



Том 5 выпуск 2
апрель 2008

РОССИЙСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Первый российский экспериментальный силовой ВТСП кабель доставлен на испытательный стенд

27 февраля 2008 года на территории ОАО «НТЦ-Электроэнергетики» состоялось выездное заседание Координационного совета по сверхпроводящим технологиям ОАО РАО «ЕЭС России» под председательством А.Б. Чубайса, членами которого, наряду с руководителями структур ОАО «РАО ЕЭС России», являются представители различных российских организаций, связанных с электроэнергетикой или с разработками в области сильноточной сверхпроводимости (рис. 1).



Рис. 1. Заседание открыто, председательствует А.Б. Чубайс.

На заседании был представлен совместный доклад генерального директора ОАО «НТЦ электроэнергетики» В.Н. Вариводова и директора по научной работе ОАО «ВНИИКП» В.Е. Сытникова о реализации проекта ВТСП кабеля на напряжение 20 кВ длиной 30 метров на базе ВТСП материалов первого поколения. В докладе также рассказывалось о создании в «НТЦ-Э» испытательного полигона для испытаний элементов сетей, использующих сверхпроводниковые технологии, в том числе и ВТСП кабелей длиной до 200 м. Основными задачами на 2007-2008 гг. являлись: разработка и изготовление ВТСП кабеля длиной 30 м, разработка проекта полигона для испытаний ВТСП кабеля длиной 30-200 м, разработка методик испытаний, закупка и монтаж оборудования полигона с его последующей наладкой и вводом в эксплуатацию, после чего должен следовать монтаж и испытания ВТСП кабеля длиной 30 м.

Все запланированные по графику к марту 2008 г. работы были успешно выполнены. Испытательный полигон полностью подготовлен к установке оборудования. ВТСП кабель был успешно изготовлен, изготовлены криогенные токовые муфты (токовводы), начаты работы по монтажу кабеля на полигоне.

И далее...

ВТСП УСТРОЙСТВА

ВТСП разработки в Германии 5

СЕГОДНЯШНИЙ РЕКОРД

Очередные успехи SuperPower 7

ЗАРУБЕЖНЫЕ КОМПАНИИ

General Cable Asia Pacific и Industrial Research Ltd приступят к промышленному производству сильноточных токонесущих элементов на основе ВТСП 8

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Мировой рынок сверхпроводников: история и прогнозы 9

КОНФЕРЕНЦИИ

9

Создание ВТСП кабеля длиной 30 м является первым этапом работ по использованию и применению в электроэнергетике технологий и оборудования на основе сверхпроводимости на 2007-2015 гг. по программе, утвержденной 16 мая 2007 года А.Б.Чубайсом. Программой предусматривается создание и испытания в 2007-2008 гг. экспериментального кабеля длиной 30 м, разработка, изготовление и ввод в опытно-промышленную эксплуатацию ВТСП кабеля длиной 200-500 м в 2009 г. и ввод в эксплуатацию в схемах энергоснабжения г. Москвы к 2010-2011 гг. ВТСП кабеля длиной более 1 км.



Рис. 2. Первый российский силовой ВТСП кабель длиной 30 м, созданный в ОАО "ВНИИКТ" на полигоне ОАО «НТЦ электроэнергетики».

Целью проекта экспериментального кабеля длиной 30 м является отработка технических решений для создания опытно-промышленного образца ВТСП кабеля (см. также *Силовые ВТСП кабели во ВНИИКТ, "Сверхпроводники для электроэнергетики"* т. 3, № 2, стр. 3 (2006)). Кабель выполнен в трехфазном исполнении, каждая фаза находится в своем собственном криостате (рис. 2). Конструкция ВТСП кабеля (рис. 3) разрабатывалась в соответствии со следующими техническими требованиями:

- Номинальное напряжение - 20,0 кВ
- Максимальное рабочее напряжение - 24 кВ
- Номинальный ток - 1500 А
- Допустимая перегрузка по току - 30 % (~2000А) в течение 6 часов
- Установившееся значение тока трехфазного КЗ в кабеле - (12,5 - 31,5 кА)
- Время существования режима КЗ - (0,25 - 1,5) секунды.
- Удельная мощность потерь в кабеле на номинальном токе - до 6 Вт/м на три фазы
- Теплопритоки через токовые вводы и гибкие криостаты - до 1200 Вт.

