

ОТЗЫВ

официального оппонента 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.

Диссертация Стрельникова Н. О. посвящена рассмотрению одной из проблем создания источников рентгеновского излучения 4-го поколения, ЛСЭ, конкретно – проблеме создания ондулятора с горизонтально ориентированным магнитным полем и решению связанных с этой проблемой задач. Ондулятор предназначен для использования в качестве устройства генерации рентгеновского излучения для рентгеновского ЛСЭ LCLS-II, полученные результаты и рекомендации могут быть применены и в других ускорительных центрах, например, в ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, НИЦ «Курчатовский институт». Работа Стрельникова Н. О. имеет конкретную направленность, имеет широкую область применения и, несомненно, актуальна.

В целом диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Работа изложена на 135 страницах представленного текста, содержит 103 рисунка и 2 таблицы. В списке литературы – 36 работ.

Во ВВЕДЕНИИ, исходя из анализа требований, предъявляемых к РИ 4-го поколения, обосновывается необходимость создания ондулятора с горизонтальным магнитным полем с полной компенсацией магнитных сил, действующих между несущими элементами устройства и делается вывод об актуальности работы.

В ПЕРВОЙ главе автор на основании известных теоретических представлений проводит анализ свойств ондуляторного излучения и приводит зависимости его параметров от характеристик собственно ондулятора и параметров генерирующего пучка электронов.

Во ВТОРОЙ главе подробно анализируется проблема достижения необходимой точности магнитных измерений при настройке ондуляторов, сравниваются датчики Холла различных фирм. Делается вывод, что двухосевой датчик Холла фирмы Senis имеет наилучшие параметры и при

правильной калибровке получаемые данные в пределах заданной точности близки к реальным параметрам измеряемого магнитного поля.

В ТРЕТЬЕЙ главе анализируется влияние внешнего магнитного поля Земли, как на процесс измерений, так и на магнитные свойства ондулятора. Делается вывод о том, эффект прохождения магнитного поля Земли в зазор разрабатываемого прототипа ондулятора с горизонтальным магнитным полем не нарушает основное ограничение на смещение траектории электронов в пределах 2 мкм для секции ондулятора длиной 3.4 м.

В ЧЕТВЕРТОЙ главе изложена основная идея диссертации о возможности создания ондулятора с горизонтальным магнитным полем с полной компенсацией магнитной силы набором пружин с нелинейной нагрузочной характеристикой, приведено доказательство ее работоспособности и сделан основной вывод о правомерности ее применения. С этой целью проведен последовательный сопоставительный анализ известных способов компенсации магнитной силы и показано, что использование набора пружин с нелинейной нагрузочной характеристикой в полной мере решает поставленную задачу.

Так, в разделе 4.1 рассматривается задача прогиба несущей балки ондулятора под действием магнитной нагрузки от магнитной системы, с учетом и без учета компенсирующих сил. Делается вывод о том, что в случае толщины балки 150 мм для удержания максимального прогиба в пределах 10 мкм достаточно на длине балки установить 18 компенсаторов магнитной нагрузки.

В разделе 4.2 проведен анализ влияния механических деформаций балок на магнитные характеристики прототипа разрабатываемого ондулятора LCLS-II.

Раздел 4.3 – центральный раздел диссертации. В нем рассматриваются два возможных способа выполнения компенсирующего механизма – с помощью набора обычных пружин с линейной зависимостью силы от смещения и с помощью конических пружин с нелинейной зависимостью. В результате показываются преимущества второго способа над первым и делается вывод о необходимости разработки компенсирующего механизма с использованием конических пружин.

Дальнейшие разделы диссертации 4.4-4.5 посвящены экспериментальному доказательству работоспособности принятой концепции, приводится описание конструкции системы компенсации и прототипа ондулятора в целом и результаты измерения основных характеристик устройства.

В ЗАКЛЮЧЕНИИ диссертации сформулированы основные результаты работы, главный из которых состоит в том, что автору удалось показать, что применение метода компенсации магнитных сил пружинами с нелинейной

характеристикой позволяет создавать компактные ондуляторы, удовлетворяющие жестким требованиям источников РИ 4-го поколения.

В процессе работы:

- Усовершенствован процесс калибровки датчиков Холла
- Показана роль магнитного поля Земли на характеристики ондулятора и траекторию опорной частицы
- Получено аналитическое выражение для изгиба балки несущего устройства ондулятора, определено оптимальное расположение приводов и пружинных блоков для полноразмерного ондулятора LCLS-II с горизонтальным полем
- Выявлена роль систематических ошибок компенсирующих сил и предложена методика их учета при настройке ондулятора
- Выявлена роль случайных ошибок компенсирующих сил и показано, что простая сортировка может существенно сократить возможный прогиб балки
- Разработан и создан короткий прототип с горизонтальным полем
- Разработан и создан полноразмерный прототип ондулятора длиной 3.4 метра для проекта РИ 4-го поколения LCLS-II

Автор делает вывод, что конструкция ондулятора с разработанной системой компенсации магнитных сил, а также усовершенствованные им методы высокоточных магнитных измерений могут быть использованы не только для LCLS-II, но и в ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, НИЦ «Курчатовский институт» и других ускорительных центрах.

