

ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.13 Градобоева Александра Васильевича на диссертацию Смолянского Владимира Александровича «Разработка, исследование и применение микрофокусного источника тормозного излучения на основе малогабаритного бетатрона в рентгенографии и томографии высокого разрешения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

1. Актуальность темы диссертации

Компьютерная томография является передовым методом неразрушающего контроля не только для обнаружения неоднородности, включений и дефектов изделий, но и для получения точной информации о материалах и структуре объекта контроля.

Высокоэнергетическая компьютерная томография (ВКТ) имеет большую проникающую способность, высокую чувствительность обнаружения дефектов и позволяет качественно измерять и визуализировать сложные внутренние структуры при контроле толстостенных ответственных изделий.

В диссертационной работе представлены результаты разработки и исследования физических основ для создания микрофокусного источника тормозного излучения на основе 4 МэВ и 18 МэВ бетатронов. Предполагается, что такой источник будет востребован для томографии с высоким разрешением объектов с поверхностной плотностью $60 - 200 \text{ г/см}^2$, (более 10 см по стали) т.е. в области, недоступной для микрофокусных источников на основе рентгеновских трубок. Такие источники действительно востребованы, что подтверждает **актуальность** диссертационной работы.

2. Основное содержание диссертации

Диссертационная работа Смолянского Владимира Александровича, состоит из введения, четырех глав, заключения и трех приложений. Объем работы составляет 128 страницы, включая 66 рисунков и 9 таблиц, а также 115 использованных источников.

Во введении представлено обоснование актуальности работы, сформулированы цели и задачи. Описаны научные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая ценность исследования.

В первой главе представлен обзор существующих высокоэнергетических источников излучения с малым фокусным пятном для применения в высокоэнергетической рентгенографии и компьютерной томографии высокого разрешения.

Вторая глава посвящена разработке микрофокусного источника излучения на основе бетатрона и сравнению его характеристик с прототипом. Изготовлены мишени малой толщины и выполнены эксперименты с ними.

В третьей главе экспериментально изучен метод оценки размеров источника излучения по изображениям тестовых объектов – фольги и щелей. Представлены результаты сравнения классического и модифицированного источников излучения. Экспериментально исследованы особенности формирования рентгеновских

изображений, а именно – эффект фазового контраста в области жесткого гамма-излучения с высокими энергиями.

В четвертой главе представлен опытный образец высокоэнергетической рентгенографической цифровой системы на базе макета микрофокусного источника излучения для контроля крупногабаритных объектов с высокой скоростью и чувствительностью контроля.

Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности

Материалы диссертации и автореферата соответствуют паспорту научной специальности - Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий:

1. Научное обоснование новых и усовершенствование существующих методов аналитического и неразрушающего контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

2. Разработка и оптимизация методов расчета и проектирования элементов, средств, приборов и систем аналитического и неразрушающего контроля с учетом особенностей объектов контроля.

3. Разработка, внедрение и испытания приборов, средств и систем контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, имеющих лучшие характеристики по сравнению с прототипами.

4. Разработка алгоритмического и программно-технического обеспечения процессов обработки информативных сигналов и представление результатов в приборах и средствах контроля, автоматизация приборов контроля.

4. Методы исследования

При выполнении настоящей работы использованы экспериментальные методы исследований, основанные на физических принципах взаимодействия высокоэнергетического рентгеновского излучения с веществом и его регистрацией. Анализ результатов измерений проводился с помощью численных и статических методов обработки экспериментальных данных и специализированного программного обеспечения.

5. Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов

Защищаемые положения основаны на корректном анализе результатов фундаментальных экспериментальных и аналитических исследований, что подтверждает их обоснованность. Достоверность результатов обеспечивается многократными экспериментальными подтверждениями выдвинутых положений, применением математических способов обработки экспериментальных данных, использованием сертифицированного оборудования, а также достаточным объемом проведенных экспериментальных исследований.

6. Новизна исследований и основные результаты работы

Новизна исследований состоит в том, что результаты проведенных исследований показали возможность создания нового класса источников тормозного излучения МэВ-ных энергий с размером фокусного пятна в микронном диапазоне, что аналогично фокусным пятнам рентгеновских трубок, в которых может быть получена генерация излучения со спектром фотонов лишь до 750 кэВ.

Проведены важные для решения поставленных в диссертации задач эксперименты по исследованию угловых распределений излучения, генерированного в мишенях, изготовленных из различных материалов и имевших различные геометрические характеристики.

