Шутов, Кирилл Алексеевич. Разработка технологии изготовления и исследование сверхпроводящих силовых кабелей на основе высокотемпературных сверхпроводников первого поколения : диссертация ... кандидата технических наук : 05.09.02 / Шутов Кирилл Алексеевич; [Место защиты: Всерос. науч.-исслед., проект.-конструкт. и технол. ин-т каб. пром-сти].- Москва, 2013.- 135 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/1129

**Введение к работе**

**Актуальность проблемы**

В последнее время происходит рост потребления электроэнергии во всём мире, соответственно всё острее встаёт вопрос о повышении надежности и электроэффективности линий электропередач энергетических систем и качества поставляемой электроэнергии. Учитывая естественное старение существующих линий электропередач, построенных десятки лет назад, возникает потребность улучшения условий передачи и распределения энергии, при строительстве новых линий электропередач, как в крупных мегаполисах, так и на крупных предприятиях. Рост электропотребления влечёт за собой неминуемое увеличение потерь при передаче и расходовании электроэнергии, что также является следствием использования разработок многолетней давности. Следовательно, возникает необходимость в разработке и внедрении линий электропередач, работающих на новых принципах, что позволило бы решить задачу повышения электроэффективности.

В последние годы, достигнут большой прогресс в области технологии производства высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП-проводников). В связи с этим наблюдается всё возрастающий интерес к практическому использованию ВТСП-проводников в электроэнергетике. ВТСП-силовые кабели одно из наиболее эффективных применений ВТСП для передачи энергии на расстояния, для связи объектов энергосистем и для подачи энергии потребителю. В большинстве промышленно развитых и в некоторых развивающихся странах мира ведутся интенсивные исследования и разработки новых видов электротехнических устройств на основе ВТСП-проводников.

Во ВНИИКП ведутся исследования и разработки в области прикладной сверхпроводимости, главной целью которых является создание кабельных линий с использованием явления сверхпроводимости. Использование ВТСП-материалов позволяет выработать принципиально новые подходы к вопросам создания сверхпроводящих кабелей, так как имеется возможность их охлаждения дешевым и легкодоступным жидким азотом.

ВТСП-кабели по сравнению с обычными обладают уменьшенными потерями, большей пропускной способностью даже при снижении класса напряжения. При одинаковой мощности по сравнению с обычным кабелем ВТСП-кабель более компактен и имеет меньший вес, что облегчает транспортировку и монтаж, соответственно сокращается площадь прокладки. Особенность внутреннего охлаждения ВТСП-кабелей (с помощью жидкого азота) позволяет избежать нежелательного перегрева электрической изоляции. По сравнению с традиционно применяемыми кабелями ВТСП-кабели экологичны и пожаробезопасны, что также играет немаловажную роль.

Поэтому разработка алгоритма расчёта конструкции и создания технологии изготовления полномасштабных, оптимизированных сверхпроводящих силовых кабелей на основе ВТСП-материалов является весьма актуальной задачей, что и обуславливает выбор направления диссертационной работы.

**Цель работы**

Целью настоящей работы является разработка методов оптимизации, технологий изготовления и конструкций силовых кабелей на основе ВТСП-материалов, их экспериментальная проверка на моделях и доведение до уровня, позволяющего непосредственно приступить к производству силовых ВТСП-кабелей для внедрения в энергетические сети и системы.

Для реализации этой задачи необходимо:

1. Выполнить экспериментальные и теоретические работы по оптимизации конструкции ВТСП-кабелей.
2. Провести исследования влияния конструкции ВТСП-кабеля на параметры кабеля, потери и физико-механические свойства.
3. Исследовать влияние технологических воздействий применяемого оборудования на изменение параметров используемого исходного сверхпроводящего материала.
4. Разработать конструкции и технологии создания элементов кабеля и кабеля в целом, обладающих минимальными потерями энергии и необходимой стабильностью по отношению к тепловым, магнитным и механическим возмущающим факторам.
5. Создать и провести исследования макетных образцов.
6. Исследовать потери в образцах ВТСП-кабелей разных конструкций, для чего необходим специально разработанный алгоритм компьютерной обработки экспериментальных данных.
7. Разработать оборудование для созданного технологического процесса производства силовых ВТСП-кабелей.
8. Изготовить образцы ВТСП-кабелей и провести их испытания.

**Научная новизна**

Впервые в России разработан алгоритм конструирования силовых ВТСП-кабелей.

Впервые проведены последовательные экспериментальные исследования влияния технологических воздействий, в том числе механических свойств применяемых материалов, на токонесущую способность сверхпроводящих лент на всех стадиях производства кабеля и его элементов. Экспериментально исследовано влияние шага скрутки ВТСП-лент в кабеле на критический ток ВТСП-лент.

Экспериментально подобраны и обоснованы технологические приёмы, обеспечивающие сохранность параметров ВТСП-лент при прохождении всех стадий производства кабелей.

Экспериментально исследованы потери в моделях ВТСП-кабелей разных  
конструкций, полномасштабных по сечению. Разработан программный  
комплекс обработки экспериментальных данных, получаемых при

исследовании образцов на стенде, который позволяет существенно сократить время обработки результатов.

Разработаны и исследованы конструкции различных центральных несущих элементов (формеров) силовых ВТСП-кабелей. Разработаны технологии изготовления формеров, адаптированных для силовых ВТСП-кабелей разных типов.

Впервые разработан набор технологий для изготовления силовых ВТСП-кабелей и их элементов, обеспечивающий параметры этих кабелей, соответствующие теоретическим оптимизационным расчетам. Разработанный набор технологий позволяет изготавливать силовые ВТСП-кабели на кабельном оборудовании.

**Практическая ценность**

Практическая ценность работы заключается в том, что в результате выполненных исследований разработаны базовые технологии для изготовления оптимизированных силовых сверхпроводящих кабелей на основе ВТСП-материалов. Создана база для промышленного производства ВТСП-кабелей. На основе проведенных исследований впервые в Европе изготовлен ВТСП-кабель длиной 200 м.

**Достоверность результатов работы**

Достоверность полученных результатов подтверждается сравнением экспериментальных и расчетных данных и успешным испытанием полномасштабных ВТСП-кабелей длиной 30 и 200 м, разработанных и изготовленных на основе алгоритмов и технологий, представленных в данной работе.

**Автор защищает**

1. Методы и результаты экспериментальных и теоретических работ по оптимизации ВТСП-кабелей. Результаты анализа напряженно -деформационного состояния сверхпроводящих лент при изгибе.
2. Алгоритм конструирования ВТСП-кабелей. Результаты разработки и исследования конструкции различных элементов силовых ВТСП-кабелей.
3. Результаты разработки технологий для изготовления силовых ВТСП-кабелей и их элементов с сохранением сверхпроводящих свойств ВТСП лент, обеспечивающих оптимальные параметры кабелей.
4. Результаты экспериментального исследования и конструкцию ВТСП-кабелей длиной 30 метров.
5. Результаты экспериментального исследования и конструкцию ВТСП-кабелей длиной 200 метров.
6. Результаты исследования потерь в ВТСП-кабелях различных конструкций, методику и алгоритм компьютерной обработки экспериментальных данных потерь в ВТСП-кабелях.

**Апробация работы**

Материалы, которые легли в основу диссертации, опубликованы в работах [1-14], докладывались на Европейской конференции по прикладной сверхпроводимости EUCAS 2009 (Дрезден, Германия, 2009), на конференциях по прикладной сверхпроводимости ASC-2006 (Сиэтл, США, 2006), ASC-2008 (Остин, США, 2008) и (ASC 2010) (Вашингтон, США, 2010), на международных конференциях ICEC-22-ICMC (Сеул, Корея, 2008) и МТ-21 (Хэфей, Китай, 2009). Опубликованы в журналах "Кабели и провода", №2 (321), 2010; "СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ: исследования и разработки", №15, 2011; в сборнике статей РАН «Инновационные технологии в энергетике». По теме диссертации получен патент на полезную модель**[14].**

**Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Материалы изложены на 137 страницах, содержат 54 рисунка и 5 таблиц. Список литературы состоит из 91 наименования.