

ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.13 Потылицына Александра Петровича 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 последние годы стремительное развитие производства высокотехнологичного оборудования в нефтегазовой области, металлургической отрасли, для авиакосмической и военной техники предъявляет все более высокие требования к обеспечению высокого качества и надежности продукции. Ключевыми характеристиками этого высококласного оборудования являются большие размеры, сложная структура и особые технологии производства.

Система компьютерной томографии с источником рентгеновского излучения широко используется в неразрушающем контроле продуктов малого и среднего размера. К сожалению, должны быть проверены не только «мелкие» детали, но и «крупные» изделия. Следовательно, необходим источник излучения, обладающий преимуществами, такими как высокая проникающая способность и малый размер фокусного пятна, которые влияют на высокую чувствительность обнаружения дефектов и удовлетворяют потребности неразрушающего контроля сложных конструкций.

Представленная диссертационная работа посвящена решению актуальной задачи - разработке нового, компактного, недорогого, микрофокусного источника жесткого тормозного излучения с энергией фотонов более 1 МэВ для промышленной томографии высокого разрешения и имеет важное значение для контроля промышленных изделий авиационной, ракетно-космической и военной промышленности.

Структура, объем и оценка содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из Введения, четырех глав, Заключения, списка литературы, включающего 115 наименований, и три приложения. Диссертация изложена на 128 страницах машинописного текста, содержит 66 рисунков и 9 таблиц.

Во Введении сформулирована актуальность темы исследования, обозначены цель и задачи диссертационной работы, приведены выносимые на защиту положения научной новизны и практическая значимость результатов, а

также приведены сведения о структуре, объеме диссертации, ее апробации и количестве опубликованных работ.

В первой главе, на основании обзора открытых отечественных и зарубежных литературных источников, выполнен анализ существующих источников излучения высокой энергии с наименьшим фокусным пятном в своей классификационной группе. Описаны недостатки и их достоинства применения в неразрушающем рентгеновском контроле. По итогам сравнения технических характеристик и возможности их дальнейшего улучшения, представлен наиболее перспективный циклический индукционный ускоритель – бетатрон.

Вторая глава посвящена описанию создания новых источников микрофокусного излучения на базе бетатронов с внутрикамерными гониометрами с ультратонкими держателями для позиционирования микромишеней по положению и углам ориентации относительно взаимодействующих с ними пучков электронов. Описана сущность метода уменьшения размеров фокусного пятна источника, заключающаяся в использовании мишени-конвертора с размерами, меньшими размеров сечения пучка ускоренных электронов. Представлены результаты распределения тормозного излучения, генерируемого электронами в обычной мишени и в микромишени под разными углами ориентации. Проведено сравнение интенсивности излучения классического и микрофокусного источников. Экспериментально исследовано уменьшение фокусного пятна за счет оптимальных параметров сброса электронов на мишень.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию качества рентгеновских снимков с помощью специализированного эталона чувствительности и тест –объектов с микродефектами. Проведено наглядное сравнение пространственного разрешения рентгеновских изображений, полученных с применением классического и микрофокусных источников излучения. Косвенным методом измерены размеры фокусных пятен с использованием обычной мишени и микромишени. Особое внимание уделяется экспериментальному исследованию особенностей формирования увеличенных рентгеновских изображений микроструктур на основе применения метода фазового контраста в области жесткого гамма-излучения с энергией фотонов выше 1 МэВ.

В четвертой главе приведена экспериментальная проверка возможности применения разработанного микрофокусного источника для цифровой диагностики с линейными детекторами. В результате экспериментальных исследований продемонстрированы перспективные возможности неразрушающего контроля по выявлению микродефектов и верификации внутренней геометрии крупногабаритного изделия высокой плотности и сложной геометрии.

В заключении формулируются основные результаты, полученные в ходе проведенных исследований и отражающие достижение поставленной цели.

Научная новизна исследований и основные результаты работы

Научная новизна проекта заключается в том, что в результате выполнения были реализованы оригинальные подходы и методы генерации излучения. В основе подхода к созданию микрофокусного источника лежит использование микромишени – мишени с поперечными размерами порядка 10 мкм, продольными размерами порядка мм, которая пересекается пучком электронов, циркулирующим в камере бетатрона. Время циркуляции при этом увеличено по сравнению с обычным режимом работы бетатрона за счет модификации магнитного поля. Это позволило уменьшить размер фокусного пятна и, соответственно, увеличить яркость излучения.

