



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

Дубна, Московская область, Россия 141980 Dubna Moscow Region Russia 141980
Telefax: (7-495) 632-78-80 Tel.: (7-49621) 65-059 AT: 205493 WOLNA RU E-mail: post@jinr.ru http://www.jinr.ru

_____ № _____
на № _____ от _____

Утверждаю:

Директор Международной
межправительственной организации
Объединенного института ядерных
исследований,

д. ф.-м. н., профессор, академик РАН

Матвеев В.А.



_____ «01» 12 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Стрельникова Никиты Олеговича

«Проблемы создания прецизионных ондуляторов на постоянных магнитах для рентгеновских лазеров на свободных электронах»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Актуальность темы исследования

Ондулятор является основным компонентом современных источников синхротронного излучения и лазеров на свободных электронах (ЛСЭ). Ондуляторная линия рентгеновских ЛСЭ состоит из сотен периодов полной длиной в несколько десятков метров. Генерация рентгеновского излучения требуемого качества в такой магнитной системе накладывает предельно

достижимые допуски на механические и магнитные характеристики в отдельных секциях этой системы. На таком уровне любые, даже самые малые отклонения этих характеристик от допусков, например, из-за поля Земли, неучтённых ошибок при магнитных измерениях или неоднородности амплитуды магнитного поля, способны привести к неприемлемым искажениям траектории электронного пучка и, как следствие, к значительному ухудшению качества излучения. Поскольку в ондуляторах на постоянных магнитах изменение амплитуды поля происходит за счёт изменения величины магнитного зазора, вышеуказанные проблемы только усугубляются. К примеру, воспроизводимость магнитного зазора должна быть в пределах нескольких микрон при силе магнитного притяжения более 10 кН на метр длины. В диссертации Н. О. Стрельникова рассмотрены способы решения данных проблем, возникающих при разработке ондуляторов для рентгеновских ЛСЭ, на примере будущего ондулятора для стэнфордского линейного ускорителя (LCLS-II).

Оценка структуры и содержания работы

Содержание и структура диссертации выстроены в логической последовательности таким образом, что для каждой последующей главы важны результаты и выводы из предыдущих глав. Определение окончательных магнитных характеристик прототипа ондулятора HGVPV на уровне, соответствующем требованиям к источникам РИ 4-го поколения, невозможно без правильно поставленных магнитных измерений и учёта внешних факторов, влияющих на результаты этих измерений. Содержание и структура диссертации соответствуют поставленной цели исследования,

Соответствие темы и содержания диссертации заявленной специальности

Как уже упоминалось выше, ондулятор является основным рабочим инструментом современных источников синхротронного излучения и лазеров на свободных электронах, а соответственно и важным элементом современной ускорительной техники. Данная работа посвящена физике ондуляторов и ондуляторного излучения, техническим аспектам при создании и работе с самыми передовыми устройствами этого типа. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника и согласуется с темой данной работы.

Соответствие автореферата диссертации её содержанию

В автореферате дано краткое описание каждого раздела диссертации, включая актуальность работы, постановку цели, научную новизну и практическую ценность. Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК и соответствует содержанию работы.

Личный вклад соискателя в получении результатов исследования

Описываемые в диссертации работы выполнялись коллективно, тем не менее, личный вклад диссертанта является определяющим. Он включает в себя участие в постановке задачи, проведение численных и аналитических расчётов, выполнение экспериментальной работы, анализ результатов и подготовку публикаций.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность результатов исследований автора диссертации подтверждается их практическим использованием при создании секции ондуляторной линии генерации жёсткого рентгеновского излучения (РИ) на ЛСЭ LCLS-II стэнфордского линейного ускорителя (г. Сан Франциско, США). Основные результаты диссертации опубликованы в 4 научных работах, 3 из которых в периодических изданиях, входящих в рекомендуемый перечень ВАК. Результаты приведённых теоретических и экспериментальных исследований обсуждались на 3 международных конференциях.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Представляется интересным Созданный в Аргоннской национальной лаборатории США первый в мире ондулятор с компенсацией магнитных сил пружинами с нелинейной нагрузочной характеристикой представляет несомненный практический интерес. Такое техническое решение позволило не только существенно упростить конструкцию, снизить вес и поперечные размеры ондулятора, удовлетворив при этом всем жёсткие требования, предъявляемые к будущим ондуляторам LCLS-II, но и, как следствие, повернуть сформировать генерируемое излучение с вертикальной поляризацией. Это открывает новые возможности для исследовательской работы с использованием такого излучения, а также упрощает работу с некоторыми оптическими элементами экспериментальных станций. Например, монохроматорами.

В ходе исследований было показано, что методика магнитных измерений и настройки ондуляторов, применяемая в Аргоннской Национальной Лаборатории (ANL), позволит работать с ондуляторами для источников РИ 4-го поколения.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанные методы улучшения точности магнитных измерений и предложенная конструкция плоского ондулятора с вертикальной поляризацией могут быть использованы в ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, НИЦ «Курчатовский институт» и других ускорительных центрах.

Новизна и научная ценность полученных результатов

Усовершенствован процесс калибровки двухосевого датчика Холла фирмы Senis, показано, что стандартное отклонение дрейфа смещения нуля составляет 0,066 Гс, температурная чувствительность 50 ppm на 10 С, исследован планарный эффект Холла. Впервые подробно экспериментально и теоретически изучено влияние магнитного поля Земли и его ориентации на магнитное поле ондулятора в его рабочем зазоре. Вертикальная компонента магнитного поля Земли была экранирована рамой из ферромагнитного материала. Показано, что горизонтальная компонента магнитного поля Земли приводит к смещению траектории частицы в пределах 2 мкм.

