

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 520.009.01 на базе Национального исследовательского центра

«Курчатовский институт»

по диссертации КОРОТКОВА Василия Сергеевича «**Импульсное намагничивание монокристаллических высокотемпературных сверхпроводников**» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «физика конденсированного состояния»

Диссертационный совет отмечает, что **полученные соискателем результаты заключаются в следующем:**

- 1) **Исследовано** импульсное намагничивание монокристаллических ВТСП-колец состава $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, показана инверсия знака остаточного поля в отверстии кольца в области высоких амплитуд импульсов. При этих условиях **обнаружено** быстрое затухание («обрыв») экранирующих токов ВТСП, сопровождаемое скачком магнитного потока в отверстие ВТСП-кольца. Данный эффект объяснён образованием узкого «канала» резистивного состояния, через который магнитный поток проникает в монокристаллическое ВТСП-кольцо.
- 2) **Разработана** математическая модель для расчётов эволюции экранирующих токов в монокристаллическом кольце с азимутальной неоднородностью критического тока. Результаты моделирования воспроизводят обнаруженный эффект быстрого затухания («обрыва») экранирующего тока при импульсном намагничивании.
- 3) **Обнаруженный эффект «обрыва тока» применён** для достижения максимальной намагниченности ВТСП-колец импульсным методом. Для этого был использован импульс в апериодическом режиме разряда конденсаторов. Быстро увеличивающееся поле на восходящей части импульса вызывало затухание экранирующего тока и образование узкой области резистивного состояния со значительным перегревом. Медленно снижающееся поле способствовало захвату максимального магнитного потока, благодаря быстрому остыванию резистивной области за время снижения поля импульса.
- 4) **Проведены исследования** радиального распределения локальной температуры монокристаллических ВТСП-колец при намагничивании импульсами в жидком азоте, для

чего был разработан и изготовлен измерительный стенд. На основании проведенных исследований **предложено объяснение** эффекта «отрицательной релаксации» (возрастания магнитного поля в отверстии сверхпроводника) после импульсного намагничивания. «Отрицательная релаксация» в отверстии ВТСП-кольца может быть следствием различия в скоростях релаксации внутренних и наружных остаточных токов монодоменного ВТСП-кольца, вызванного неоднородным радиальным распределением температуры кольца, возникающем при импульсном намагничивании.

5) **Создан и исследован** компактный автономный гибридный магнит из сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и магнитомягкого ферромагнетика, охлаждаемый жидким азотом. Магнит управлялся импульсами магнитного поля. Максимальное достигнутое поле составляло 2.5 Тл. С помощью приложения серии импульсов в магните достигалось периодическое изменение магнитного поля на уровне 1-3 % от максимального значения.

6) **Научная новизна проведенных исследований состоит в следующем:** при импульсном намагничивании колец **впервые** обнаружены и исследованы скачки магнитного потока в высокотемпературных сверхпроводниках при азотной температуре в импульсных магнитных полях. Механизм скачков потока в этих условиях отличается от механизма скачков при термомагнитной нестабильности. Впервые показано, что при скачке в ВТСП-кольце образуется узкий ($7-15^\circ$) сектор со значительным перегревом. В этой области рассеивается энергия экранирующих токов ВТСП, что приводит к быстрому снижению экранирующего тока и скачку потока в отверстие кольца. **Впервые** сформулирован подход к численному моделированию представленного эффекта образования узкого сектора резистивного состояния в области неоднородности. На основании обнаруженного эффекта реализован **новый** способ импульсного намагничивания кольца до максимального поля однократным импульсом.

7) **Практическая значимость работы состоит в том, что** импульсное намагничивание монодоменных ВТСП-колец, изученное в работе, может найти применение при создании автономных и портативных сверхпроводящих или гибридных магнитов. Предложенные конструкции, благодаря низкому энергопотреблению могут быть перспективны для использования в компактных ЭПР-

спектрометрах.

8) **Достоверность проведенных исследований подтверждается** использованием апробированных прецизионных методов измерения полей и токов сверхпроводника. Соответствием экспериментальных результатов, полученных независимыми методами, воспроизводимостью полученных экспериментальных результатов на всех исследованных образцах, соответствием экспериментальных результатов результатам численного моделирования, публикацией результатов работы в ведущих международных периодических изданиях соответствующей тематики.

9) **Личный вклад соискателя** заключается в планировании и выполнении экспериментов, модификации установки импульсного намагничивания. Соискателем предложены и апробированы новые подходы к измерению эволюции локальной температуры монокристаллического сверхпроводника при импульсном нагреве, проанализированы результаты экспериментов, предложена оригинальная физическая модель наблюдаемых эффектов. Диссертантом выполнена разработка математической модели вихря с азимутальной неоднородностью и численная реализация расчетов скачка потока в сверхпроводящем кольце при импульсном намагничивании. Соискателем созданы гибридный магнит и его модификации, проведены исследования и усовершенствование его характеристик — однородности и стабильности магнитного поля. Необходимо отметить ключевой вклад Короткова В.С. в подготовку публикаций по теме диссертации.

Полученные автором результаты исследований обсуждались на всероссийских и международных научно-технических конференциях, школах и семинарах. Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в Scopus и WOS, в том числе рекомендованных ВАК РФ.

* * *

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертационная работа Короткова Василия Сергеевича «Импульсное намагничивание монокристаллических высокотемпературных сверхпроводников», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — «Физика конденсированного состояния», представляет собой законченную научно-

квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09. 2013 г. № 842.

На заседании 24 мая 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Короткову Василию Сергеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности диссертации 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение ученой степени – 16,
против присуждения ученой степени – 0,
недействительных бюллетеней – 0.

Протокол счетной комиссии утвержден открытым голосованием **единогласно.**