Полученные результаты представляются оригинальными и интересными, показывают принципиальную возможность создания с их помощью микрофокусных пучков, в том числе с энергиями не только рентгеновского, но и гамма-диапазонов.

Получены интересные результаты при изучении дифракции жёсткого рентгеновского излучения на резких краях (фазовый контраст) тестовых объектов с низкой и высокой плотностью материалов.

Разработанный макет высокоэнергетической радиографической системы на базе микрофокусного источника излучения позволил получить рентгеновские изображения сложных, достаточно толстых изделий и конструкций из высокоплотных материалов с повышенной контрастностью и высоким разрешением. Полученные характеристики в настоящее время являются рекордными для данного типа оборудования неразрушающего контроля.

Научная новизна результатов, полученных в диссертационной работе Смолянского Владимира Александровича не вызывает сомнения, а данные представленные в диссертации имеют не только научное, но и практическое значение.

Практическая значимость результатов работы

Высокое качество микрофокусного пучка рентгеновского излучения, генерируемого микрофокусным источником на основе компактного бетатрона, может использоваться в лабораторном физическом эксперименте. Например, в материаловедении для исследования внутренних границ раздела сред и микродефектов в исследуемых, в том числе композитных, образцах.

Максимальное пространственное разрешение систем на основе микрофокусного бетатрона может достигать уровня десятков микрометров при контроле крупногабаритных изделий с произведением плотности на толщину до 260 г/см².

Следует отметить, что разработанный источник имеет хорошие перспективы коммерциализации, и будет способствовать замещению дорогостоящих импортных аналогов на отечественном рынке.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается применением математических способов обработки экспериментальных данных, использованием сертифицированного оборудования, а также достаточным объемом проведенных экспериментальных исследований.

Замечания по диссертационной работе

- 1) На стр.31 автор называет характеристику, описываемую формулой (1) «светимостью (brilliance)». Следует указать, что использование термина «светимость» в данном случае некорректно. Этот термин используется для описания взаимодействия сталкивающихся пучков в коллайдерах. В русскоязычной литературе характеристика (1) носит название «спектральная яркость» и зависит от числа фотонов в спектральном интервале $BW=0.1\%$.
На стр.52 автор утверждает, что «..яркость источника излучения на основе узкой внутренней мишени бетатрона примерно в 11 раз выше, чем при стандартной...мишени». Подобное утверждение будет справедливым только при совпадении спектров излучения от обеих мишеней.
- 2) Автор на стр. 53 приводит спорное утверждение, что «..простым коллимированием пучка излучения ... возможно ..уменьшить размер фокуса». Коллимацией можно уменьшить расходимость пучка излучения и, соответственно, размер поля излучения на исследуемом объекте, но размер фокусного пятна (т.е. области взаимодействия электронного пучка с мишенью) уменьшить невозможно.
- 3) На рис.25 приведена зависимость мощности дозы излучения в относительных единицах, тогда как на стр.51 со ссылкой на этот рисунок приводятся значения минимальной максимальной излученной энергии (30 Дж и 58 Дж). В предыдущем тексте диссертации используется общепринятая характеристика – мощность экспозиционной дозы (МЭД), измеряемой в Гр/мин. Представляется, что зависимость на рис.35 также должна быть описана в этих единицах.

Заключение

Несмотря на отмеченные недостатки, поставленные перед автором задачи решены вполне корректно с научной точки зрения, полученные результаты достоверны и хорошо апробированы, а их ценность очевидна. Автореферат полностью отражает содержание, основные результаты и выводы диссертационной работы, а публикации автора достаточно полно доводят их до сведения научной общественности.

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 и выполнена по актуальной и востребованной теме, имеет высокую степень готовности.

Таким образом, можно утверждать, что диссертация «Разработка, исследование и применение микрофокусного источника тормозного излучения на основе малогабаритного бетатрона в рентгенографии и томографии высокого разрешения» по совокупности проведённых исследований, полученных результатов, их актуальности, новизне и достоверности, научной и практической значимости, количеству публикаций, соответствует требованиям (п.8, п.9, п.10) Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (Приказ № 66/од от 28.08.2019г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, 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».

Доктор физико-математических наук, профессор,
Ведущий научный сотрудник
Исследовательская школа физики высокоэнергетических процессов,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»
Тел.: +7 (3822) 70-18-28
E-mail: potylitsyn@tpu.ru

А.П. Потылицын

Подпись А.П. Потылицына заверяю
Ученый секретарь ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»



О.А. Ананьева