Для исследования технологичности различных ВТСП лент при производстве кабеля, а также потерь на переменном токе, в кабеле использовались два типа сверхпроводящих ВТСП лент: производства American Superconductor (США) с критическим током 115-120 А и Sumitomo Electric Industry (Япония) с критическим током около 100 А. Для изучения теплопритоков в гибких криостатах с различной толщиной экранно-вакуумной изоляции были закуплены криостаты производства компании Nexans с различными внешними диаметрами – 110 мм и 92 мм и длиной 30 м каждый. Расчетные теплопритоки в них составляют порядка 2 Вт на погонный метр. Для изучения различных подходов к конструированию концевых токовводных муфт и определения оптимального варианта их конструкции были изготовлены два их варианта, один – разработки РНЦ Курчатовский институт (слева на рис. 4), другой – разработки НИИЭФА им. Д.Ф. Ефремова (справа на рис. 4). Согласно техническому заданию, токовводные муфты должны выдерживать перегрузки по току до 4 кА, их электрическая изоляция должна выдерживать кратковременные перенапряжения до 70 кВ в течение 1 минуты.

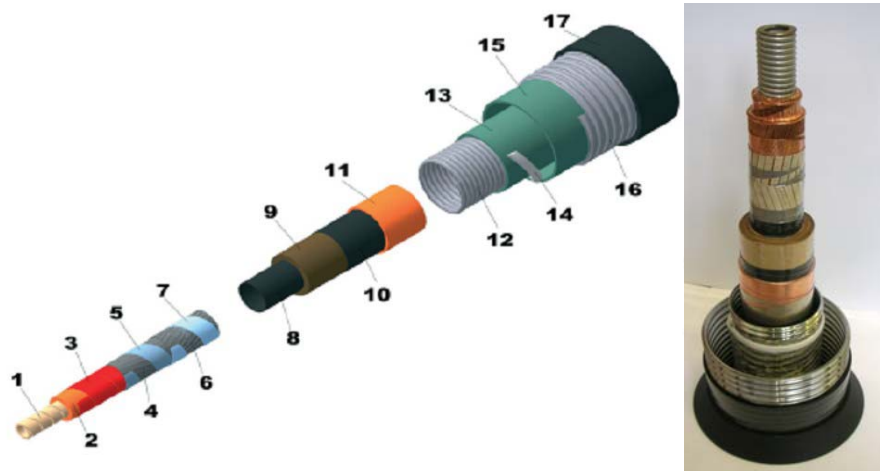


Рис. 3. Конструкция сверхпроводящего силового кабеля: 1, 2, 3 – центральный несущий элемент – формер; 4, 5, 6, 7 – сверхпроводящий токонесущий слой (два повива); 8, 9, 10 – изоляция; 11 – экран; 12, 13, 14, 15, 16 – криостат: внутренняя гофрированная труба, тепловая изоляция, внешняя гофрированная труба; 17 – защитная оболочка.

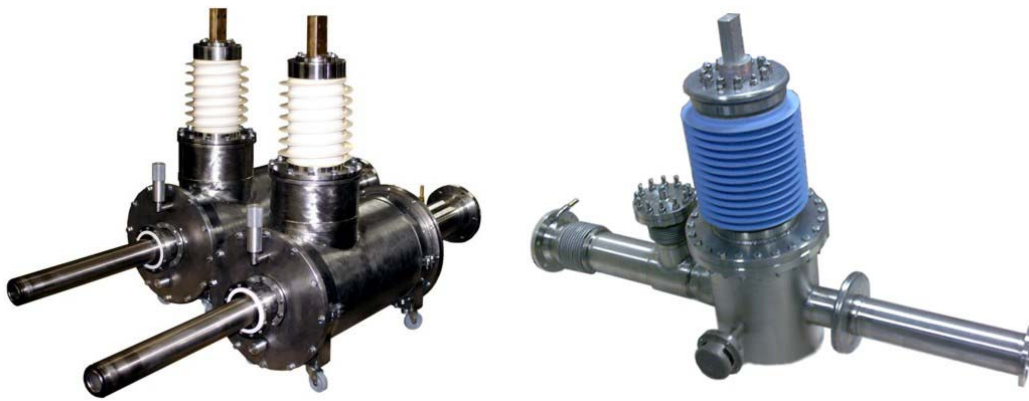


Рис. 4. Токовводные муфты для ВТСП кабеля.

ВТСП кабель был изготовлен с использованием производственных мощностей ОАО «ВНИИКП». Вначале был изготовлен формер, представляющий собой нержавеющую спираль с наложенными пучками медных проводов и обмотанных медной лентой. Поверх формера наматывалось два повива из ВТСП лент (рис. 5), затем кабель был доставлен на завод Камкабель (г. Пермь), где было произведено его изолирование (рис. 6) обычной кабельной бумагой и наложение медного экрана. После изолирования кабель был возвращен во ВНИИКП, где были напаяны наконечники для соединений с токовводными муфтами, после чего фазы кабеля были затянuty в криостаты и подготовлены к монтажу на полигоне.



Рис. 6. Изолирование ВТСП кабеля.



Рис. 5. Укладка повивов ВТСП лент.

