

ОТЗЫВ
официального оппонента
к.т.н., доцента М.В. Лалаяна
на диссертацию Азаряна Николая Сергеевича
на тему «Сверхпроводящие ускоряющие резонаторы из ниобия для
электронных линаков», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 01.04.20 – физика
пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Актуальность избранной темы. Диссертация Н.С. Азаряна посвящена решению вопросов создания высокочастотных сверхпроводящих ускоряющих структур, которые являются основными элементами линейных ускорителей, предназначенных для научных исследований. Использование подобных технологий в ускорительной технике даёт возможность создавать установки, работающие в непрерывном или квази-непрерывном режиме и генерирующие пучки заряженных частиц с прецизионными параметрами. Необходимость в таких ускорительных комплексах обусловлена их широким использованием при решении широкого круга задач например физики высоких энергий (коллайдеры) и при проведении прикладных исследований (источники синхротронного излучения). Несмотря на достигнутые в ведущих ускорительных центрах успехи по исследованию, разработке и созданию сверхпроводящих ускоряющих резонаторов, остаётся не решенным значительный объем задач, имеющих принципиальный характер для создания современных ускоряющих структур с параметрами, удовлетворяющими всё более жёстким требованиям к их характеристикам.

Достоверность и новизна

В качестве научной новизны диссертации следует отметить разработанную методику, которая позволяет получать элементы ячеек

ускоряющих резонаторов эллиптической формы путём гидроударной штамповки из листа ниобия высокой чистоты. Экспериментально определены условия, позволяющие формировать элементы резонаторов с соблюдением всех условий и требований, предъявляемых к сверхпроводящим ускоряющим структурам. Разработанное оригинальное устройство ввода мощности СВЧ-волны, необходимое для формирования электромагнитных полей в резонаторе, позволяет организовать высокоэффективную передачу мощности в резонатор.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и списка использованных и цитируемых литературных источников. Объем диссертации - 108 страниц, включая 51 рисунок и 12 таблиц. Список литературы содержит 94 наименования.

Введение содержит основанный на анализе литературы общий обзор состояния исследований по данной тематике, приводятся общие данные о параметрах и характеристиках сверхпроводящих и традиционных («тёплых») ускоряющих структур. Описываются технологии создания сверхпроводящих ускоряющих резонаторов. Кроме того, во введении содержится обоснование актуальности работы, перечислены цели исследования и полученные результаты.

Первая глава содержит полученные методом численного моделирования результаты расчётов электродинамических характеристик (ЭДХ) ускоряющих резонаторов на рабочую частоту 1,3 ГГц и их геометрию. Сформулированы требования и допуска на точность изготовления, соблюдение которых необходимо для реализации необходимых ЭДХ. Приведены результаты исследований параметров образцов ниобия высокой чистоты, на основании которых сделан вывод о пригодности материала для

производства резонаторов. Описаны отработанные технологии химического травления ниобия, являющегося обязательным этапом в технологической цепочке производства резонаторов.

Описывается спроектированная технологическая оснастка и параметры для штамповки элементов (заготовок) чашек резонаторов методом гидроударной штамповки, который является наиболее подходящим, позволяет реализовать равномерную деформацию металла и гарантировать отсутствие загрязнения ниобия, которое при использовании традиционных технологий обработки неизбежно из-за контакта с оснасткой. Проведённые экспериментальные исследования позволили получить изготовленные с высокой точностью элементы, чем была показана применимость данного метода и правильность полученных данных по предельной степени вытяжки ниобия.

Во второй главе описываются исследования по использованию технологии электронно-лучевой сварки ниобиевых элементов резонатора. Предложены, обоснованы и протестированы режимы и параметры этого ключевого технологического этапа производства. Результаты исследований микроструктуры сварных швов свидетельствуют о их высоком качестве. Проведённый комплекс работ по изучению свойств образцов сверхпроводящего ниобия позволил установить лишь незначительную деградацию свойств ниобиевых элементов, не превышающую допустимых пределов.

Полученные данные легли в основу разработанной и реализованной технологии производства ниобиевых высокочастотных резонаторов.

Изготовленные таким образом опытные образцы ускоряющих резонаторов прошли цикл экспериментальных исследований, ход и результаты которого содержатся в третьей главе. Создана измерительная система и программа исследований, позволившая экспериментально

исследовать основные ЭДХ сверхпроводящих резонаторов как при комнатных условиях, так и при криогенных температурах. Полученные значения добротности резонаторов в сверхпроводящем состоянии свидетельствуют о высоком качестве резонаторов и о применимости разработанных методик их изготовления.

Полученные в диссертации результаты прошли хорошую апробацию. Они опубликованы в 28 работах (из них 5 публикаций в рецензируемых журналах), и отражены в 12 докладах на российских и международных конференциях по ускорительной технике.

Научная новизна работы подтверждается большим объемом данных и выводов, полученных впервые.

Все приведенные результаты обоснованы и не противоречат установленным теоретическим и экспериментальным фактам. При этом работа выполнена на высоком научном уровне с использованием аналитических методов и методов численного моделирования. Измеренные характеристики опытных образцов изготовленных сверхпроводящих ускоряющих резонаторов и полученные экспериментальные данные находятся в хорошем соответствии с результатами расчётов. Экспериментальные исследования проведены с использованием современной аттестованной аппаратуры и апробированных методик. Этим подтверждается достоверность полученных результатов.

В заключении сформулированы результаты проведенной работы, из которых, как наиболее важные можно отметить следующие: создана и апробирована оригинальная технология производства сверхпроводящих ускоряющих резонаторов для линейных ускорителей электронов; изготовленные опытные образцы таких резонаторов протестираны, по результатам измерения их ЭДХ сделан вывод о стабильности и воспроизводимости результатов; предложен и реализован инновационный

метод гидроударной штамповки ниобиевых элементов резонаторов, предложены и апробированы параметры и режимы электронно-лучевой сварки; создана экспериментальная база для измерения ЭДХ ускоряющих сверхпроводящих резонаторов.

Тем не менее, представленная работа не лишена недостатков: в тексте диссертации отсутствует описание методик настройки резонаторов, которые являются необходимыми для получения требуемых электродинамических характеристики зачастую носят существенный характер; при обосновании предложенного метода измерения добротности резонатора по потере мощности тестовым электронным пучком не даётся сравнение с широко распространённой и существенно более простой в реализации методикой измерения по декременту затухания энергии СВЧ колебаний в резонаторе.

Указанные замечания принципиального характера не имеют, не ставят под сомнение основные выводы и результаты, ценности и значимости проделанной работы не умаляют.

Заключение

Диссертационная работа Н.С. Азаряна выполнена на высоком научном уровне. Результатом работы является решение важной задачи в области физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники, а именно, разработка и создание экспериментальной базы для полного производственного цикла изготовления и тестирования сверхпроводящих ускоряющих резонаторов.

Полученные результаты можно классифицировать как новые, обоснованные, достоверные и имеющие большое практическое и научное значение. Основные результаты диссертации получены, по существу, лично автором или при его непосредственном участии.

Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника (по техническим наукам). Автореферат правильно отражает содержание диссертации, основные результаты которой известны специалистам.

Таким образом, соискатель Азарян Николай Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук, доцент

Лалаян Михаил Владимирович

05 апреля 2019 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

115409 г. Москва, Каширское ш., д.31

тел.: 7(495) 7885699 доб. 9823, e-mail: MVLalayan@mephi.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Подпись сотрудника НИЯУ МИФИ Лалаяна М.В. удостоверяю:

