



Государственная корпорация по атомной энергии
"Росатом"
Федеральное государственное унитарное предприятие
**РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР**
Всероссийский
научно-исследовательский
институт экспериментальной физики
ФГУП "РФЯЦ – ВНИИЭФ"

21.03.2017 № 185-04/10909

Отзыв официального оппонента Завьялова Николая Валентиновича
на диссертационную работу Максимова Александра Васильевича
«Разработка, создание и ввод в эксплуатацию магнитооптической структуры
и системы многооборотного быстрого вывода протонного радиографического
комплекса на энергию 50÷70 ГэВ на базе
синхротрона У-70»

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

После введения в действие Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний особую значимость приобрела разработка методов экспериментальных исследований и диагностики ключевых узлов и технических решений изделий ядерно-оружейного комплекса. Новые экспериментальные методы, прежде всего, необходимы для верификации расчетных методик.

Одним из основных методов получения экспериментальных данных для верификации расчетных методик является импульсная рентгенография. Первые отечественные эксперименты по исследованию быстропротекающих процессов при помощи импульсных рентгеновских трубок были проведены Вениамином Ароновичем Цукерманом в 40-х годах прошлого века. Несмотря на свою распространенность, рентгенография, как метод регистрации быстропротекающих процессов, не лишена ряда недостатков, особенно для объектов большой массовой толщины. Основная причина имеющихся проблем обусловлена высоким фоном рассеянного тормозного излучения,

большим статистическим шумом вследствие малого количества квантов, прошедших через объект, невысокой эффективностью регистрации рентгеновских квантов. Другая причина ограничения использования рентгенографии обусловлена сложностью реализации в этом методе большого количества кадров для одного ракурса.

Метод протонной радиографии, при условии применения для формирования изображения магнитооптических систем, лишен приведенных выше недостатков и обладает привлекательными характеристиками по просвечивающей способности, геометрическому и плотностному разрешению, высокой эффективностью регистрации протонов. Использование последовательности сгустков (банчей), выводимых из протонного синхротрона, позволяет проводить многокадровую съемку изучаемых быстропротекающих процессов.

Диссертация А.В. Максимова посвящена разработке, созданию и внедрению магнитооптической системы формирования протонного изображения и системы многооборотного быстрого вывода пучка для протонного радиографического комплекса, в связи с чем актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Работы, выполненные автором, привнесли значительный вклад в создание на базе ускорителя У-70 двух радиографических установок: пилотной (опытной) установки для многокадровой протонной радиографии, состоявшей из одного квартета квадрупольных линз с минус единичной матрицей передачи и полномасштабной установки – радиографического комплекса ПРГК-100 с магнитооптической системой, состоящей из трех квартетов квадрупольных линз с увеличенной апертурой. Автор обобщил результаты разработки, настройки и штатной эксплуатации пилотной установки, а также предложил и реализовал методику построения расчетов магнитооптической системы полномасштабного протонного радиографического комплекса.

Перечисленные положения свидетельствуют о практической значимости и востребованности темы диссертации.

НОВИЗНА ПРЕДЛОЖЕНИЙ И ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Многие результаты, изложенные в диссертации, обладает элементами научной и технической новизны. Впервые в отечественной практике создана установка, позволяющая проводить регистрацию однократных

быстропротекающих процессов динамических объектов с высокой массовой толщиной, с полем обзора 220 мм, при многокадровом просвечивании. Расчеты, выполненные автором, обеспечили возможность создания режима многооборотного быстрого вывода пучка длительностью до 20-50 мкс, что значительно расширило возможности радиографической установки. Результаты опубликованы в статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК: «Приборы и техника эксперимента», «Атомная энергия», «Журнал технической физики» и реализованы на протонном радиографическом комплексе ПРГК-100

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации 96 страниц. Список литературы включает 24 наименования.

Первая глава имеет обзорный характер. В ней приводятся общие сведения о методе импульсной протонной радиографии на основе ускорительных технологий, современное состояние дел в этой области. Приведена информация об установках, созданных в России и за рубежом. Также в первой главе изложены принципы построения магнитооптических систем для установок протонной радиографии.

