

## **СВЕРХПРОВОДИМЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**Белоусов О.С., Косягин А.В.  
Научный руководитель – профессор Сарваров А.С.**

*Магнитогорский Государственный Технический Университет им. Г.И.Носова*

### **Введение**

Измеряя электрофизические характеристики ртути в области температур жидкого гелия Г.Камерлинг-Оннес из Лейденского университета (Нидерланды) открыл новое состояние вещества, получившее название сверхпроводящее. Позднее было установлено, что многие другие металлы и сплавы также переходят в это состояние при низких температурах. Сверхпроводящее состояние характеризуется некоторыми уникальными явлениями:

1. Для вещества в сверхпроводящем состоянии, которое наступает при температуре ниже или равной критической исчезает понятие сопротивления электрическому току.
2. Возникший в сверхпроводящем материале электрический ток не снижается со временем и существует бесконечно долго.
3. Помещённый в магнитное поле материал при температуре перехода в сверхпроводящее состояние полностью выталкивает из себя магнитное поле. (Это открытие было сделано в 1933 немецким физиком В.Мейсснером и его сотрудником Р.Оксенфельдом и называется эффектом Мейсснера).
4. Возбуждённый в кольцевом сверхпроводнике ток создаёт магнитное поле, «вмороженное» в кольцо.
5. Для каждого сверхпроводника существует критическое внешнее магнитное поле и критическая плотность тока, по достижении которых состояние сверхпроводимости исчезает. Критические поля обычно лежат в интервале от нескольких десятков Гаусс до нескольких сотен тысяч Гаусс, в зависимости от сверхпроводника и его металлофизического состояния. Критическое поле и критический ток сверхпроводника уменьшаются при повышении температуры.
6. Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник оказывается различна в разных материалах: от 3 до 5 см.
7. Удельная теплоемкость вещества резко возрастает при температуре перехода в сверхпроводящее состояние, и довольно быстро уменьшается с дальнейшим понижением температуры.
8. Температура перехода в сверхпроводящее состояние металлов зависит от изотопного состава и снижается с ростом атомной массы изотопа. (Изотопический эффект).

В 1962 г. аспирант Кембриджского университета Б.Джозефсон, предсказал и экспериментально подтвердил два эффекта:

- Через туннельный сверхпроводящий контакт (переход, представляющий собой два сверхпроводника, разделенные тонким слоем диэлектрика) возможно протекание сверхпроводящего (бездиссипативного) тока. Критическое значение этого тока зависит от внешнего магнитного поля.

- Если ток через контакт превосходит критический ток перехода, то контакт становится источником высокочастотного электромагнитного излучения.

Первый из этих эффектов называют стационарным эффектом Джозефсона, второй – нестационарным. В частности, наблюдались осцилляции максимального сверхпроводящего тока через переход при увеличении магнитного поля. Если ток, задаваемый внешним источником, превысит критическое значение, то на переходе появляется напряжение  $V$ , периодически зависящее от времени. Частота колебаний напряжения зависит от того, насколько ток через контакт превышает его критическое значение.

## 1 Испытания первой сверхпроводящей кабельной линии в России.



Рис. 1.- Внешний вид высокотемпературного сверхпроводящего кабеля.

Удачно завершились испытания первой высокотемпературной сверхпроводящей кабельной линии в России. Как сообщила компания ОАО «ФСК ЕЭС», испытания проводились вместе с ОАО «Научно-технический центр электроэнергетики» на кабельной линии длиной до 200 метров с напряжением 20 кВ. Эксплуатация сверхпроводящих кабельных линий в России позволит существенно уменьшить потери электроэнергии. Помимо этого повысится срок использования кабельных линий, возрастет уровень их экологической и пожарной безопасности. Площадь отводимых земель под прокладку кабельных линий в больших городах станет значительно меньше. Электрообеспечением будут обеспечены все крупные потребители в мегаполисах.

В ОАО «НТЦ электроэнергетики» создали специальный полигон для проведения испытаний. Стенд оборудовали криогенной системой охлаждения, которая позволила под нагрузкой провести полную проверку сверхпроводящих кабелей. Условия максимально приближенные к реальной эксплуатации помогли получить электроизмерения подтверждающие соответствия характеристик кабельной линии всем

требованиям, заложенным при ее разработке. При работе температура сверхпроводящего кабеля вполне соответствовала расчетным параметрам, даже под нагрузкой в 50 МВА. Изоляция кабеля вынесла высоковольтные испытания. Было выявлено, что сверхпроводник теряет свои проводящие свойства при критическом токе в 4000 А.

## **2 Высокотемпературные сверхпроводники и объемные материалы**

Основа разработки – наноструктурированная сверхпроводящая керамика ВТСП-2 – это так называемые «coated tapes», пленки с покрытием. На гибкой подложке из никелевого сплава формируется специальный буферный слой с кристаллической структурой. В дальнейшем на этот слой осаждают сверхпроводник, который затем покрывают стабилизирующим металлом. Таким образом, получается гибкая тонкая монокристаллическая сверхпроводящая пленка на прочной ленте. Токонесущая способность такой пленки весьма высока.

Применение:

- сверхпроводящие кабели на основе ленты, изготовленной по технологии ВТСП-2, работающие при температуре жидкого азота позволят заменить высоковольтные линии электропередач в условиях плотной городской застройки;
- электрические машины с применением магнитов на основе высокотемпературной сверхпроводящей керамики имеют вдвое меньшие весогабаритные показатели в сравнении с традиционными.

## **3 Вывод:**

Тезисы данного доклада прямо пересекаются с направлением «Создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии». В рамках данного направления университетом заключено 2 государственных контракта по Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009- 2013 г.г.

В данном докладе рассматривается ситуация в области электроэнергетики, с точки зрения повышения энергоэффективности транспортировки электроэнергии. При этом проанализированы последние достижения в этой области, которые легли в основу новых проектов, выполняемых в рамках постановлений правительства РФ о реорганизации электроэнергетической инфраструктуры (РАО ЕЭС) и создания «Государственной информационной системы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и условий для её функционирования». Материалы сверхпроводимости соответствуют требованиям передачи и потребления энергоресурсов.

В силу специфики научной деятельности, которой занимаются авторы доклада, основной акцент был направлен на область электроэнергетики, а именно на явление сверхпроводимости и использовании этого явления в высоковольтных линиях электропередач (ЛЭП). Материалы, изложенные в докладе имеют обзорный характер и предполагается на их основе провести технико-экономический анализ эффективности реализации подобного проекта.