

## Отзыв

на автореферат диссертации Фетисова Сергей Сергеевича на тему «Исследования и разработка токонесущих элементов коаксиальных кабелей, токовводов и проводников на основе высокотемпературных сверхпроводящих материалов второго поколения» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.02 – «Электротехнические материалы и изделия»

**Актуальность** темы. Современные высокотемпературные сверхпроводящие материалы второго поколения (ВТСП-2) с улучшенными характеристиками, позволяют изготавливать кабели не только для постоянного тока, но и для переменного. ВТСП кабели могут передавать электроэнергию с минимальными потерями, что определяет перспективы их широкого применения. Для таких применений, как электрические самолёты или судовые системы электродвижения необходимо максимальное снижение массы и размеров ВТСП-2 кабелей. Не менее важно их применение в магнитных системах электрофизических установок. Необходимость экспериментальных исследований, разработки технологии изготовления ВТСП-2 кабелей, токонесущих элементов (ТНЭ) и моделирования электрофизических процессов в них не вызывает сомнений в их **актуальности**.

**Научная новизна** работы заключается в разработке и реализации методов расчёта, оптимизации геометрии и технологий изготовления компактных силовых кабелей и ТНЭ для магнитных систем на основе ВТСП-2 и экспериментальной проверке изготовленных ВТСП-2 кабелей и ТНЭ.

Среди наиболее значимых, отметим следующие:

- Разработаны новые и усовершенствованы существующие математические модели, которыми проведена оптимизация конструкций ТНЭ, кабелей переменного тока, проводников на основе ВТСП-2.
- Разработана математическая модель для расчета токонесущей способности многоповивного кабеля постоянного тока на основе ВТСП-2 лент, с учетом влияния на нее продольного магнитного поля.

- Разработана математическая модель с помощью, которой показано, что использование ВТСП-кабелей в системах размагничивания позволяет в десятки раз снизить массу их обмоток.
- Впервые создана математическая модель для решения сопряженной тепловой и электрической задачи, целью которой является оптимизации ВТСП токовводов, работающих во внешнем магнитном поле;

Научная новизна представленных в диссертационной работе результатов определяется, не только разработкой собственных моделей, но и созданием современной экспериментальной базы и методик испытаний разработанных ТНЭ, кабелей, проводников и различных устройств на основе ВТСП-2.

*Достоинства* работы заключаются в её практической направленности:

- Результаты исследований позволили сформулировать конкретные рекомендации по оптимизации конструкции компактных ВТСП-2. Было установлено, что для достижения приемлемых результатов необходимо точно измерять внешний диаметр повива после его изготовления, а затем вносить корректировки в оптимизационные параметры остальных повивов, например, шаг наложения лент в повиве.
- На основе проведенной оптимизации созданы первые в России компактные коаксиальный и триаксиальный
- ВТСП кабели.
- Разработаны и обоснованы конструкции ВТСП проводников коаксиального типа для обмоток установок управляемого термоядерного синтеза и индуктивных накопителей энергии.
- Показано, что для увеличения токонесущей способности кабеля постоянного тока необходимо иметь рабочий ток близкий к критическому току каждого повива, а не равномерное распределение тока по повивам, как в случае кабеля переменного тока.
- Выработаны рекомендации по выбору ВТСП-2 лент для применения в токовводах, в частности, по уровню относительного остаточного

электросопротивления стабилизирующих слоев в исходной ВТСП ленте. Изготовленные токовводы успешно работают в составе уникального экспериментального стенда для магнитогидродинамического генератора и тепловых испытаний.

- Разработана технология изготовления обмоточных ВТСП проводов специального назначения с использованием волокнистой и пленочной изоляции (провода марок ПВСПЛЛ и ПВСПЛФ), отвечающих выставленным требованиям по комплексу свойств. Впервые в России организовано мелкосерийное производство обмоточных проводов различных конструкций на основе ВТСП-2 лент и введены технические условия на их изготовление.

Работа в достаточной степени апробирована - результаты исследований докладывались на научно-технических конференциях всех уровней, опубликованы в научных журналах.


#### ***Замечания по автореферату диссертационной работы.***

- Необходимо объяснить причину небольшого сдвига фаз между пиковыми токами одной фазы триаксиального ВТСП кабеля (рисунок 18).
- На рисунке 42 показаны две ленты, а не пять.

Несмотря на приведенные замечания, на основании автореферата можно заключить, что диссертация является законченной научно-исследовательской работой, которая удовлетворяет требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ (№ 842, от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора технических наук.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности в областях исследований: пункт 1- «Изучение на стадиях разработки, исследования, изготовления, эксплуатации и утилизации физико-химических процессов, определяющих свойства электротехнических и радиотехнических материалов и изделий в связи с их химическим составом, структурой и внешними условиями эксплуатации с целью обеспечения их высокого качества», пункт 3 - «Моделирование процессов проектирования, исследования, производства,

эксплуатации и утилизации <sup>5</sup> электротехнических и радиотехнических материалов и изделий на их основе», пункт 5 - «Сертификация электротехнических и радиоэлектронных материалов и изделий на их основе», а её автор, Фетисов Сергей Сергеевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.02 – «Электротехнические материалы и изделия».



Круглов Сергей Леонидович

«16» августа 2022г.

д.т.н. по специальности 01.04.07. – «Физика конденсированного состояния».

Ведущий научный сотрудник КК НБИКС - ПТ НИЦ «Курчатовский институт», e-mail: kruglov\_sl@nrcki.ru

Тел. 8(499)196-65-74(71-71)

Подпись сотрудника НИЦ «Курчатовский институт» Круглова С.Л. заверяю

Главный учёный секретарь

НИЦ «Курчатовский институт»



К.А. Сергунова

Адрес:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»)

123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д.1

Телефон: +7(499)196-95-39

e-mail: nrcki@nrcki.ru