Во второй главе приведено физическое обоснование и описание пилотной протонной радиографической установки на пучке У-70 с энергией 50 ГэВ. Приведена информация о протонном синхротроне У-70. Представлены результаты экспериментов на пилотной установке, полученные в 2005-2011 годах.

В третьей главе приведены характеристики магнитооптической системы полномасштабного протонного радиографического комплекса ПРГК-100. Рассмотрены вопросы влияния параметров протонного пучка и параметров комплекса на качество изображения объекта.

В четвертой главе приведены расчеты, выполненные автором, по обоснованию многооборотного быстрого вывода пучка из У-70 с длительностью несколько десятков микросекунд для многокадровой регистрации динамических объектов.

В пятой главе представлены первые результаты и анализ работ, выполненных специалистами РФЯЦ-ВНИИЭФ и ГНЦ ИФВЭ на протонном радиографическом комплексе ПРГК-100, а также приведены их оценки в части верификации и подтверждения достоверности результатов диссертации.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

ЗАМЕЧАНИЯ И НЕДОСТАТКИ

К сожалению, работа не лишена некоторых неточностей и недостатков.

1. На 3 и 43 страницах приводятся характеристики протонного радиографического комплекса ПРГК-100, в которых констатируется, что длительность экспозиции одного кадра составляет $100 \div 150$ нс. Данная характеристика является принципиальной для любой импульсной радиографической установки, поскольку она определяет размытие изображения движущихся границ объекта (динамическое размытие). Длительность экспозиции одного кадра в протонной радиографии определяется длительностью просвечивающего объект банча, которая составляет порядка 20 нс. При такой длительности, границы объектов, исследуемых на ПРГК-100, сместятся на 140 мкм, что допустимо для заявленных характеристик комплекса. При времени экспозиции 150 нс размытие границы составило бы 1 мм, что неприемлемо для созданной установки. Временной интервал 150 нс является временем свечения сцинтиллятора под воздействием протонного облучения и им же определяется экспозиция оптических регистраторов протонного комплекса. Автору следует разделять эти две характеристики установки.

2. В своих оценках характеристик протонного радиографического комплекса автор все время опирается на данные многокадровой системы регистрации протонных изображений. Автор является разработчиком магнитооптической системы, и для оценки ее качества целесообразно было бы использовать методы диагностики ГНЦ «ИФВЭ». Методики и результаты измерения пространственного и плотностного разрешения РФЯЦ-ВНИИЭФ, приведенные в работе автором, в данном случае являются косвенными и не позволяют вычлнить из общих характеристик комплекса ту часть, за формирование которой отвечал непосредственно автор диссертации.

3. В главе 4 приведены расчетные оценки эффективности многооборотного вывода. Эффективность вывода 85%, эффективность использования пучка – 60%. В главе 5, посвященной экспериментальным результатам, приведены оценки только длительности радиографирования при многооборотном выводе, в то время как численного результата измерения эффективности не приведено.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера, поскольку не влияют на результаты, полученные в процессе выполнения поставленной перед диссертантом задачи.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тема представленной диссертации актуальна и имеет четкую практическую направленность. Работа посвящена разработке, созданию, и вводу в эксплуатацию магнитооптической структуры и системы многооборотного быстрого вывода протонного радиографического комплекса на энергию 50÷70 ГэВ на базе синхротрона У-70.

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, содержащей решение актуальной, имеющей практическое значение задачи. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации – МАКСИМОВ Александр Васильевич заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Официальный оппонент,
доктор физ.-мат. наук

Н.В. Завьялов

Николай Валентинович Завьялов
Федеральное государственное унитарное предприятие, Российский федеральный ядерный центр, Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), г. Саров, Российская Федерация
Директор Института ядерной и радиационной физики РФЯЦ-ВНИИЭФ
8(83130)27593
zavyalov@expd.vniief.ru

21 марта 2017 г.

Подпись Н.В. Завьялова удостоверяю:

Ученый секретарь РФЯЦ-ВНИИЭФ
кандидат физ.-мат. наук



В.В. Хижняков