Впервые применен метод выборки компенсирующих пружин, позволивший обеспечить относительное изменение параметра ондуляторности не более 0,0036% при проектном требовании 0,023%.

Построенные в Аргоннской национальной лаборатории (ANL, США) прототипы ондулятора с горизонтальным магнитным полем и изменяемым магнитным зазором (HGVP) являются первыми в мире специализированными ондуляторами для генерации РИ с вертикальной поляризацией. Использование подобных устройств становится возможным благодаря строительству новых источников РИ 4-го поколения. Данные устройства являются первыми компактными ондуляторами с полной компенсацией магнитных сил во всём диапазоне рабочих зазоров. Для компенсации магнитной силы впервые были применены наборы конических пружин, обладающих нелинейной нагрузочной характеристикой, точно соответствующей зависимости магнитной силы от зазора для данной магнитной структуры.

Замечания по диссертационной работе

1. Магнитным характеристикам ондулятора посвящен только один параграф 4.5.4 (две страницы текста и один рисунок, где приведены результаты расчетов траектории электронов в ондуляторе).

2. Рассмотрению деформаций в ондуляторе посвящена 4-я глава, составляющая по объему половину диссертации. В главе приведен расчет деформации балки и созданы инженерно-физические методы ее компенсации. Последнее является значительным научным достижением, но относится, скорее, к техническим наукам. В связи с этим диссертация больше соответствует степени кандидата технических наук.

3. Первая глава диссертации посвящена классическому описанию синхротронного и ондуляторного излучения, однако в ней нет обзора работ, кроме двух ссылок на работы Н.А.Винокурова, Е.Б.Левичева и Фейнмановские лекции.

4. Деформация приводит к изменениям профиля зазора ондулятора, что приводит к изменению первого и второго интеграла на 10^{-3} мкТ·м и $0,76$ мкТ·м², что на 3-4 порядка меньше требуемых значений 40 мкТ·м и второго интеграла 150 мкТ·м², соответственно. Отсюда следует, что рассмотренные эффекты деформации никак не влияют на траектории частиц и спектральные характеристики излучения. Это достижение необходимо было бы отметить, подчеркнув также, что данные эффекты приводят только к снижению интенсивности излучения за счет увеличения фазовой ошибки.

5. Не приведено никаких экспериментальных данных о возможном снижении интенсивности излучения по экспоненциальной зависимости с ростом среднеквадратичной фазовой ошибки в соответствии с «формулой Уолкера».

6. Диссертация написана чётким языком, при минимальном количестве опечаток. Удалось лишь обнаружить, что в структуре диссертации указан её объём 133 страниц при фактическом объёме 135 страниц. Неудачные выражения на стр. 16 – «глядя на рисунке 5», на стр. 48 – «измерения датчиком Холла дублируются другими техниками», заглавие главы 3 находится не в начале страницы, а смещено вниз.

7. Поскольку ондулятор ещё не установлен на ускоритель (и не скоро будет установлен), то в диссертации неизбежно отсутствуют экспериментальные исследования с пучком электронов.

Заключение по диссертации о соответствии её требованиям

Проделана большая работа со значительной технической составляющей. Важно, что в этой работе есть непосредственная связь физики ондулятора и его магнитных характеристик с расчётом основных механических элементов конструкции. Необходимо отметить чёткое понимание того, что было действительно нужно с точки зрения физики ондуляторов и параметров излучения для рентгеновского ЛСЭ.

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную характеристику диссертационной работы. В целом диссертация выполнена на высоком научном и профессиональном уровне и является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные и проверенные на практике технические разработки, обеспечивающие решение важной задачи создания прецизионных ондуляторов на постоянных магнитах для рентгеновских лазеров на свободных электронах и источников РИ 4-го поколения.

Диссертационная работа Н.О. Стрельникова «Проблемы создания прецизионных ондуляторов на постоянных магнитах для рентгеновских лазеров на свободных электронах» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Отзыв рассмотрен и утверждён на открытом научном семинаре Секции физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники Общеинститутского семинара Международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований ОИЯИ, протокол № 67 от 17 ноября 2016 г.

Отзыв подготовили:

Мешков Игорь Николаевич,

член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук,
профессор,

советник дирекции ОИЯИ, главный научный сотрудник СЭО ЛЯП

специальность 01.04.20-физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Председатель Секции физики пучков заряженных частиц и ускорительной
техники Общеинститутского семинара

meshkov@jinr.ru

тел. 8-496-21-65-193

подпись

Дата 29.11.2016



Мешков И.Н.

Сыресин Евгений Михайлович

доктор физико-математических наук,

профессор,

главный научный сотрудник Отдела новых ускорителей,

Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ,

специальность 01.04.20-физика пучков заряженных частиц и ускорительная
техника.

подпись

Дата 29.11.2016



Сыресин Е.М.

Главный учёный секретарь ОИЯИ

Русакович Николай Артемьевич

доктор физико-математических наук,

профессор

почтовый адрес:

Московская обл., г.Дубна

ул.Жолио-Кюри 6,

тел.: (49621) 6-59-40, 6-22-21

адрес электронной почты

main@jinr.ru

подпись

Дата 01.12.2016



Русакович Н.А.