

ОТЗЫВ

официального оппонента Потрахова Николая Николаевича 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.

Актуальность темы

В настоящее время высокоэнергетическая рентгенография и компьютерная рентгеновская томография, «использующие» фотоны с энергиями более 1 МэВ, все чаще используются в ключевых отраслях промышленности и стали необходимой технологической операцией при контроле качества крупногабаритных и тяжеловесных объектов. Современные технологии производства, в том числе так называемая трехмерная печать, обеспечивают постоянный рост размеров и усложнение таких изделий например, как, лопасти вертолетов и ветровых турбин, элементы силовых конструкций самолетов, автомобилей, судов и т.п. и при позволяют производить крупные изделия целиком. Соответственно важнейшее значение приобретает точность оценки размеров деталей таких изделий. Однако подобные измерения ограничены относительно низкой разрешающей способностью существующих методик контроля. Например, «разрешение» современных рентгеновских компьютерных томографов в техническом приложении составляет около 1-2 мм, что недостаточно с учетом современных технологий изготовления перечисленных выше изделий.

Поэтому тема диссертации Смолянского Владимира Александровича, посвященной разработке специализированного, для задач рентгенографии и томографии высокого разрешения, микрофокусного высокоэнергетического источника тормозного излучения с необходимой и достаточной мощностью экспозиционной дозы, несомненно является важной и актуальной.

Основное содержание диссертации

Диссертационная работа Смолянского Владимира оформлена в классическом стиле и содержит введение, литературный обзор по теме исследования, описание материалов и методов, четыре главы собственных исследований и полученных результатов, а также выводы и заключение.

Текст диссертации написан грамотным техническим языком, изложен на 128 страницах машинописного текста, содержащего 9 таблиц, 66 рисунков, список литературных источников из 115 отечественных и зарубежных наименований, а также 3 приложения.

Во введении обоснованы актуальность работы и степень научной проработанности темы, сформулирована цель и поставлены задачи диссертационного исследования. Представлены научные положения, выносимые на защиту. Указаны научная новизна и практическая значимость результатов работы.

В первой главе представлен исчерпывающий обзор основных типов существующих источников тормозного излучения с высокой проникающей способностью и малым фокусным пятном, пригодных для применения в высокоэнергетической рентгенографии и компьютерной томографии высокого разрешения. Показано, что среди перечисленных источников наиболее перспективным для достижения цели диссертационного исследования является бетатрон.

Во второй главе подробно описана разработка макета микрофокусного источника излучения на основе бетатрона. Предложен и реализован оригинальный способ уменьшения размеров фокусного пятна, заключающийся в обоснованном выборе сечения мишени. Оригинальность решения заключается в выборе мишени с размерами, меньшими размеров сечения пучка ускоренных электронов, что обеспечивает одно из измерений фокусного пятна, сопоставимое с сечением мишени. Для обеспечения максимальной мощности дозы тормозного излучения решена сложная инженерная задача – смещение пучка ускоренных электронов на мишень после достаточно долгой их циркуляции по орбите радиусом, соответствующим расположению мишени.

В третьей главе представлены результаты практического применения разработанной системы рентгенографического контроля при исследовании микроструктур экспериментальных объектов с высокой и низкой плотностью материала в случае использования в ее составе в качестве источников излучения бетатрона-прототипа и модернизированного бетатрона. Проведены сравнительный анализ и оценка качества, а также информативности получаемых рентгеновских снимков. Экспериментально исследованы особенности формирования рентгеновского изображения - эффект фазового

контраста в неисследованной области жесткого гамма-излучения с энергиями свыше 1 МэВ.

В четвертой главе представлен и описан опытный образец высокоэнергетической рентгенографической цифровой системы на базе разработанного микрофокусного источника излучения для контроля крупногабаритных толстостенных объектов. На примере литой детали грузового вагона - балке надрессорной, продемонстрированы высокие разрешающая способность разработанной рентгенографической цифровой системы, а также чувствительность и скорость контроля.

В заключении формулируются основные результаты, полученные в ходе проведенных исследований и подтверждающие достижения поставленной цели.

В целом диссертационная работа изложена структурировано, выдержана в научном стиле и отражает всю информацию, необходимую для ознакомления с исследуемой темой. Автореферат включает в себя все положения диссертации и полностью соответствует ее содержанию.

Новизна исследований и основные результаты работы

Научная новизна выполненных исследований заключается в разработке технических и технологических решений, а также методических указаний, обеспечивающих создание микрофокусного источника тормозного излучения на основе бетатрона. Это является одним из основных условий получения высокоинформативных рентгеновских изображений и, соответственно, выявления на них дефектов микронного размера в крупногабаритных изделиях сложной конструкции.