На рис. 7. показана компоновочная схема полигона для испытания ВТСП изделий, созданного на территории ОАО «НТЦ электроэнергетики». Технические характеристики полигона позволяют проводить как испытания ВТСП кабелей длиной до 200 м, так и испытания сверхпроводниковых ограничителей тока КЗ, ВТСП трансформаторов и других ВТСП устройств с рабочим напряжением до 110 кВ. Следует отметить, что создаваемый в ОАО «НТЦ-Э» испытательный стенд будет обладать уникальными возможностями для испытаний сверхпроводящих силовых кабелей и других сверхпроводящих устройств под полной нагрузкой, чего нет ни в одном зарубежном испытательном стенде.

ВТСП кабель будет подвергнут целому ряду испытаний: вакуумным проверкам, испытаниям по охлаживанию и отогреву кабеля, опытам по определению критического тока кабеля, испытаниям диэлектрической прочности изоляции. Затем последуют нагрузочные испытания, в ходе которых будет исследоваться длительная работа кабеля с номинальным током и напряжением, изучено поведение кабеля при коротких замыканиях, а также исследована работа кабеля при кратковременных перегрузках по току и работа кабеля при отключении криогенной системы.

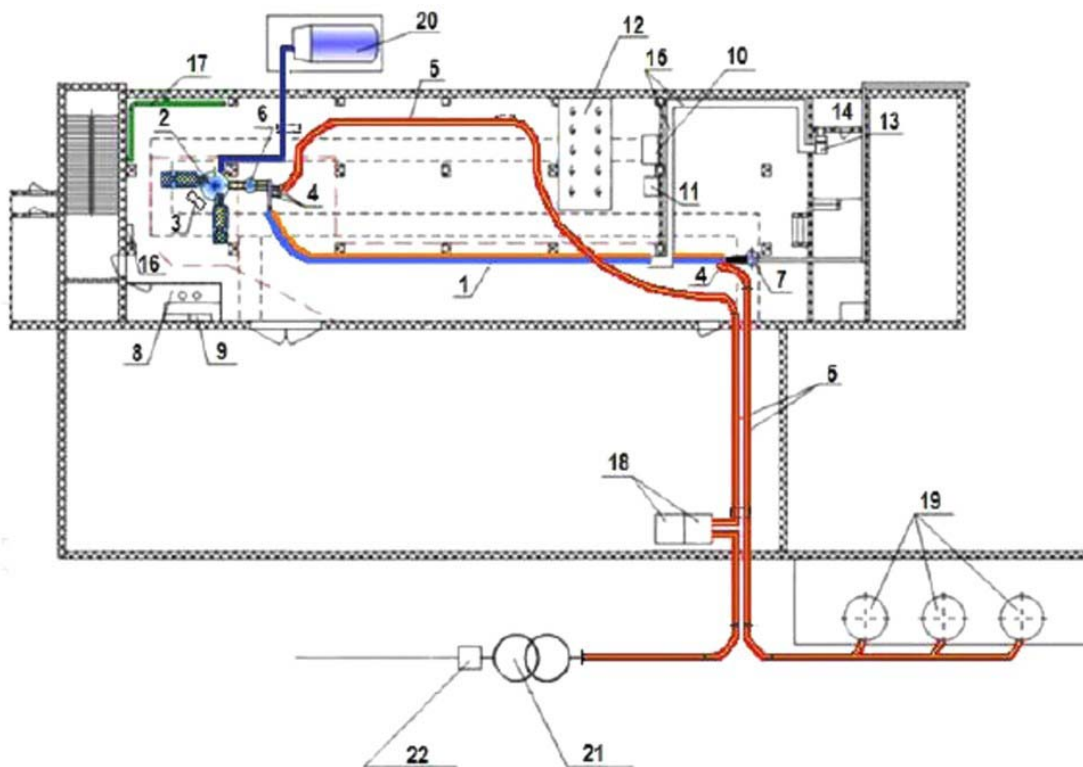


Рис. 7. Схема полигона для испытаний ВТСП кабелей: 1 – ВТСП-кабель, 2 – криогенная установка, 3 – пульт управления криогенной установкой, 4 – токовводы, 5 – кабель (3 фазы 20 кВ 2000 А), 6 – блок распределения нагрузки I, 7 – блок распределения нагрузки II, 8 – центр управления испытательного стенда, 9 – панель СУРЗА, 10 – источник постоянного тока, 11 – сборка собственных нужд 2, 12 – блок реакторов, 13 – вентиляционная установка, 14 – вентиляционная шахта, 15 – вентиляционные короба, 16 – сборка собственных нужд 1, 17 – водоввод, 18 – КРУ с выключателем, 19 – нагрузочные реакторы, 20 – цистерна транспортная криогенная – 8/0,25, 21 – трансформатор, 22 – выключатель.

