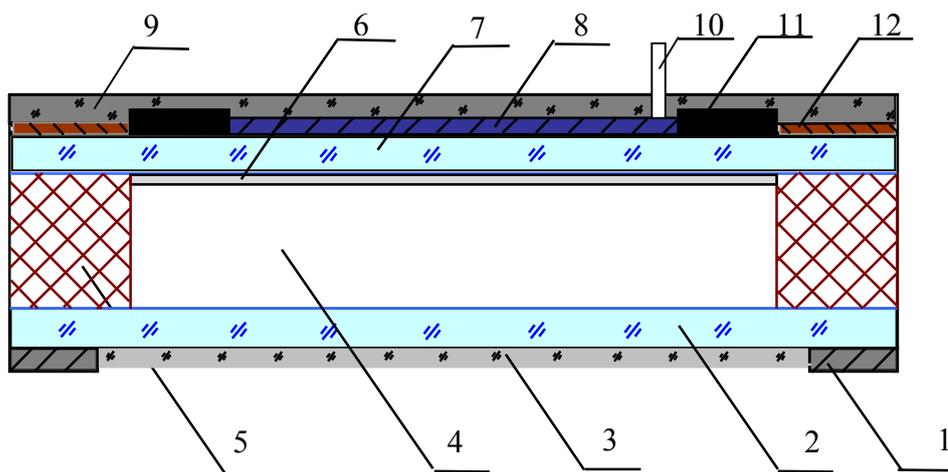


Рис. 1. Современная конструкция ГРП.

1 - контактные дорожки из напыленного Al; 2,7 - стеклянные подложки; 3 - прозрачный электрод, пленка SnO<sub>2</sub>; 4 - газоразрядный объем; 5 - диэлектрическая рамка; 6 - люминофорный слой; 8 - непрозрачный электрод; 9 - защитная пленка из органического полимера; 10 - вывод непрозрачного электрода; 11- резистивный слой; 12- выравнивающий электрод

Процесс формирования видимого изображения в газоразрядном преобразователе можно разделить на 4 стадии:

- Формирование скрытого электронно-ионного изображения, образующегося в газовом объеме преобразователя под действием импульса ионизирующего излучения;
- Развитие электронных лавин из центров ионизации под действием приложенного импульса высокого напряжения;
- формирование оптического излучения (видимого и ультрафиолетового) и его распространение в газовом объеме;
- Конвертирование ультрафиолетового излучения в видимое на люминофорном слое.

Скрытое электронно-ионное изображение образуется в газовом объеме преобразователя под действием ионизирующего излучения. Характеристики рентгеновского излучателя (длительность импульса излучения, его спектральный состав, доза излучения), а также конструктивные параметры ГРП (состав газа, его атомный номер и давление, величина газового зазора, материал и толщина переднего и заднего электродов) оказывают влияние на параметры пространственного распределения образующихся под действием рентгеновского излучения электронно-ионных пар и, следовательно, на интроскопические и временные характеристики ГРП (контраст, нерезкость видимого изображения и его яркость, время памяти и восстановление газа после пробоя).

Нами сделан вывод, что для рентгеновского излучения пробеги электронов образовавшихся в металлических электродах преобразователя малы и ионизация в газе будет происходить в основном за счет взаимодействия рентгеновского излучения с газом. Исследования показывают, что наиболее предпочтительным является использование в качестве наполнения тяжелых газов с высоким атомным номером.

Во второй главе рассмотрены некоторые аспекты конструирования и оптимизации параметров ГРП для работы с излучением нано и пикосекундной длительности.

Интроскопические параметры ГРП на стадии формирования скрытого электронного изображения при взаимодействии фотонов рентгеновского излучения импульсных аппаратов на основе рентгеновских трубок с взрывной эмиссией с электродами и газом могут быть получены из решения системы интегро-дифференциальных уравнений (1)

$$\begin{cases} [\bar{\Omega}\nabla + \sum_1 - K_{11}] \Phi_1(\vec{x}) - K_{12} \Phi_2(\vec{x}) = S_1(\vec{x}), \\ [\bar{\Omega}\nabla + \sum_2 - K_{22}] \Phi_2(\vec{x}) - K_{21} \Phi_1(\vec{x}) = S_2(\vec{x}), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\Phi_i(\vec{x}) = \Phi_i(\vec{r}, \bar{\Omega}, E)$  - дифференциальный по направлениям и энергиям  $E$  поток электронов и позитронов (индекс 1) и квантов (индекс 2).