Научная НОВИЗНА полученных в диссертации результатов заключается в следующем:

1. Внесен научный вклад в развитие направления «прецизионные ондуляторы на постоянных магнитах для рентгеновских лазеров на свободных электронах».
2. Выбрана, рассмотрена и обоснована концепция компенсации магнитной силы в несущей конструкции ондулятора с помощью системы конических пружин с нелинейной зависимостью силы от сжатия.
3. Внесен вклад в решение проблемы повышения точности магнитных измерений, в том числе усовершенствован процесс калибровки датчиков Холла.
4. Предложена, создана и исследована конструкция механизма компенсации магнитных сил системой пружин с нелинейной зависимостью силы от сжатия.

5. Численным и аналитическим путем изучены элементы ондулятора на постоянных магнитах для рентгеновских лазеров на свободных электронах четвертого поколения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ заключается в том, что получен большой практический опыт на пути создания ондуляторов ЛСЭ для генерации жесткого рентгеновского излучения. Полученные результаты послужили основанием для разработки и создания полномасштабного прототипа ондулятора для рентгеновского ЛСЭ LCLS-II. Разработанная конструкция имеет как самостоятельную практическую ценность, так и может служить основой при разработке аналогичных устройств в других лабораториях мира. Кроме того, усовершенствованная методика магнитных измерений, упростит и ускорит настройку серийных устройств.

ДОСТОВЕРНОСТЬ научных выводов, содержащихся в диссертации, подтверждена проведенными расчетами и экспериментами, критическим сопоставлением с результатами, полученными в других лабораториях, обсуждениями на научных семинарах и конференциях.

ЗАМЕЧАНИЯ.

1. Встречается не точное использование определений и понятий. Так, на стр. 35 диссертации сказано, что отклонение частиц в магнитном поле приводит к накоплению электрического потенциала. Конечно, потенциал возникает, а накапливаться может заряд.
2. В работе не рассмотрена возможность патентования основной идеи – использования нелинейных пружин для целей компенсации магнитных сил в элементах ондулятора.
3. Работа написана на хорошем русском языке, однако, в тексте есть пропуски отдельных слов, в некоторых словах переставлены буквы.
4. В тексте диссертации указано, что в ней 133 страницы, в АВТОРЕФЕРАТЕ – что 138 страниц, однако, в представленном для рецензии тексте пронумеровано 135 страниц.

Следует сказать, что приведенные ЗАМЕЧАНИЯ носят технический характер и не умаляют достоинств работы.

АВТОРЕФЕРАТ диссертации соответствует ее содержанию. Основная часть результатов, изложенных в диссертации, получена лично автором и опубликована в 4 работах, три из них соответствуют требованиям ВАК.

Изложенное выше позволяет сделать заключение, что на защиту представлена законченная научно-исследовательская работа, содержит

решение ряда научно-технических задач, возникающих при разработке прецизионных ондуляторов на постоянных магнитах для рентгеновских лазеров на свободных электронах, а именно: задачи точного измерения магнитных параметров ондуляторов; задачи численного и аналитического описания магнитных и механических сил в элементах конструкции ондулятора; задачи выбора и доказательства работоспособности основной концепции компенсации магнитных сил с помощью нелинейных конических пружин; задачи разработки конструкции компенсирующего механизма; задачи разработки конструкции, измерения параметров и доказательства соответствия свойств разработанного устройства жестким требованиям, предъявляемым к ондуляторам ЛСЭ – источникам РИ 4-го поколения.

Работа СРЕЛЬНИКОВА Никиты Олеговича «ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ОНДУЛЯТОРОВ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ ДЛЯ РЕНГЕНОВСКИХ ЛАЗЕРОВ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор достоин присуждения ему искомой ученой степени «кандидат физико-математических наук» по специальности 01.04.20 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Официальный оппонент,
Черноусов Юрий Дмитриевич,
кандидат технических наук,
специальность 01.04.20 –
физика пучков заряженных
частиц и ускорительная техника,
адрес ул. Пирогова 26, кв. 56
тел. 913 395 33 84,
адрес электронной почты Y.c@ngs.ru
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института химической кинетики и горения
им. В.В. Воеводского Сибирского отделения
Российской академии наук
старший научный сотрудник



(подпись)

Ю.Д. Черноусов
(инициалы, фамилия)