После окончания заседания, руководителям РАО ЕЭС, членам Координационного совета и приглашенным было продемонстрировано помещение стенда и установленный там кабель с токовводными муфтами. Руководители работ дали пояснения членам Совета и ответили на многочисленные вопросы (рис. 8). Это была первая в России демонстрация реального готового крупного «железа» в об-

ласти применения высокотемпературной сверхпроводимости в электроэнергетике.

В заключение, хотелось бы пожелать команде разработчиков успешно заохладить и запитать ВТСП кабель током (запланировано на лето текущего года) и того, чтобы испытания подтвердили все заявленные характеристики.



Рис. 8 Демонстрация конструкции ВТСП кабеля высшим руководителям российской электроэнергетики

Слева – направо в первом ряду: А.Н. Раппопорт – председатель Правления ОАО «ФСК ЕЭС», Б.Ф. Вайнзихер – технический директор ОАО «РАО «ЕЭС России», А.Б. Чубайс – председатель Правления ОАО «РАО «ЕЭС России», В.Е. Сытников – директор по научной работе ОАО «ВНИИКП»

*М.П. Смаев, В.И. Щербаков,
В.С. Высоцкий*

1. По материалам частных сообщений ОАО «НТЦ Электроэнергетики», ОАО «ВНИИЭ», ОАО «ВНИИКП» и материалам Координационного совета.

ВТСП УСТРОЙСТВА

ВТСП разработки в Германии

В конце февраля в Бонне прошел семинар ZIENL (аббревиатура расшифровывается как "Будущее и инновации в энергетическом оборудовании с применением ВТСП"), организованный объединением Supra. Созданное в прошлом году промышленное объединение Supra призвано, среди прочего, лоббировать интересы фирм разработчиков ВТСП технологий и привлекать в отрасль новые инвестиции. В состав объединения вошли фирмы Adelwitz Technologiezentrum (ATZ), Bruker BioSpin, European High-Temperature Superconductors (EHTS), ERT Refrigeration Technology, Evico, Nexans, NKT cables, PerCoTech, Stirling, Theva и Trithor. Доклады двухдневного семинара (большой частью, на немецком языке) расположены на сайте Supra (<http://www.ivsupra.de/content/view/91/73>).

На форуме были представлены доклады, посвященные ВТСП технологиям в самом широком смысле – от разработки материалов до применений и оценок экономического характера. Надо сказать, что Германия до сих пор является европейским лидером в этой области, хотя в 2000-х годах из-за скудной государственной поддержки немецкие фирмы переживали не лучшие времена. Но, может быть, лоббистский потенциал Supra изменит ситуацию к лучшему. В докладе руководителя фирмы Theva Вернера Пруссайта указано на то, что в Германии сегодня наибольшая плотность фирм-разработчиков сверхпроводникового оборудования в мире. В этой заметке мы рассмотрим некоторые (не все) из докладов форума.



Рис. 1. География немецких организаций, связанных с прикладной сверхпроводимостью.

Дрезденская фирма EVICO (основана в 2004-м году) известна разработчикам ВТСП лент как чуть ли не единственный коммерческий производитель текстурированной подложки в мире. В 2007-м г. на EVICO установлена вертикальная печь (рис. 3) для текстурирующего отжига, позволяющая обрабатывать до 200 м ленты за один проход в режиме пере-

мотки. Сообщается, что в 2008-м году длина производимых кусков достигнет 400 м. Фирма производит в основном ленты из популярного сплава никеля с 5 ат. % вольфрама, но дрезденская научная группа имеет большой опыт в разработке новых перспективных сплавов. Сейчас сообщается, что получена удовлетворительная текстура в сплаве никеля с 7,5 ат. % вольфрама, однако, о том, как этого достигли, информации нет. Температура Кюри у сплава такого состава составляет около 150 К, он очень прочный, однако, до последнего времени попытки текстурировать сплав с содержанием вольфрама более 5% были малоудачны. Заметим, что группа из Оак Риджа (США) также недавно сообщила о получении высокой степени текстурирования в сплаве Ni-9 ат. % W посредством теплой (а не холодной) прокатки.

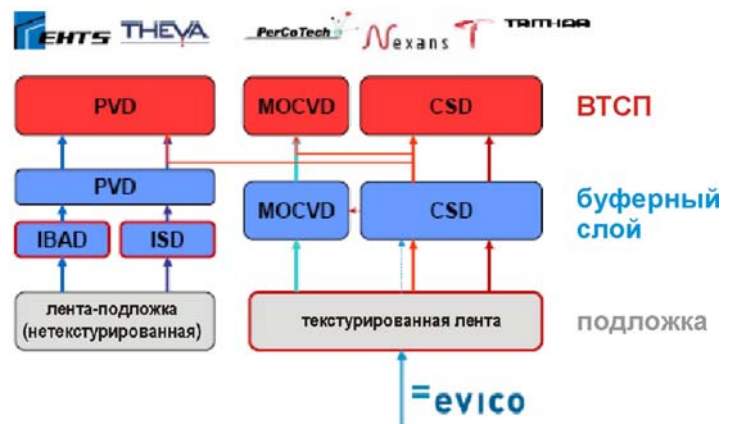


Рис. 2. Схема, поясняющая кооперацию (и конкуренцию) производителей ВТСП провода в Германии.