В условиях трехмерной геометрии система уравнений (1) зависит от шести переменных, кроме того достаточно велико число различных типов взаимодействий, которые испытывают электроны и кванты при движении в веществе. Таким образом, решение системы является весьма сложной математической задачей, а наличие неоднородного и ограниченного поглотителя, что имеет место в ГРП, еще более усложняет решение.

В связи с этим, решение системы осуществлялось численным методом Монте-Карло.

В качестве основы была взята программа из работы В.И. Беспалова и А.К. Зайцева для расчетов параметров ГРП при высокоэнергетическом облучении и введены добавления для учета эффектов при низких энергиях падающих квантов.

Расчеты при регистрации излучения импульсных рентгеновских аппаратов с максимальной энергией 120 кэВ показали, что:

- изменения толщины переднего электрода, выполненного из стекла, в пределах от 4 до 6 мм не дает существенного изменения нерезкости и поглощенной энергии. Отсутствие переднего электрода приводит к увеличению поглощенной энергии в газовом зазоре при сохранении нерезкости.
- наличие заднего электрода (толщиной 5 мм) приводит к увеличению поглощенной энергии в газе на 9-17% при ксеноновом наполнении, наличие заднего электрода не приводит к значительным изменениям нерезкости ГРП.

- с увеличением атомного номера газа поглощенная энергия в газе значительно увеличивается.
- с уменьшением атомного номера газа происходит и увеличение нерезкости изображения.

По результатам расчетов сделан вывод о том, что в качестве рабочего газа наилучшим является ксенон и применение дополнительных металлических конвертеров нецелесообразно.

В работе оценено влияние добавок электроотрицательных газов на развитие разряда. При наличии добавок воздуха изменение плотности электронов происходит значительно быстрее, чем в их отсутствии.

Анализ расчетов по определению времени памяти ГРП по разрешающей способности ГРП, позволяют сделать вывод, что при изменении добавок воздуха к ксенону 0 – 10 мм.рт.ст. время памяти регулируется в пределах  $10^{-3} - 10^{-7}$  с.

Из отдельного электрона или группы электронов развивается лавина, при этом рост числа электронов в лавине происходит экспоненциально согласно формулы 2

$$N(t) = N(0)\exp(\alpha \mathcal{G}_e t) \quad (2)$$

где  $N(0)$  - начальное число электронов в центре ионизации;

$\alpha$  - первый коэффициент ионизации Таунсенда;

$\mathcal{G}_e$  - скорость дрейфа электронов.

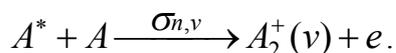
Изучение пробоя длинных разрядных промежутков в газах показало, что время формирования пробоя по порядку величины сравнимо с временем прохождения электронов через разрядный промежуток. Другим важным экспериментальным фактором является независимость пробивного напряжения таких промежутков от материала катода. Для объяснения этих фактов Миком, Ретером и Лебом была разработана стримерная теория искрового разряда, в которой определенную роль играют коллективные процессы.

Согласно этой теории при достижении лавиной критической величины, поле ее пространственных зарядов становится сравнимым с внешним полем. Это приводит к усилению поля впереди и позади лавины. И если в это время число возбужденных атомов больше критического, фотоэлектроны, возникающие за лавиной под действием излучения остова лавины, создают дочерние лавины, которые вливаются в основную. Таким образом, развиваются катодонаправленные стримеры.

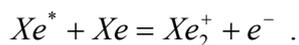
В стримерной теории в качестве основного механизма образования дочерних лавин рассматривается фотоэффект. Показано, что фотоэффект не может обеспечить достаточное число электронов. Нами в качестве альтернативного процесса рассмотрена реакция

ассоциативной ионизации как один из возможных механизмов развития стримера в условиях ГРП с ксеноновым наполнением.

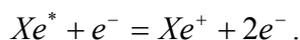
Учитывая селективность реакции при протекании в собственном газе, ассоциативную ионизацию можно записать в виде:



Индексами  $n$  и  $v$  обозначены соответственно состояния возбужденного атома и номер колебательного уровня иона  $A^+(v)$ ,  $\sigma$  - сечение процесса. В ксеноне это будет реакция



Представляет также интерес реакция



Скорость этой реакции будет пропорциональна квадрату концентрации электронов, поэтому критическое число электронов в лавине будет меньше зависеть от газового наполнения.

Ассоциативная ионизация осуществляется, если энергия возбужденного атома  $A^*$  превышает энергию основного колебательного состояния иона.

