

## **ОТЗЫВ**

**на автореферат диссертации**

**Зубко Василия Васильевича**

*«Моделирование теплофизических и электрофизических процессов для исследования и оптимизации конструкций сверхпроводящих кабелей и проводов»*, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.02 – «Электрические материалы и изделия».

Актуальность диссертации В.В. Зубко определяется тем, что методы решения широкого класса задач при исследовании теплофизических и электрофизических процессов для оптимизации электротехнических изделий в том числе сложных конструкций обмоточных сверхпроводящих проводов, работающих при температуре жидкого гелия (НТСП провода) для быстроциклирующих магнитов ускорителей и кабелей для электроэнергетики на основе высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП кабели) в настоящее время опираются на компьютерное моделирование. Это вызвано, прежде всего, тем, что экспериментальные исследования во многих случаях ограничены, а точность расчетов исследуемых процессов аналитическими методами недостаточна, особенно если имеется внутренняя связь между теплофизическими и электрофизическими свойствами. Компьютерное моделирование обеспечивает более высокую точность, что особенно актуально для сверхпроводящих устройств диапазон рабочих температур в которых ограничивается единицами градусов. На актуальность темы указывает также большое количество публикаций в современной мировой научной литературе, посвященных рассмотренным в диссертации вопросам.

Основные научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы, одобрены на российских и международных конференциях. Выдвинутые научные положения, установленные выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, оригинальны, обоснованы, достоверны и обладают как научной, так и практической ценностью.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработана эффективная компьютерная модель сопряженных теплофизических и электрофизических процессов в обмотках магнитов для быстроциклирующих ускорителей, позволяющая решать широкий круг прикладных задач, а именно, определять динамические потери в обмотке и как следствие - нагрев гелия, а также температурный запас обмоточных НТСП проводов, который является гарантией безопасной работы магнита без перехода в нормальнопроводящее состояние;
- теоретически исследовано влияние различных параметров на стабильность НТСП проводов для быстроциклирующих магнитов ускорителя SIS300; проведено теоретическое исследование минимальной энергии перехода в нормальное состояние, определяющей стабильность к любым возмущениям, НТСП стренда в плоскотранспонированном проводе (Резерфордского типа) с промежуточным элементом между его слоями;
- разработана компьютерная модель и проведено теоретическое исследование нестационарных процессов в силовых ВТСП кабелях при коротком замыкании в цепи;
- разработана компьютерная модель, позволяющая рассчитывать потери в кабелях на основе ВТСП лент второго поколения и проведено теоретическое исследование потерь в данных кабелях;
- созданы трехмерные компьютерные модели для оптимизации различных конструкции ВТСП кабелей.

Практическая ценность полученных в диссертации результатов заключается в обосновании требований к разработанным кабелям. Несомненным достоинством работы является практическое применение основных результатов исследований в действующих изделиях. Так в результате проведенных автором исследований сформулированы требования, на основе которых разработаны и изготовлены НТСП провода с низкими потерями для магнитов ускорителя SIS300. Показана возможность устойчивой работы ВТСП кабеля в аварийных режимах, что подтвердили последующие испытания первых в России силовых ВТСП кабелей, определены геометрические параметры конструкции компактного коаксиального ВТСП кабеля и первого в России триаксиального ВТСП кабеля.

Достоверность полученных результатов во многих случаях подтверждается их хорошим согласованием с экспериментальными данными и расчетами других авторов. Это позволяет судить о высокой степени надежности и верификации разработанных моделей, которые, как представляется, могут быть эффективно использованы для проведения как фундаментальных, так и прикладных исследований в области разработки НТСП проводов и ВТСП кабелей.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

1. В седьмой главе автор приводит расчётные модели для оптимизации конструкции кабелей переменного тока и результаты такой оптимизации. Логично ожидать сравнения результатов теоретических расчётов с конструкцией ранее изготовленных во ВНИИКП и испытанных кабелей длиной 30м и 200м. Почему-то это не сделано.
2. В формуле 10 автореферата ошибка. В расшифровке формулы 7 символ « $\rho$ » определен как «сопротивление», когда должно быть «удельное сопротивление».
3. На рис. 9 и 10 представлены экспериментальные зависимости напряжения на ВТСП ленте, а результаты теоретических расчётов на рис. 11. Гораздо наглядней было-бы представить расчётные и экспериментальные результаты на одном графике. Автор утверждает, что расчётные и измеренные значения хорошо согласуются. Сравнивая результаты для ленты 2G AMSC при 140 А видим, что в течении 8 секунд в эксперименте наблюдалось 11 всплесков напряжения (Рис. 10), а на расчётной кривой за тоже время только 7 всплесков. Различие существенное, однако, оно осталось без объяснения.
4. Общий стиль написания автореферата весьма небрежный:
  - графики на рис. 7 и 8 абсолютно не информативны. Лучше было-бы показать укрупнено несколько периодов и зависимость от времени действующего значения тока и температуры в различных элементах кабеля;
  - автор весьма вольно обращается с терминологией вводя странные термины, такие как «мощность кабельных потерь» (стр. 14) или «плотность сопротивления» (стр. 26, 27).

#### **Заключение.**

Несмотря на отмеченные недостатки, в целом диссертация выполнена на высоком научном уровне, направлена на решение крупной научно-

технической проблемы и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным п. 9 действующего Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ (№ 842, от 24 сентября 2013 г.), а ее автор В.В. Зубко, несомненно, заслуживает присуждения степени доктора технических наук по специальности 05.09.02 – «Электрические материалы и изделия».

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
Заместитель научного руководителя АО «НТЦ ФСК ЕЭС»,  
Сытников Виктор Евгеньевич



14.11.17.

Подпись Сытникова В.Е. заверяю,  
Заместитель начальника отдела управления персоналом  
Антонов Д.И.



Рабочий адрес:  
Россия, 115201, г. Москва, Каширское Шоссе 22/3  
Телефон: 007 495 7271909 (доб.1302)  
e-mail: sytnikov\_ve@ntc-power.ru  
сайт: www.ntc-power.ru