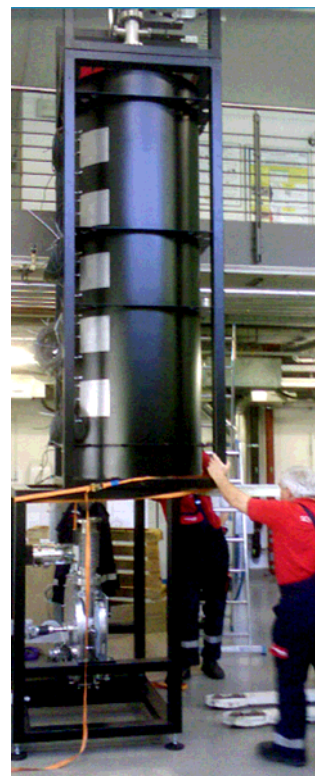


Рис. 3. Вертикальная печь для текстурирования Ni-W ленты в режиме перемотки (EVICO GmbH).

Фирма EHTS развивает технологию IBAD-PLD, разработанную в 90-х годах в группе Фрайхарда в Гёттингене. Результаты этой группы украшали все "рекордные" диаграммы несколько лет назад и на сегодня лучшим достижением фирмы являются 100 метров ленты с критическим 253 А на 1 см ширины. Мировое лидерство в последние годы немцы уступили американцам и японцам. В докладе подчеркивается экономическая эффективность

подхода IBAD-PLD, вопреки распространённому мнению о том, что эти методы – самые дорого-

стоящие из применяемых сегодня. Тем не менее, EHTS инвестирует в дальнейшее развитие своей технологии, устанавливает шестизонную установку для скоростного PLD и разрабатывает новую установку для IBAD. Оборудование должно позволить достичь скоростей от 35 до 75 м/час при длине производимой ленты до 2 км. EHTS производит также ВТСП провод 1-го поколения и поставила в 2007-м году 17 км провода для тоководов большого адронного коллайдера в Швейцарии, а также 1100 ВТСП сборок для тоководов термоядерного реактора в Германии.

Известная немецко-французская фирма Nexans с недавнего времени также активизировалась в области изготовления проводов 2-го поколения. Технология основана на буферном слое $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$, получаемом на подложках Ni-5%W методом MOD. После отжига при 1000°C получаются слои хорошего качества. В феврале получены первые 4 метра ленты с буферным слоем в новой установке в режиме лентопротяжки. Технология нанесения ВТСП также химическая – TFA-MOD, но серьёзных успехов у Nexans в этом направлении пока нет. ВТСП слои неплохого качества получены на буферах Nexans другими компаниями с использованием методов MOCVD (PerCoTech) и электронно-лучевого испарения (Theva). Планы на 2008-й год включают производство 10 м проводника 2-го поколения только своими силами с помощью метода MOD.

В прошлом году группой исследователей из Университета города Брауншвейга основана компания PerCoTech AG. В этом коллективе несколько лет работал автор настоящей заметки. Специализация новой фирмы состоит в использовании метода MOCVD для производства ВТСП 2-го поколения. Фирма тесно сотрудничает с Trithor и Nexans, производя для них буферные слои и ВТСП, а также ведет собственные разработки. На настоящее время на лучших образцах достигнуты плотности критического тока при 77К до 2 MA/cm^2 . Продемонстрирована первая ВТСП-лента длиной 10 метров (в сотрудничестве с Nexans).

Интересный доклад представила фирма Siemens. Siemens не имеет собственного производства ВТСП ленты, но активно участвует в проектах по созданию различного ВТСП оборудования. Так, в 2005-м году был создан 4 МВА генератор, для которого использовались ленты первого поколения производства American Superconductor. В прошлом году, уже на лентах 2-го поколения, создан прототип ограничителя тока мощностью 2 МВА. В докладе приводятся заслуживающие внимания оценки экономического характера. Указано, что при цене в 100 евро/кАм применения могут стать реальностью в областях, где использование ВТСП приводит к большому системному выигрышу – в генераторах, токоограничителях, в кабельных проектах. Широкого применения, с заменой меди в электротехни-

ческом оборудовании на ВТСП, можно ожидать только при цене в 10 раз меньше. Немаловажным является время поставки ВТСП провода (разумным считается срок 6 месяцев), гарантии производителя и надёжность поставок - разработчики должны быть уверены, что смогут в будущем приобрести такой же провод (или с лучшими характеристиками). В сумме, экономические показатели сегодня указывают на возможность создания прототипов, но не позволяют пока развернуть коммерческое производство ВТСП оборудования. Требования к ВТСП лентам не ограничиваются высоким критическим, с него они только начинаются.