Ассоциативная ионизация наиболее эффективно происходит в случае, когда потенциал ионизации атома сравним с энергией диссоциации молекулярного иона. У атомов инертных газов наиболее благоприятными для ассоциативной являются уровни, энергия возбуждения которых превышает 22,19эВ; 20,2эВ; 14,6эВ; 12,8эВ; 11,07эВ соответственно для He, Ne, Ar, Kr, Xe.

Образование видимых фотонов в условиях ГРП происходит в результате прямых переходов атомов инертного газа в основное состояние из возбужденного, в которое атом переходит при столкновении со свободными электронами. При этом вероятность возбуждения атомов в состояния, распад которых сопровождается испусканием видимого излучения, значительно ниже вероятности ионизации, поэтому относительный выход видимых фотонов меньше единицы.

Среди источников «невидимой» информации о газовых разрядах, для которых существуют эффективные методы прямого преобразования их энергии в видимое излучение, можно назвать УФ-излучение разрядов.

Для трансформации ультрафиолетового излучения наиболее эффективно использовать люминофоры.

Наибольшее применение из зеленых люминофоров в ГРП нашел виллемит ( $Zn_2SiO_4:Mg$ ), он имеет практически постоянный спектр возбуждения в области 20-250 нм, высокий квантовый выход (0,75-0,91). Из-за большой постоянной времени высвечивания (20-

50 мс) виллемит нельзя использовать в ГРП, предназначенном для работы с частотой более 10 Гц. С большей частотой позволяют работать другие эффективные люминофоры зеленого свечения:  $\text{IBO}_3:\text{Tb}$  (до 200 Гц),  $\text{BaAl}_{12}\text{O}_{19}:\text{Mn}$  (до 30 Гц). При работе ГРП в режиме однократных срабатываний длительностью послесвечения особого значения не имеет.

В третьей главе рассматриваются вопросы разработки и исследования установки на основе рентгеновского импульсного излучателя наносекундной длительности.

На основе ГРП можно строить установки для контроля, которые можно использовать для различных целей. Наиболее перспективно применение таких установок в системах безопасности для обнаружения незарегистрированных вложений в багаже или на теле человека и в медицине.

Для построения таких систем в настоящее время используются структурная схема, приведенная на рисунке 2. Это рентгеновский интроскоп, включающий импульсный источник рентгеновского излучения, преобразователь рентгеновского излучения и дополнительные электронные схемы.

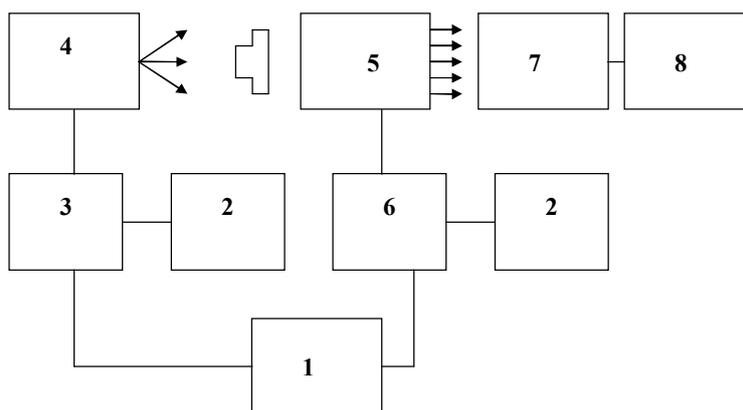


Рис.2. Функциональная схема интроскопа на основе ГРП.

1 – задающий генератор, 2 – источник постоянного высокого напряжения, 3 – генератор высоковольтных импульсов для питания рентгеновского излучателя, 4 – рентгеновский излучатель, 5 – ГРП, 6 – генератор высоковольтных импульсов питания ГРП, 7 – система регистрации видимого изображения, 8 – компьютер.

Установка состоит из двухканального задающего генератора, канала высоковольтного импульсного питания ГРП и канала питания импульсного рентгеновского излучателя.

Как было описано выше, скрытое изображение формируется в результате воздействия короткого импульса рентгеновского излучения, а затем под воздействием импульса высокого напряжения происходит развитие лавин и преобразование скрытого изображения в видимое. Поэтому необходимо обеспечить строгую временную последовательность импульсов рентгеновского излучения и высоковольтных импульсов питания. Двухканальный задающий генератор 1 обеспечивает запуск генераторов импульсного высокого напряжения для питания ГРП 6 и рентгеновского излучателя 4 импульсами с регулируемым по времени

смещением. Конструкция генератора позволяет выбирать несколько режимов работы установки.

