

«УТВЕРЖДАЮ»

**Проректор
Московского государственного
университета имени М. В. Ломоносова
профессор А.А. Федянин**

« 19 » ноября 2020 г.

О Т З Ы В

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» на диссертацию РЫБАКОВА Ивана Викторовича «Физическое обоснование нормально проводящего ускоряющего резонатора для интенсивного линейного ускорителя ионов водорода», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа И.В. Рыбакова посвящена разработке на основе ускоряющей структуры CDS (Cut Disk Structure) первого резонатора основной части линейного ускорителя ионов водорода (ранее Московской мезонной фабрики) Института ядерных исследований РАН.

Актуальность работы вытекает из необходимости модернизации линейного ускорителя с целью расширения фронта фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в ИЯИ РАН, за счет увеличения среднего тока пучка. В настоящее время, как указано в диссертации, средний ток ускоренного пучка ограничен тем, что из-за пробоев в первом резонаторе основной части ускорителя, при изготовлении которого отрабатывались технологические процессы и процедура настройки, длительность высокочастотного импульса не может быть установлена большей 170 мкс. Используемая в основной части ускорителя ускоряющая структура с шайбами и диафрагмами конструктивно сложна, сложна в настройке, имеет значительные поперечные размеры и массу, что обуславливает высокую стоимости работ по ее изготовлению и препятствует замене резонатора на аналогичной. Таким образом, перед автором диссертации стояла задача сравнительного анализа известных типов ускоряющих структур и выбора варианта, не уступающего по электродинамическим характеристикам структуре, используемой в настоящее время, но существенно более простого в изготовлении и настройке.

Содержание диссертации и степень её завершённости.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Объем диссертации составляет 83 страницы, включая 43 рисунка и 15 таблиц. Список литературы содержит 56 наименований.

Во введении описана постановка задачи, цели и задачи исследования, методология и методы исследования, научная новизна, научная и практическая значимость работы, достоверность результатов, личный вклад автора, приведены положения, выносимые на защиту, представлена апробация результатов диссертации, а также описаны структура и объем диссертации.

В первой главе приведены результаты сравнения параметров различных типов ускоряющих структур, которые могли бы быть использованы в первом резонаторе основной части линейного ускорителя, в том числе, электродинамических характеристик структур с учетом тепловой нагрузки высокочастотными потерями в стенках, технологической сложности изготовления и массогабаритных показателей. В качестве оптимальной выбрана разработанная ранее в ИЯИ РАН ускоряющая структура типа CDS, имеющая малые поперечные размеры, высокое значение эффективного шунтового сопротивления, большой коэффициент связи ячеек и конструктивно простую систему охлаждения.

Во второй главе представлены результаты оптимизации параметров ускоряющей структуры CDS для первого резонатора основной части линейного ускорителя. Приведены результаты выбора параметров четырех секций резонатора, различающихся длиной ячеек; результаты расчета требований к точности изготовления структуры; вероятности развития и методов подавления мультипакторного разряда в ячейках связи; результаты моделирования процедуры измерения и настройки резонансных частот ячеек.

Третья глава посвящена проблеме объединения четырех секций в резонатор с помощью мостовых устройств. Описана методика расчета электродинамических характеристик многосекционного резонатора с помощью многомодового приближения, не требующая значительных вычислительных ресурсов. Приведены результаты оптимизации мостового устройства с целью снижения потерь мощности в нем.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

Диссертация является завершенным научным исследованием, в результате выполнения которого получены все данные, необходимые для проведения работ по замене первого резонатора основной части ускорителя с целью увеличения среднего тока пучка.

Научная новизна работы заключается в обосновании применимости ускоряющей структуры CDS в линейных ускорителях ионов водорода при энергии частиц свыше 100 МэВ; в реализации новой, основной на программе

ANSYS, методики оценки влияния отклонений геометрических размеров ячеек на отклонения частот ускоряющей моды, моды связи и коэффициента связи ячеек; в разработке и реализации многомодового приближения расчета резонатора, содержащего несколько ускоряющих секций, связанных мостовыми устройствами.

Практическая ценность работы состоит в том, что ее результаты могут быть использованы при разработке конструкции, изготовлении, настройке и установке нового резонатора с ускоряющей структурой CDS в начале основной части ускорителя взамен существующего, что должно позволить значительно увеличить величину среднего тока ускоренного пучка.

Значимость полученных автором диссертации результатов заключается в том, что они могут быть использованы при разработке новых или модернизации существующих нормальнопроводящих линейных ускорителей ионов водорода с большим средним током и высокой энергией ускоренного пучка, предназначенных для фундаментальных и прикладных исследований.

Обоснованность и достоверность выводов и заключений вытекает из использования хорошо апробированного программного обеспечения, сопоставления результатов расчетов с экспериментальными данными.

