

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.016.01
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г. И.
БУДКЕРА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК, подведомственного Федеральному агентству научных организаций,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 22.12.2017 № 2

О присуждении **ШКАРУБЕ ВИТАЛИЮ АРКАДЬЕВИЧУ** учёной степени
доктора технических наук.

Диссертация **«Сверхпроводящие многополюсные вигглеры для генерации синхротронного излучения»** по специальности **01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника** принята к защите 04.09.2017 г., протокол № 1 диссертационным советом Д 003.016.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, ФАНО России, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 11, созданного приказом Минобрнауки России № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Шкаруба Виталий Аркадьевич 1964 года рождения, работает ведущим научным сотрудником лаборатории 8-2 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И.Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, ФАНО России.

Диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук **«Сверхпроводящий трёхполюсный генератор синхротронного излучения с полем 7.5 Тл и фиксированной точкой излучения»** защитил в 2001 году в диссертационном совете, созданном на базе Института ядерной физики им. Будкера СО РАН.

Диссертация выполнена в Лаборатории 8-2 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И.Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, ФАНО России.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, МЕЗЕНЦЕВ Николай Александрович, заместитель директора по науке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, ФАНО России.

Официальные оппоненты:

1. **Высоцкий Виталий Сергеевич** – доктор технических наук, Открытое акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности», г. Москва, директор научного направления, заведующий отделением;
2. **Козуб Сергей Сергеевич** – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт физики

высоких энергий им. А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Протвино, начальник инженерно-физического отдела;

3. **Ширков Григорий Дмитриевич** – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, Международная межправительственная организация «Объединенный институт ядерных исследований», г. Дубна, помощник директора.

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, в **своём положительном заключении**, подписанном М.И. Суриным, доктором технических наук, начальником отдела сверхпроводниковых и криогенных устройств и В.А. Деминым, руководителем Курчатовского комплекса НБИКС-технологий НИЦ «Курчатовский институт», утверждённом главным учёным секретарём НИЦ «Курчатовский институт» С.Ю. Стремоуховым, указала, что тема диссертационной работы Шкарубы В.А. является очень актуальной. Отмечается, что данная работа обладает научной новизной и «по совокупности достигнутых параметров: плотности тока в обмотках, величине магнитного поля, экономичности криостатов, разработанные устройства превосходят мировые аналоги». Подчёркивается практическая ценность и достоверность полученных результатов, в частности указывается, что созданные при непосредственном участии автора вигглеры «успешно используются для генерации излучения на многих источниках СИ в мире, являясь квалифицированным инструментом для получения новых научных знаний». Делается заключение, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой была решена крупная научно-техническая проблема, имеющая важное значение для физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники: создан новый класс вставных устройств – многополюсные сверхпроводящие вигглеры для генерации синхротронного излучения в широком спектральном диапазоне. Таким образом, диссертационная работа В.А. Шкарубы отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ (№842, от 24 сентября 2013 г.), а её автор, Шкаруба Виталий Аркадьевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 01.04.20 – «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника». Диссертация, автореферат и данный отзыв были заслушаны, обсуждены и одобрены в отделении сверхпроводимости Курчатовского комплекса РБИКС-технологий НИЦ «Курчатовский институт» 15 ноября 2017 года.

Соискатель имеет 67 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 67 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 47 работ. Автором с соавторами (с основным вкладом автора) опубликованы работы, посвящённые разработке и созданию сверхпроводящих вигглеров для генерации синхротронного излучения, в том числе, методам оптимизации магнитной структуры для достижения максимально высокого спектрального потока фотонов, а также основным принципам проектирования криогенной системы на основе криокулеров для сверхпроводящих вставных устройств с нулевым расходом жидкого гелия:

1. D.Berger, M.Fedurin, N.Mezentsev, S.Mhaskar, V.Shkaruba, F.Schaefer, M.Scheer, E.Weihreter, A superconducting 7 T multipole wiggler for the BESSY-II synchrotron radiation source, Proc of PAC-2001, Chicago, p. 2450-2452, (DOI: 10.1109/PAC.2001.987793).
2. A.M.Batrakov, S.V. Khrushchev, D.Kraemer, G.N.Kulipanov, V.H. Lev, N.A. Mezentsev, E.G.Miginsky, V.A. Shkaruba, V.M. Syrovatin, V.M. Tsukanov, V.K.Zjurba, K.V.Zolotarev, Nine tesla superconducting bending magnet for BESSY-II, NIM A543 (2005), p. 35-41, (DOI: 10.1016/j.nima.2005.01.026).
3. S.V. Khrushchev, E.A. Kuper, V.H. Lev, N.A. Mezentsev, E.G. Miginsky, V.V. Repkov, V.A. Shkaruba, V.M. Syrovatin, V.M. Tsukanov, Superconducting 63-pole 2T wiggler for Canadian Light Source. // NIM A575 (2007), p. 38-41, (DOI: 10.1063/1.2436061).
4. S.V. Khrushchev, V.H. Lev, N.A. Mezentsev, E.G. Miginsky, V.A. Shkaruba, V.M. Syrovatin, V.M. Tsukanov, 27-Pole 4.2 T wiggler for biomedical imaging and therapy beamline at the Canadian light source. // NIM A603 (2009), p. 7-9, (DOI: 10.1016/j.nima.2008.12.112).
5. Volkov A.A., Lev V.K., Mezentsev N.A., Miginskaya E.G., Syrovatin V.M., Khrushchev S.V., Tsukanov V.M., Shkaruba V.A., Superconducting 119-Pole wiggler with 2.1T field and 30 mm period length for the ALBA storage ring. // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2012. T. 6. № 3. C. 379-387, (DOI: 10.1134/S1027451012050199).
6. D.Zangrando, R. Bracco, D.Castronovo, M.Cautero, E Karantzoulis, S.Krecic, G.Loda, D.Millo, L.Pivetta, G.Scalamera, R.Visintini, S.V.Khrushchev, N.Mezentsev, V.Shkaruba, V.Syrovatin, O.Tarasenko, V.Tsukanov, A.Volkov, The ELETTRA 3.5 T superconducting wiggler refurbishment. Proceedings of IPAC2014, Dresden, Germany, pp.2687-2689, (ISBN 978-3-95450-132-8).
7. Khrushchev S., Mezentsev N., Lev V., Shkaruba V., Syrovatin V., Tsukanov V., Superconducting multipole wigglers: state of art. Proceedings of IPAC2014, Dresden, Germany, 4103-4106, (DOI: 10.18429/jacow-ipac2014-wepri091).
8. A. A. Volkov, A. V. Zorin, V. Kh. Lev, N. A. Mezentsev, V. M. Syrovatin, O. A. Tarasenko, S. V. Khrushchev, V. M. Tsukanov, V. A. Shkaruba, The Superconducting 15-Pole 7.5 Tesla Wiggler in the LSU CAMD Storage Ring. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, 2015, Vol. 79, No. 1, pp. 53–59, (DOI: 10.3103/S1062873815010384).
9. R. S. Amin, P. Jines, D. Launey, K. Morris, V. P. Suller, Y. Wang, N. Mezentsev, S. Khrushchev, V. Lev, V. Shkaruba, V. Syrovatin, O.Tarasenko, V.Tsukanov, A. Volkov, A. Zorin, A preliminary report from Louisiana State University CAMD storage ring operating with an 11 pole 7.5 Tesla wiggler. Proceedings of IPAC2015, Richmond, VA, USA, - S.I. : JACoW, 2015. - P. 1682-1685, (ISBN 978-3-95450-168-7)
10. A.Bragin, Ye.Gusev, S.Khrushchev, N.Mezentsev, V.Shkaruba, V.Syrovatin, O.Tarasenko, V.Tsukanov, A.Volkov, K. Zolotarev, A.Zorin, Superconducting 72-pole indirect cooling 3Tesla wiggler for CLIC dumping ring and ANKA image beamline. SRF-2016, // Physics Procedia 84 (2016) 54-61, (DOI:10.1016/j.phpro.2016.11.010).

На автореферат поступил дополнительный **положительный** отзыв от Корчуганова Владимира Николаевича, заместителя руководителя Научного комплекса по перспективным ускорительным технологиям НИЦ «Курчатовский институт». В качестве недостатков указывается, что «заметный объем диссертации и автореферата можно было бы сократить (без потери научной и технической ценности результатов), «пожертвовав» разделами, которые больше напоминают технологические инструкции для сторонних производителей», а также указывается, что для полноты картины было бы интересно рассмотреть перспективы создания ондуляторов на постоянных магнитах в качестве альтернативы криогенным ондуляторам со сверхпроводящими электромагнитами. Однако отмечается, что ни одно из замечаний, ни в коей мере не влияет на основные результаты диссертации, не снижает значимости и уровня выполненной автором работы и не касается положений и выводов, вынесенных на защиту. Отмечается, что автореферат правильно отражает содержание диссертации, а сама работа удовлетворяет всем требованиям к докторским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктор технических наук.

Выбор **официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается известностью их достижений в области сверхпроводящих криогенных устройств и ускорителей заряженных частиц, их компетентностью, наличием публикаций по теме защищаемой диссертации и способностью определить научную и практическую ценность защищаемой диссертации, а также дать рекомендации по использованию полученных в ней результатов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана научная концепция создания сверхпроводящих вставных устройств для накопителей заряженных частиц - оптимизированных многополюсных периодических магнитных структур с рекордными магнитными параметрами, которые позволяют значительно повысить спектральный поток фотонов синхротронного излучения в требуемом для экспериментов диапазоне.

Предложен новый подход к конструированию криостатов, основанный на последовательном перехвате каналов притока тепла на ступени криокулеров, позволивший не только снизить расход жидкого гелия до нуля, но и стабильно получать пониженное давление до 0.3 бар в гелиевом сосуде с холодной массой около 1000 кг, несмотря на дополнительную тепловую нагрузку со стороны электронного пучка и вводимый ток для запитки магнита величиной около 1000 А.

Доказана перспективность использования сверхпроводящих многополюсных вигглеров с оптимизированными спектрально-мощностными характеристиками для генерации синхротронного излучения в требуемом для экспериментов спектральном диапазоне.

Введён новый конструктивный элемент криостата – медный лайнер, охлаждаемый соответствующими ступенями криокулеров, эффективно защищающий жидкий гелий и сверхпроводящие обмотки магнита от нагрева со стороны электронного пучка ускорителя и обладающий устойчивостью к механическим деформациям, вызванным электромагнитными силами при выходе магнита из сверхпроводящего состояния.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказана применимость предложенной универсальной методики оптимизации параметров сверхпроводящих многополюсных вигглеров для получения максимального потока фотонов в требуемом спектральном диапазоне. Методика основана на подборе величины периода при определённом магнитном зазоре и максимальном уровне магнитного поля, определяемом током короткого образца сверхпроводящего провода.

Применительно к проблематике диссертации результативно использованы существующие базовые методы исследования, в том числе трёхмерные программы для моделирования магнитных полей, численные методы для расчёта теплопритоков и распределения температур в криостате, а также предложенные экспериментальные методики для измерения магнитных полей, в частности метод натянутой проволочки с током для зануления интегралов магнитного поля.

Изложены основные принципы проектирования многополюсных сверхпроводящих вигглеров.

Раскрыты и доказаны на практике преимущества использования схемы горизонтального рейстрека (в отличие от традиционно используемого вертикального рейстрека) при создании сверхпроводящих ондуляторов и близких к ним по размерам периодических магнитных структур.

Изучена связь величины расхода жидкого гелия с различными факторами, определяющими приток мощности в криостат.

Определены пределы практического использования некоторых опробованных в работе методик. В частности было показано, что при оптимизации основных параметров магнитной структуры необходимо учитывать также ограничения со стороны конкретного накопителя, в частности, по мощности приёмников излучения. Также исследование работы многополюсных сверхпроводящих вигглеров в режиме замкнутого тока показало, что наличие взаимной индуктивности между цепями запитки током приводит к перераспределению токов между обмотками, что ограничивает применение такого режима.

Созданы и представлены методические рекомендации по проектированию сверхпроводящих многополюсных вигглеров и ондуляторов с требуемыми спектральными и мощностными характеристиками, а также эффективных криомагнитных систем с нулевым расходом жидкого гелия.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов измерений основных параметров созданных вставных устройств и успешным опытом эксплуатации на различных накопителях во всем мире. В частности, на большинстве из созданных многополюсных вигглеров был неоднократно продемонстрирован стабильный уровень тока на сверхпроводящих обмотках не менее 90-95% от тока короткого образца, что является рекордным для обмоток типа рейстрек.

Теория расчёта магнитных и криогенных систем сверхпроводящих многополюсных вигглеров построена на проверяемых данных и согласуется с результатами их испытаний, опубликованными по теме диссертации.

Идея создания сверхпроводящих многополюсных вигглеров базируется на анализе практики и обобщении мирового опыта по созданию сверхпроводящих

вставных устройств для увеличения спектральной яркости и жёсткости излучения.

Использовано сравнение данных, полученных автором и результатов по магнитным и криогенным характеристикам, достигнутых ранее другими исследовательскими группами при создании сверхпроводящих многополюсных вигглеров, в частности Oxford Instruments (Англия), ACCEL (Германия) и Danfysik (Швеция).

Установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными по данной тематике, в частности по величине расхода жидкого гелия для вигглеров, имеющих традиционную конструкцию, на начальном этапе совершенствования криогенной системы.

Использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, в частности, методики точного измерения распределения температур в криостате, а также получения карты распределения магнитных полей при криогенных температурах.

Личный вклад соискателя в получении результатов, представленных в диссертации является определяющим. Автор принимал непосредственное участие в постановке задач по созданию периодических магнитных структур с предельно возможным уровнем магнитного поля на основе ниобий-титанового сверхпроводника, оптимизированных для генерации максимального потока фотонов. В ходе работы автором были проведены многочисленные эксперименты и анализ полученных результатов по изучению и устранению различных каналов притока тепла в криостат, а также разработаны основные конструктивные решения, послужившие основой для создания криостатов на основе криокулеров, работающих с нулевым расходом жидкого гелия. Автор лично участвовал в апробации результатов исследования и подготовке основных публикаций по выполненной работе.

На заседании 22.12.2017 г. диссертационный совет принял решение присудить **Шкарубе Виталию Аркадьевичу** ученую степень **доктора технических наук**.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного
совета Д 003 016 01,
д. ф.-м. н.



/ Е. Б. Левичев /

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 003 016 01,
д. ф.-м. н.

/ А. В. Бурдаков /

25. 12. 2017 г.