Импульс с задающего генератора поступает на генератор импульсов высокого напряжения для питания импульсного рентгеновского излучателя 4. Генератор состоит из источника высокого постоянного напряжения 2 и собственно генератора коротких импульсов 3. Генератор вырабатывает импульсы 8-10 кВ для питания рентгеновского излучателя. В качестве излучателя используются импульсные рентгеновские аппараты на основе рентгеновских трубок с взрывной эмиссией.

По другому каналу импульс с регулируемой временной задержкой в пределах 0 – 200 нс поступает на схему запуска генератора импульсного питания ГРП (6, 2). Импульс высокого напряжения с генератора амплитудой 15 – 30 кВ используется для питания ГРП. Нами разработана схема импульсного источника импульсов высокого напряжения с удвоением напряжения и использованием управляемых разрядников показанная на рис. 3.

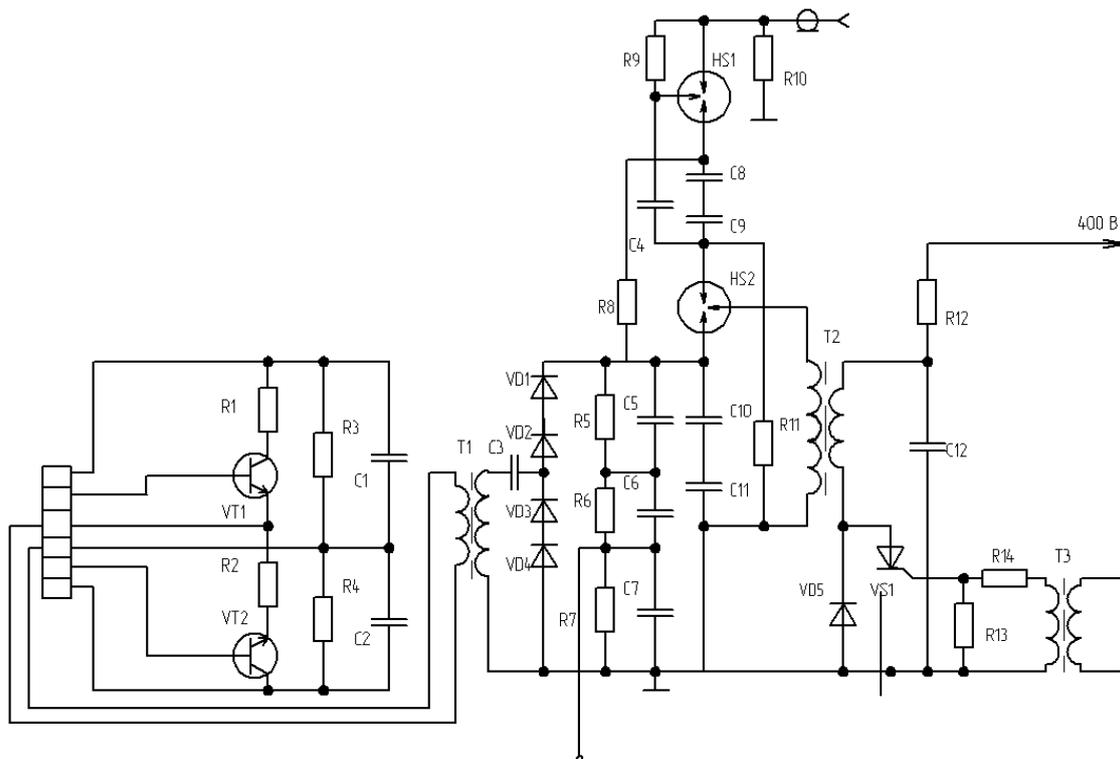


Рис. 3. Генератор импульсов высокого напряжения ГРП.

Предложенная схема позволяет снизить требования к источнику постоянного высокого напряжения, снизить габариты и вес генератора. Резистор R10 позволяет регулировать длительность импульса питания ГРП в пределах 100 – 200 нс.

Источник постоянного высокого напряжения построен по инверторной схеме. Особенностью схемы является работа высоковольтного трансформатора в резонансном режиме, что повышает КПД работы источника в целом, снижает вес и габариты трансформатора.

Для использования в качестве источников рентгеновских импульсов нами были рассмотрены серийно выпускаемые промышленностью аппараты серии МИРА и АРИНА и сделан вывод о невозможности их использования без дополнительной доработки.

За основу при проектировании установки на основе ГРП был взят излучатель от аппарат МИРА-2Д. К нему был добавлен разработанный нами высоковольтный блок и схема запуска. Электрическая схема генератора импульсов питания рентгеновского излучателя на основе рентгеновской трубки с взрывной эмиссией показана на рис.4. Разработанный излучатель позволил получать импульсы рентгеновского излучения длительностью около 100 нс.

Особенностью схемы генератора импульсов для питания рентгеновского излучателя является применение управляемого разрядника и использование тиристорной схемы для поджига разрядника. Примененные технические решения позволили значительно уменьшить габариты и вес генератора и повысить временную стабильность следования импульсов на излучатель, что очень важно для установок на основе ГРП.

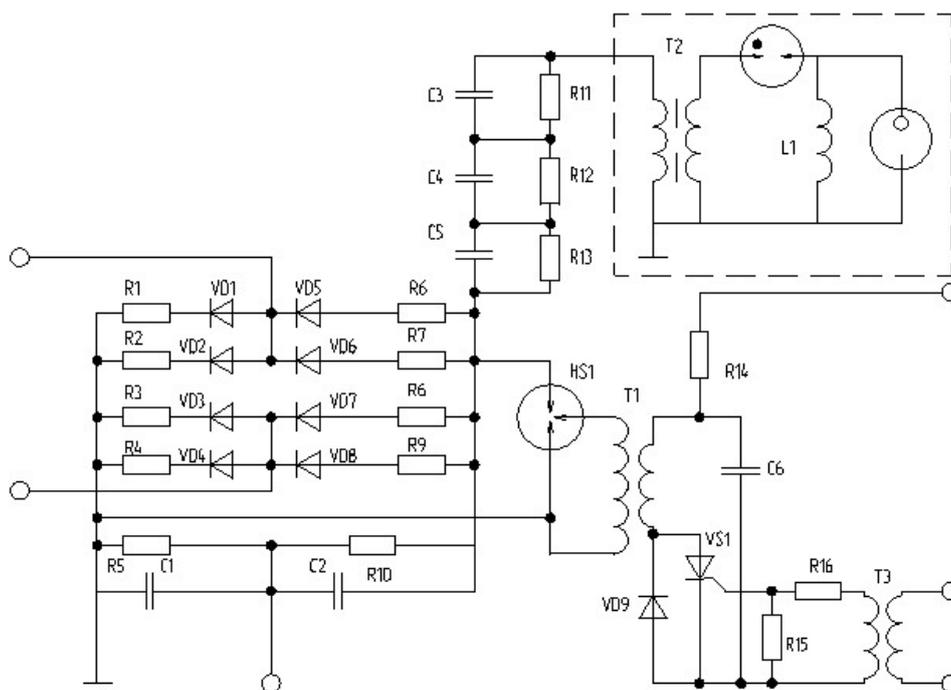


Рис. 4. Рентгеновский излучатель и источник высоковольтных импульсов.

Изображение с экрана ГРП можно наблюдать визуально или с помощью телевизионной системы 7 вводить в компьютер для дальнейшей обработки и хранения.

Описанная установка реализует режим опережения импульсом рентгеновского излучения импульса питания ГРП.

В четвертой главе описывается модель установки на основе рентгеновского излучателя пикосекундной длительности. В данном случае используется режим, при котором импульс рентгеновского излучения очень короткой длительности (много меньше длительности

импульса питания ГРП) подается во время действия импульса питания (квазистационарный режим). Нами экспериментально исследована модель такой системы. Она построена по схеме приведенной на рис.2, но в качестве источника рентгеновского излучения используется экспериментальный излучатель с длительностью импульса излучения около 500 пс и для временного согласования каналов рентгеновского излучателя и ГРП использована ультразвуковая линия задержки. Используемая рентгеновская трубка (рис 5) разработана в институте сильноточной электроники СОРАН. Мы встроили ее в промышленный импульсный излучатель, предварительно изменив схему формирования импульсов на трубку.

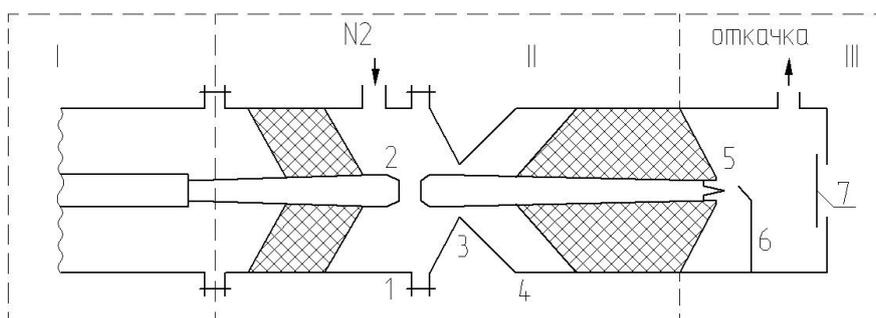


Рис. 5. Пикосекундный генератор высоковольтных импульсов с рентгеновской трубкой (вакуумным диодом).