В качестве основных научных результатов диссертантом выдвинуты следующие положения:

- реализован макет источника излучения с горизонтальным размером фокусного пятна в пределах 13 и 50 мкм в диапазоне энергий фотонов от нескольких КэВ до 18 МэВ за счет изготовления мишеней микронных размеров и экспериментальных бетатронных камер с внутренними гониометрами;
- повышена в 11 раз яркость источника тормозного излучения за счет уменьшения размеров фокусного пятна, вследствие чего увеличен контраст и пространственное разрешение рентгеновских изображений;
- получены результаты рентгеновского контроля экспериментальных образцов из композитных и более плотных материалов (до

50 мм стали), демонстрирующие высокую выявляемость продолговатых дефектов шириной до 10 мкм с применением микрофокусного источника излучения;

- экспериментально исследованы особенности формирования рентгеновского изображения – эффект фазового контраста в неисследованной до сих пор области жесткого гамма-излучения с энергиями свыше 1 МэВ;

- создан опытный образец высокоэнергетической рентгенографической системы на базе микрофокусного бетатрона для контроля крупногабаритных и толстостенных объектов с высокими чувствительностью (1,6%) и скоростью (10 мм/с) контроля.

Практическая значимость результатов работы

Практическая значимость выполненных диссертационных исследований заключается:

- во-первых, в разработке малогабаритного, «бюджетного», микрофокусного источника жесткого тормозного излучения – с энергией фотонов более 1 МэВ;

- во-вторых, в применении созданного источника в промышленной высокоэнергетической цифровой рентгенографии высокого разрешения для неразрушающего контроля крупногабаритных толстостенных изделий высокой плотности.

Кроме того, результаты исследований использованы при выполнении гранта РФФИ 17-19-01217 «Новый микрофокусный источник тормозного гамма-излучения на основе компактного бетатрона с внутренней микромишенью для томографии высокого разрешения», 2017-2019 гг.

Достоверность результатов выполненных исследований подтверждается согласованностью полученных автором теоретических и экспериментальных данных. Сформулированные в диссертации научные положения и выводы обоснованы, аргументированы и не противоречат общефизическим принципам, а также материалам отечественных и зарубежных публикаций по теме исследования.

Замечания по диссертационной работе

Диссертационная работа в целом представляет собой добротное научное исследование с серьезными практическими результатами, поэтому замечания носят в основном рекомендательный, а также «редакторский» характер.

1. Утверждение автора: «работа посвящена решению фундаментальной научной проблемы» – следует уточнить; работа направлена на достижения результатов, которые позволят решить целый ряд фундаментальных научных проблем.

2. Утверждение автора о том, что производимые в настоящее время источники рентгеновского излучения не позволяют проводить исследования образцов с эквивалентной толщиной по стали более 60 мм, некорректно. Целый ряд зарубежных фирм выпускают рентгеновские аппараты на напряжение 450 кВ и ток 10 мА, которые позволяют просвечивать объекты с эквивалентной толщиной по стали до 100 мм, например MG 450 (Siemens).

3. Достаточно часто автор использует англоязычные термины вместо традиционных отечественных. Например, «brilliance» вместо «светимость» и «яркость» источника рентгеновского излучения (стр. 31).

4. Используемый термин «размер фокус излучения» (стр. 53) неоднозначно определяет один из важнейших параметров источника рентгеновского излучения – «фокусное пятно».

5. Коллимирование в рентгентехнике – это ограничение поля облучения, но не уменьшение размеров фокусного пятна. Соответственно комментарии к рис. 24 требуют корректировки.

6. Толщина мишени источника рентгеновского излучения (как прострельной, так и массивной) принципиально влияет на интенсивность генерируемого излучения. Выбор толщины мишени, например танталовой в 13 мкм (раздел 2.3) не обоснован.

7. Целый ряд формулировок: «экспериментально исследовать формирования контраста», «микрофокусное излучение», «экспериментально исследовано формирование рентгеновского изображения», «дальнейшее развитие диссертационных исследований», «исследование оценки качества» и т.п. требуют редакторской правки.

8. Формулировка «наиболее оптимальная система» математически – «масло масляное».

9. Формулировка научных положений, выносимых на защиту, несколько непривычна для классической диссертации. При этом их научно-техническая сущность не подвергается сомнению.

Однако, отмеченные замечания не влияют на общую высокую оценку оппонируемой диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Смолянского Владимира Александровича «Разработка, исследование и применение микрофокусного источника тормозного излучения на основе малогабаритного бетатрона в рентгенографии и томографии высокого разрешения» является самостоятельно выполненным квалификационным исследованием. В нем решены актуальные научно-практические задачи по разработке и исследованию высокоэнергетического микрофокусного источника тормозного излучения и практического применения его в цифровой рентгенографической системе.

По совокупности проведенных исследований, полученных результатов, их актуальности, новизне и достоверности, научной и практической значимости, а также количеству публикаций, представленная работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (dis.tpu.ru), а ее автор – Смолянский Владимир Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Официальный оппонент:

Потрахов Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электронных приборов и устройств, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)».

197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5

E-mail: kzhamova@gmail.com; Тел.: +7 (812) 234-21-59

Н.Н. Потрахов

Подпись Н.Н. Потрахова заверяю

Начальник отдела кадров



ЗАВЕРЯЮ:
В. СОКОЛОВА
2019