Экспериментально исследованы особенности формирования рентгеновских изображений, а именно – эффект фазового контраста в области жесткого гамма-излучения с высокими энергиями. Полученные рентгеновские изображения экспериментальных образцов из композитных и плотных материалов с увеличенным контрастом и пространственным разрешением.

Созданный экспериментальный стенд высокоэнергетической рентгеновской системы на базе макета микрофокусного малогабаритного бетатрона для контроля крупногабаритных объектов с высокой плотностью показали высокую выявляемость микродефектов. А повышенная яркость источника тормозного излучения за счет уменьшения размеров фокусного пятна сократила время сканирования контроля.

7. Практическая значимость и реализация результатов диссертационной работы

На практике микрофокусный источник жесткого тормозного излучения применим для получения радиографических изображений или проведения томографии с повышенной контрастностью изображения внутренних деталей сложных и достаточно толстых конструкций из тяжелых материалов, о чем свидетельствуют экспериментальные данные. Такой источник может быть использован, также и для работы с довольно тонкими образцами из тяжелых материалов, чем в случае применения микрофокусных трубок.

Полученные результаты будут востребованы отечественными и зарубежными компаниями, занимающимися разработкой томографических комплексов, на основе микрофокусных источников тормозного излучения, для быстрого массового контроля изделий сложных конструкций и выявления в них микродефектов.

Результаты диссертационной работы подтверждены научно-технической работой в ходе реализации проекта РНФ и представленными актами о внедрении.

8. Замечания по диссертационной работе

1. Одной из основных проблем при разработке микрофокусных источников является превышение предельной тепловой нагрузки на мишень. В работе не приведены сравнения тепловых режимов мишеней классического и модифицированного бетатронов. Что произойдет с мишенью, если отвод тепла возможен только за счет излучения, а ее размер сократить в сотню раз?

2. В разделе 2.4 экспериментально исследован способ уменьшения размеров фокусного пятна за счет уменьшения скорости смещения электронов на внешнюю мишень. Результатом этого решения является уменьшение как горизонтального, так и вертикального размера фокусного пятна. Здесь же утверждается, что вертикальный размер фокусного пятна повторяет вертикальный размер пучка ускоренных электронов. Не понятно за счет каких эффектов в данном случае уменьшается вертикальный размер фокусного пятна?

3. Для оценки оптимальности конкретной цифровой рентгеновской системы нужны теоретические исследования (математическая модель). Автор в диссертации не исследует ни одной подобной модели, поэтому вопрос оптимальности системы остаётся не раскрытым.

9. Заключение

Совокупность выполненных диссертационных исследований и их результаты показывают решение актуальной проблемы, имеющей практическое значение. Высказанные замечания не снижают уровень научной и практической значимости результатов научно-исследовательской работы и носят уточняющий характер. Результаты работы достаточно полно опубликованы в печати. Автореферат соответствует основным положениям диссертационной работы. Диссертация хорошо апробирована.

Считаю, что диссертация Смолянского В.А. «Разработка, исследование и применение микрофокусного источника тормозного излучения на основе малогабаритного бетатрона в рентгенографии и томографии высокого разрешения» отвечает требованиям п.п. 8-10 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском университете (Приказ № 66/од от 28.08.2019г.).

п. 8. Представлена научно-квалификационная работа, в которой содержится решение научной задачи, имеющей важное значение для развития соответствующей отрасли знаний (области рентгеновского неразрушающего контроля) и в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения по разработке высокоэнергетического микрофокусного источника.

п. 9. Работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о достаточном личном вкладе автора диссертации в науку. Кроме того, приводятся сведения о возможном практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов.

п. 10-11. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 24 работах, в том числе в 3 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, в 7 статьях в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

п. 12. Диссертация соответствует требованию указания в виде ссылок на заимствованные материалы.

Основываясь на вышеизложенном, *считаю*, что диссертационная работа «Разработка, исследование и применение микрофокусного источника тормозного излучения на основе малогабаритного бетатрона в рентгенографии и томографии высокого разрешения» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и содержащей значимые научные и практические

результаты, а её автор **Смолянский Владимир Александрович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Дополнительный член совета ДС.ТПУ.13

Градобоев Александр Васильевич,

доктор технических наук, профессор Отделения контроля и безопасности

Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности ФГАОУ ВО

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Тел.: +7 (3822) 48-84-59, +7

E-mail: gradoboev1@mail.ru, gava@tpu.ru

Г.В. Градобоев

/А.В. Градобоев/

Подпись профессора А.В. Градобоева заверяю

Ученый секретарь ФГАОУ ВО

«Национальный исследовательский

Томский политехнический университет»



/О.А. Ананьева/

9.12.197.