I -наносекундный высоковольтный генератор рентген. аппарата МИРА-2Д; II-блок разрядников и линий; III-рентгеновская трубка; 1-формирующая линия; 2-обостряющий разрядник; 3-срезающий разрядник; 4-передающая линия; 5-катод; 6-анод; 7-окно для выхода рентгеновского излучения

Для ГРП, наполненного ксеноном, в квазистационарном режиме питания были проведены измерения яркости, разрешающей способности и контрастной чувствительности при длительности импульса рентгеновского излучения  $0,5 \cdot 10^{-9}$  с. Перечисленные параметры преобразователя практически не отличаются от параметров ГРП, работающего в режиме опережения импульсом излучения импульса питания при одинаковых режимах питания ГРП и облучения контролируемого объекта.

Квазистационарный режим питания ГРП позволяет использовать в качестве рабочего газа электроотрицательные газы, в том числе воздух. Нами исследовано 2 образца наполненного воздухом ГРП – с резистивным слоем, на внутреннюю поверхность входного электрода которого нанесен люминофор, а также ГРП с плоскими токопроводящими стеклянными электродами без люминофорного слоя. Экспериментальные измерения показали, что разрешающая способность составляет  $\sim 0,5$  пар линий/мм в первом варианте и  $\sim 1,0$  пар. линий/мм (второй вариант) при импульсной экспозиционной дозе в плоскости преобразователя  $5 \cdot 10^{-10}$  Кл/кг (2 мкР).

В главе рассмотрены вопросы техники экспериментальных исследований электрических параметров установки с пикосекундным излучателем.

Пятая глава посвящена экспериментальным исследованиям рентгеновского интроскопа на основе ГРП, получения и обработки видимых изображений.

По результатам измерений получены следующие технические характеристики интроскопа на основе ГРП:

- дозовая чувствительность, микрорентген	5-10
- средняя яркость свечения (25 Гц), Кд/м <sup>2</sup>	15-25
- предельная разрешающая способность, линий/мм	1
- предельная контрастная чувствительность:	
а) низкоэнергетичное рентгеновское излучение, %	6-7
б) высокоэнергетическое излучение, %	1,5-2
- предельная частота срабатываний, кГц	10
- потребляемая энергия, Вт	200
- вес, кг	не более 15

Приведенные параметры показывают перспективность применения установок на основе ГРП в качестве переносных компактных рентгеновских систем контроля. При этом установки безопасны в эксплуатации и не создают дозовых нагрузок на объекты контроля.

Рис.6, на котором показана свинцовая мира с прорезями, иллюстрирует достигаемую в установках на основе ГРП разрешающую способность.

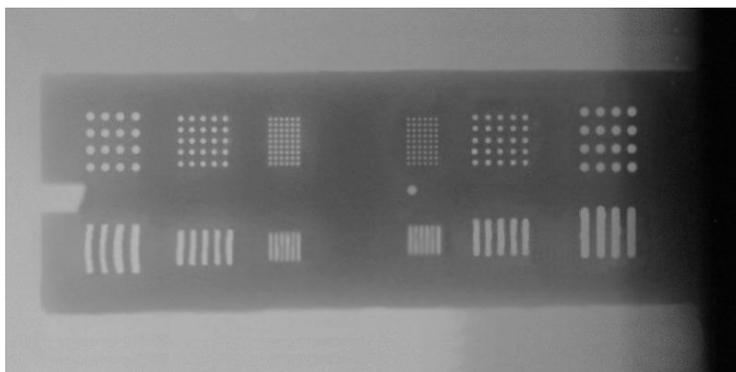


Рис. 6. Изображение миры на ГРП

Были проведены эксперименты по регистрации в режиме однократного срабатывания установки содержимого портфеля, в который были помещены различные предметы, в том числе пистолет. Полученное с экрана ГРП изображение приведено на рис.7. Изображение получено при суммарной дозе в плоскости объекта контроля 10 мкР.



Рис. 7. Изображение содержимого портфеля, полученное с экрана ГРП.

Были проведены эксперименты по регистрации с помощью ГРП динамических процессов. В качестве модели мы использовали маятник метронома за оптически непрозрачной преградой. Изображения было получено в режиме однократного импульса рентгеновского излучения. Полученный снимок метронома приведен на рис.8. За время действия рентгеновского импульса (100 нс) объект смещается на незначительное расстояние и в эксперименте мы фиксируем как бы неподвижный объект. При сохранении разрешения получаемого изображения 1 пар линий/мм возможна регистрация объектов, движущихся со скоростью до 1000 м/с.

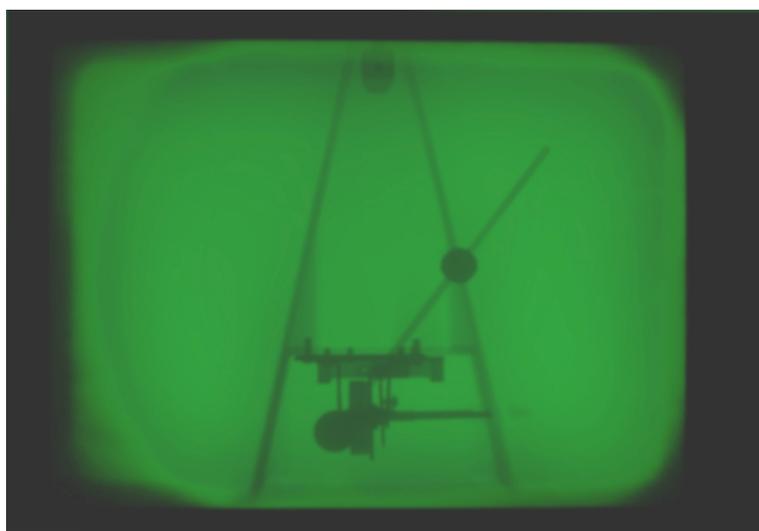


Рис.8. Изображение движущегося метронома.

Для регистрации видимых изображений в однократном режиме срабатывания рентгеновского излучателя разработана система съема и передачи изображений в персональный компьютер (ПК). Система включает телекамеру на основе

высококонтрастной CCD матрицы, блок оцифровки и записи видеоизображений в ПК и программы управления.

Функциональная схема блока записи видеоизображений приведена на рис.9. Блок подключается к ПК через стандартный параллельный порт. Управление записью одного кадра изображения производится программно. По команде начала записи формируется импульс запуска рентгеновского излучателя интроскопа на основе ГРП, происходит срабатывание интроскопа и формируется видимое изображение на экране ГРП. Изображение фиксируется видеокамерой и видеосигнал поступает в блок записи видеоизображений. Схемой выделения синхросигналов из видеосигнала выделяются строчный и кадровый синхроимпульсы, а видеосигнал поступает на скоростной видео АЦП. В АЦП телевизионный сигнал переводится в цифровую форму и построчно записывается в промежуточную двухпортовую память. Из памяти данные через параллельный порт передаются в ПК.



Рис.9. Функциональная схема блока записи видео изображений.

Рассмотрены вопросы цифровой обработки получаемых с экрана ГРП изображений с целью повышения информативности этих изображений и автоматического выделения определенных элементов изображения. Рассмотрены вопросы выделения контуров и фильтрации с учетом экспериментальных частотно-контрастных характеристик ГРП.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Проведены исследования и оптимизация параметров газоразрядного преобразователя импульсного рентгеновского излучения в видимое, которые позволили построить макет рентгеновского интроскопа для регистрации полей импульсного рентгеновского излучения длительностью 100 нс и менее.
2. На основе расчетов сделан вывод о том, что в случае заполнения газового промежутка ксеноном, параметры скрытого электронно-ионного изображения определяются параметрами газового заполнения и влияние переднего и заднего электродов незначительно.
3. Проведены расчеты по оптимизации толщины газового промежутка и типа газа. Показано, что наилучшими параметрами обладает ГРП наполненный ксеноном. При нормальном давлении оптимальный размер толщины газового промежутка составляет около 1 см.
4. Проведен анализ роли вторичных механизмов в развитии газового разряда в условиях ГРП. Сделан вывод о том, что учет этих механизмов должен быть произведен в лавинно-стримерном и стримерном режиме работы ГРП.
5. Экспериментально исследованы временные параметры преобразователя: время памяти (время, в течение которого сохраняется без рекомбинации первичная ионизационная картина), и зависимость этого параметра от добавок электроотрицательных газов (воздух, кислород), а также зависимость качества получаемого изображения от длительности временной задержки импульса высоковольтного питания относительно импульса рентгеновского излучения; сформулированы технические требования к источникам импульсного высоковольтного питания преобразователей;
6. Построена и экспериментально исследована модель переносного импульсного рентгеновского интроскопа на базе ГРП, показано, что прибор позволяет получать одноимпульсные изображения объектов контроля при длительности рентгеновских импульсов 100 нс и дозе в плоскости расположения объекта контроля 10 мкР. Вес прибора не превышает 15 кг.
7. Экспериментально исследован макет интроскопа на базе ГРП с рентгеновским импульсным излучателем с длительностью импульса рентгеновского излучения 500 пс. Реализован режим работы установки, в котором импульс рентгеновского

излучения накладывається на более длинный (150 нс) импульс питания ГРП. Показано, что дозовая чувствительность ГРП в этом режиме повышается в 5 раз.