Основные результаты диссертации опубликованы в семи печатных работах, из которых две статьи – в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК РФ, две статьи опубликованы в периодических изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus. Указанные публикации и автореферат в полной мере отражают содержание диссертации. Язык и стиль изложения обеспечивают адекватное восприятие материала.

Замечания по работе

В качестве недостатков, не снижающих значимости полученных результатов, можно отметить следующие:

1. Необходимость замены первого резонатора основной части линейного ускорителя, как указано в диссертации, обусловлена пробоями в нем при длительности высокочастотного импульса более 170 мкс. Планируя замену резонатора, важно понимать природу наблюдающихся пробоев с тем, чтобы гарантированно избежать повторения ситуации с новым резонатором. Причиной может быть плохое состояние внутренней поверхности ускоряющей структуры, высокая напряженность электрического поля где-либо на ее поверхности, наличие микротечи, мультипакторный разряд и т.п. В диссертации отсутствует обсуждение данного вопроса.
2. Есть вопрос по рисунку 1.10 (а) - распределение максимальных температур в структуре CDS при использовании только внешних каналов охлаждения. Очевидно, что наличие щелей (окон) связи на боковых стенках, препятствующих теплопередаче, должно приводить к значительной азимутальной неоднородности распределения температуры, однако на приведенном рисунке такая неоднородность не наблюдается.

Заключение.

Диссертационная работа И.В. Рыбакова «Физическое обоснование нормально проводящего ускоряющего резонатора для интенсивного линейного ускорителя ионов водорода» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 год № 335, а сам Иван Викторович Рыбаков, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв составил

Ведущий научный сотрудник, ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ,
к.ф.м.н.

Ермаков А.Н.

Результаты диссертации рассмотрены и одобрены на семинаре ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ, состоявшемся 5 ноября 2020 г.

И.о. заведующего ОЭПВАЯ,
д.ф.м.н, профессор

Шведунов В.И.

И.о. директора НИИЯФ МГУ
Член-корреспондент РАН

Боос Э.Э.

Сведения о ведущей организации

<p>Полное и сокращенное наименование организации</p>	<p>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», МГУ имени М.В.Ломоносова</p>
<p>Место нахождения (город, область)</p>	<p>Г. Москва</p>
<p>Почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты, адрес официального сайта организации в сети Internet (при наличии)</p>	<p>119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1 телефон: +7 (495) 939-41-06 E-mail: unir@rector.msu.ru сайт в сети Internet: www.msu.ru</p>
<p>Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющих отзыв, за последние 5 лет по теме диссертации</p>	<p>1. Расчёт и измерение эффекта обратной бомбардировки катода в технологическом линейном ускорителе электронов со стоячей волной [Текст] / В. В. Ханкин, В. И. Шведунов // Вестник Московского университета : Физика, астрономия. – М., 2020. – No 1. – С. 37–41.</p> <p>2. Electron accelerators design and construction at Lomonosov Moscow State University [Text] / V. I. Shvedunov, A. S. Alimov, [et al.] // Radiation Physics and Chemistry. – US, 2019. – Vol. 159. – P. 95–100.</p>

3. Darkening of UV optics irradiated at a CW 1-MeV linear electron accelerator [Text] / V. D. Zvorykin, V. I. Shvedunov, [et al.] // Journal of Nuclear Materials. – Netherlands, 2018. – Vol. 509. – P. 73–77.
4. Многоцелевой импульсный разрезной микротрон на энергию 55 МэВ [Текст] / А. Н. Ермаков, В. И. Шведунув [и др.] // Приборы и техника эксперимента. – М., 2018. – No 2. – С. 20–37.
5. Разработка комплекса лучевой терапии на основе линейного ускорителя электронов энергией 6 МэВ и конусно-лучевого компьютерного томографа [Текст] / И. И. Родько, В. И. Шведунув [и др.] // Атомная энергия. – М., 2018. – Т. 125, No 5. – С. 292–295.
6. Расчёт динамики пучка электронов в ускорителе С-диапазона для комплекса лучевой терапии [Текст] / Л. Ю. Овчинникова, В. И. Шведунув // Вестник Московского университета : Физика, астрономия. – М., 2018. – No 6. – С. 34–38.

	<p>7. Применение пучков ускоренных электронов для радиационной обработки продуктов питания и биоматериалов [Текст] / А. С. Алимов, В. И. Шведунов [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2017. – Т. 81, No 6. – С. 819–823.</p> <p>8. Фотоядерная технология обнаружения скрытых взрывчатых веществ [Текст] / Е. Е. Журавлёв, В. И. Шведунов [и др.] // Ядерная физика и инжиниринг. – М., 2017. – Т. 8, No 4. – С. 336–343.</p>
--	---