8. Проведены экспериментальные исследования параметров приборов на основе ГРП, которые показали возможность получения изображений объектов различной природы с разрешающей способностью не хуже 1 пар линий/мм и контрастной чувствительностью 6-8% при дозе облучения объекта контроля не выше 10 мкР.
9. Разработана система регистрации изображений с экрана ГРП на основе видеокамеры с высокочувствительной приемной матрицей, синхронизованной с установкой на основе ГРП, и модуль ввода изображения в персональный компьютер.

#### Список работ опубликованных по теме диссертации

1. Алхимов В.Ю., Алхимов Ю.В., Кулешов В.К. Исследование процессов в плазме плоскостного многоканального газового разряда предельно-плотной структуры при атмосферном давлении //Известия Томского политехнического университета, 2008 - т. 312, - № 2. - с. 114-119
2. Алхимов В.Ю., Алхимов Ю.В., Кулешов В.К. Системы радиационного контроля на основе газоразрядных преобразователей Рентгеновского излучения в видимое //Известия Томского политехнического университета, 2008 - т. 312, - № 2. - с. 109-113
3. Алхимов В.Ю., Кулешов В.К. Газоразрядный детектор радиационного излучения//Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы VIII Международной научно – практической конференции, г. Новочеркасск, 28 сентября 2007 г. – Новочеркасск:ЮРГТУ, 2007. – с.40-42.
4. Алхимов В.Ю., Алхимов Ю.В. Кулешов В.К. Пути повышения разрешающей способности газоразрядного преобразователя радиационного излучения//Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы VIII Международной научно – практической конференции, г. Новочеркасск, 28 сентября 2007 г. – Новочеркасск:ЮРГТУ, 2007. – с.42-45.
5. Alkhimov V.Yu. , Alkhimov Yu.V. The mosaic detector of x-ray radiation for inspection of oversize objects //Modern techniques and technologies: Proceedings of XIII International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists - Томск, 26-30 марта 2007 г.. - Томск: Изд. ТПУ, 2007. - с. 140-143
6. Alkhimov V.Yu., Kuleshov V.K., Alkhimov Yu.V. Experimental investigation of x-ray gas discharge converters //Modern techniques and technologies: Proceedings of XIII

- International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists - Томск, 26-30 марта 2007 г.. - Томск: Изд. ТПУ, 2007. - с. 143-146
7. Алхимов Ю.В., Алхимов В.Ю., Кулешов В.К., Силантьев О.И., Цицура В.Н. Газоразрядный преобразователь с матричной структурой //Известия Томского политехнического университета. - Томск: Изд. ТПУ, 2006 - т. 309, - № 5. - с. 56-60
  8. Цицура В.Н., Силантьев О.И., Алхимов В.Ю. Разрешающая способность ГРП в режиме многоячеечной организации газового пространства //Качество - стратегия XXI века: Материалы XI международной научно-практической конференции - Томск, 6 - 7 декабря 2006. - Томск: Изд. ТПУ, 2006. - с. 157-161
  9. Alkhimov V.Y., Tsitsura V.N., Silantiev O.N. Ways of gas discharge converters image enhancement //Modern technique and technologies МТТ2005: Proceedings of the 11th International Conference- Томск, 29.03-2.04 2005г. - Томск: Издательство ТПУ, 2006. - с. 44-46
  10. Алхимов В.Ю., Толмачев И.И. Выбор рабочих частот преобразователей вихретокового дефектоскопа Centurion ED-1100 при контроле стальных изделий //Качество-стратегия XXI века: Материалы X Международной научно-практической конференции - Томск, 7-8 декабря 2005. - Томск: Изд. ТПУ, 2005. - с. 166-167
  11. V. Yu. Alkhimov, Yong Deak Kim Quality improvement of blurred images//Качество-стратегия XXI века: Материалы X Международной научно-практической конференции - Томск, 7-8 декабря 2005. - Томск: Изд. ТПУ, 2005. - с. 47-52