Таблица 1. Цена на ВТСП провод при покупке больших количеств (по прогнозам фирм-производителей) в евро за kA^*m

	1G BSCCO	2G YBCO
2007 - 2008	150	200
2009 - 2010	125	125
2011 - ...	50	10-50

Фирма Nexans представила доклад по ВТСП-кабелям. Самый мощный на сегодня трёхфазный ВТСП кабель для проекта LIPA (138 кВ/2400А, 574 МВА) изготовлен именно Nexans. Это первый в мире кабель с передаваемой мощностью, сравнимой с таковой для стандартной линии электропередач на 380 кВ. Интересные данные приводятся по потерям в СП-кабеле: как видно из рисунка, основной вклад вносят тепловые потери, за ними следуют диэлектрические (пропорциональные $\tan\delta$ диэлектрика – ламинированного полипропилена) и гистерезисные потери. Компания Nexans является мировым лидером также в разработке гибких криостатов. Конструкция базируется на коаксиальных гибких трубах из нержавеющей стали. В пространстве между ними расположена фольга с отражающим алюминиевым покрытием и фиксаторы с низкой теплопроводностью. Пространство между сильфонами откачано до разрежения 10^{-5} мбар (согласно представленным на семинаре данным), все криостаты проходят тест на герметичность на гелиевом течеискателе.

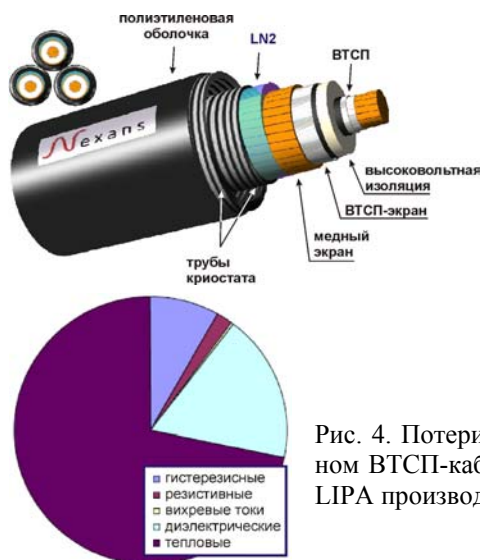


Рис. 4. Потери в высоковольтном ВТСП-кабеле для проекта LIPA производства Nexans.

Известная компания NKT cables GmbH, имеющая уже 9-тилетний опыт эксплуатации ВТСП кабелей, доложила о своих планах. Они связаны с трёхфазным кабелем Triax, рассчитанным на среднее напряжение от 10 до 72 кВ и мощностью до 400 МВА. Компания планирует реализовать 3 проекта - в Нью-Орлеане (1,7 км, 13 кВ, 64 МВА, заменяет существующую 220 кВ ЛЭП, введение в эксплуатацию в 2011), в Нью-Йорке (300 м, с использованием провода 2-го поколения с эффектом токоограничения) и в Амстердаме (6 км, 50 кВ, 250 МВА, заменяет существующий подземный кабель, 2012 год).

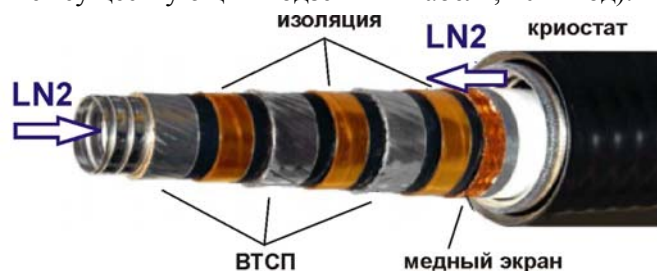


Рис. 5. Трёхфазный кабель Triax (NKT cables GmbH).

Доклад фирмы Converteam был посвящен аспектам применения ВТСП для мощных ветроэнергетических установок (ВЭУ), базирующихся в море. Согласно оценкам, для одного генератора мощностью 8 МВА (12 об/мин) понадобится около 250 км ВТСП провода. ВТСП материалы позволят заметно повысить КПД на малых оборотах за счет подключения генератора к ротору напрямую. Это важно, так как в современных ВЭУ редуктор является главной причиной поломок: в Финляндии в 1996-2004 гг. треть остановок ВЭУ были вызваны именно проблемами с редуктором. Существенно уменьшаются размеры и масса генератора. Естественно, есть и масса нерешённых проблем, но Converteam с надеждой смотрит в будущее. ВТСП-провод 2-го поколения для прототипа должна поставить фирма Trithor в 2010-м году.

Фирма Siemens демонстрирует большую заинтересованность в создании двигателей и генераторов. Первый проект связан с оборудованием для морских судов: в цели компании входит разработка малооборотного ВТСП двигателя 4 МВА/ 120 об/мин. Согласно плану, вес и объём ВТСП-двигателя должны сократиться более чем на треть по сравнению с традиционным двигателем, а КПД составить более 96% (для традиционного < 95%). Учитывая успешный опыт создания фирмой 4МВА ВТСП-генератора с КПД 98.7% и сокращением массы на 36%, эти цели видятся вполне достижимыми. Второй проект предусматривает разработку ВТСП генератора для электростанций. Фирма надеется с использованием ВТСП повысить КПД современного электрогенератора на 0,5% - до 99,5%. Для уменьшения потерь предполагается использовать ВТСП провод с транспозицией отдельных жил по схеме Рёбеля (Ludwig Roebel). Стратегия Siemens, как и в недавнем аналогичном проекте General Electric, основана на постепенной

Electric, основана на постепенной замене выходящих из эксплуатации мощностей на ВТСП оборудование.

На форуме представлена интересная разработка фирм Trithor и Vultmann - индукционный нагреватель с ВТСП катушкой для металлических слитков. Этот проект стартовал несколько лет назад, а сегодня фирмы производят оборудование мощностью от 0,5 до 2 МВт. В катушках используется ВТСП провод 1-го поколения производства Trithor. Бесконтактный разогрев блока диаметром 178 мм до температуры 450°C достигается всего за 4,5 минуты (ток в катушке 6 кА). Разогрев происходит очень равномерно, без поверхностного перегрева. При этом более 80% энергии уходит на разогрев детали – эффективность в 2 раза выше альтернативных методов! Такое оборудование находит применение, например, для разогрева алюминиевых заготовок перед протяжкой – именно так делают всем знакомый алюминиевый профиль.

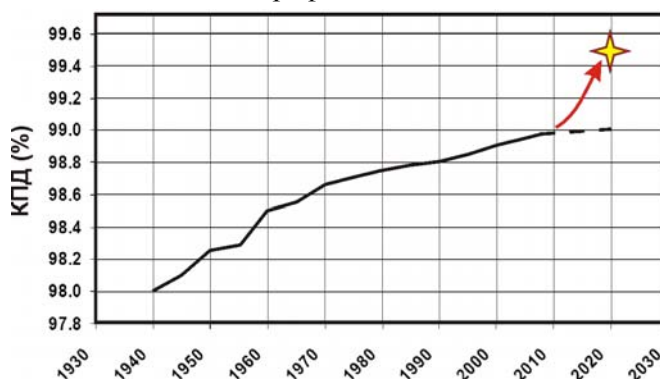


Рис. 6. Прогресс в повышении КПД генераторов электрического тока и прорыв, который может обеспечить в этой области ВТСП оборудование.

С.В. Самойленков

1. <http://www.ivsupra.de>

СЕГОДНЯШНИЙ РЕКОРД Очередные успехи SuperPower

Месяц назад компания SuperPower, Inc в своем докладе на 2008 MRS Spring Meeting сообщила о новых рекордах: 158959 А-м на 935-метровом куске ленты и 813 А/см-ширины на 1 м 2G-проводника. Последнее достижение демонстрирует реальность криттока > 300 А в ленте шириной 4 мм. Помимо этого, в докладе сообщалось несколько важных деталей.

Производительность в расчёте на ленту шириной 4 мм на сегодня у SuperPower такая: распыление $Al_2O_3+Y_2O_3$ – 750 м/ч, IBAD MgO – 360 м/ч, распыление MgO+LaMnO₃ - 345 м/ч, МОСVD 1 мкм YBCO – 180 м/ч. Разориентация зерен в слое LMO, служащем основой для ВТСП – составляет 6-8° на лентах километровой длины, что является очень хорошим результатом. Зона осаждения ВТСП методом МОСVD составляет 8*80 см², летучие вещества в эту зону подаются одним-единственным "душом". Нетрудно подсчитать, что для осаждения слоя

ВТСП толщиной 1 мкм лента находится в зоне осаждения в течение всего нескольких минут. Это подтверждает на практике высокую производительность метода МOCVD.

Фирма продолжает исследование замещения иттрия в YBCO на другие редкоземельные элементы и его влияние на СП свойства. Сообщается о положительных результатах при использовании твёрдого раствора (Y,Gd)BCO – плотность критического тока относительно (Y,Sm)BCO повысилась приблизительно на 20% и достигла для плёнок толщиной 0,3 мкм величины 6,6 МА/см².

ВТСП-кабель в Олбани с 30-тиметровой вставкой из 2G-кабеля был успешно захоложден и в начале года подключен к электросети. Не обнаружено какой-либо деградации свойств кабеля при установке и т.д. Потери на переменном токе составили практически такую же величину, что и для тестового куска длиной 1 м – 0,34 Вт/м на фазу при переменном токе 800 А, 60 Гц.

С.В. Самойленков

1. <http://www.mrs.org>
2. <http://www.superpower-inc.com>

ЗАРУБЕЖНЫЕ КОМПАНИИ

General Cable Asia Pacific u Industrial Research Ltd приступят к промышленному производству сильноточных токонесущих элементов на основе ВТСП

Новозеландская компания Industrial Research Ltd. (IRL) уже несколько лет активно занимается разработками в области ВТСП материалов, электротехнических устройств на их основе, а также сопутствующего криогенного оборудования. В 2006 г. IRL совместно с компаниями Long Electromagnetics Incorporated (LEI) (США) и HTS-110 Ltd. (Новая Зеландия) разработала и изготовила компактный ВТСП генератор мощностью 5 МВт, предназначенный для восстановления энергоснабжения в зонах стихийных бедствий. Масса ВТСП генератора составляет всего 1,5 тонны, что позволяет легко транспортировать его по воздуху. Для сравнения, масса обычного генератора мощностью 5 МВт составляет около 5 тонн. Частота вращения генератора составляет 12000-15000 об/мин. Ротор генератора четырехполюсный, выполнен из ВТСП проводов на основе Bi-2223, рабочая температура ротора около 30 К, охлаждение осуществляется от криокулера. Статор генератора имеет традиционное исполнение с масляным охлаждением.

Компания IRL совместно с Cryomech (США) ведет разработку криокулеров на базе пульсационных труб Стирлинга. Конструкция холодной головки разрабатывается в Cryomech, разработкой привода занимается IRL. Уже создан опытный образец криокулера с холодопроизводительностью в несколько сотен ватт при температуре 77 К.

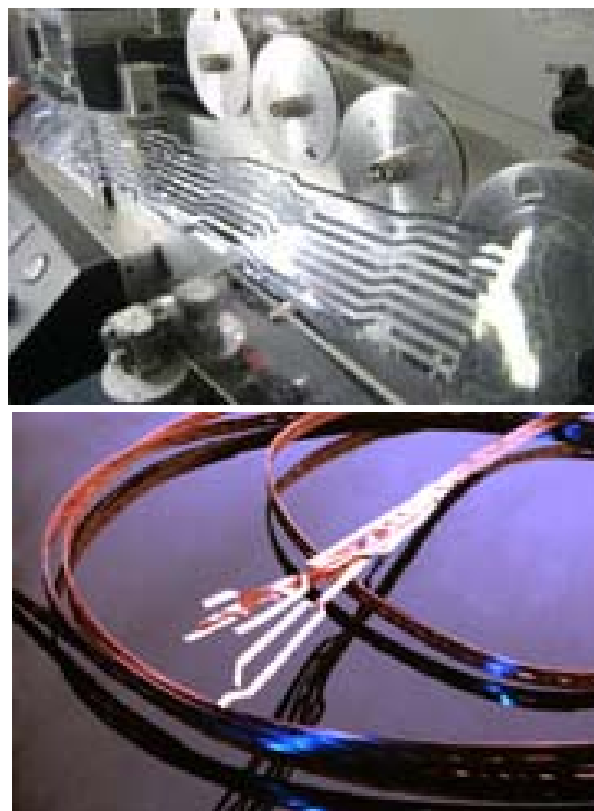


Рис. 1. Производство ВТСП токонесущих элементов.

Компания General Cable Asia Pacific (GCAP), расположенная в г. Christchurch (также Новая Зеландия), стала партнером Industrial Research Ltd. в области разработки и коммерциализации сильноточных токонесущих элементов на основе ВТСП проводов 2-го поколения. Уже в течение 60 лет GCAP занимается разработкой и производством различной кабельной продукции. В ближайшие три года GCAP вложит в проект не менее 1,9 млн. USD, чтобы через пять лет приступить к промышленному производству ВТСП токонесущих элементов по технологии Continuously Transposed Cable (CTC). Ожидается, что первым клиентом станет компания HTS-110, ключевым партнером которой является American Superconductor. Поставку ВТСП материала будет также производить American Superconductor.

Так как изготовить токонесущий элемент из нескольких ВТСП лент путем их скрутки весьма затруднительно, был предложен другой подход: ВТСП проводник разрезается на тонкие ленточки в форме меандров, из которых затем складывается токонесущий элемент (рис. 1). Впервые подобная технология была предложена немецкой фирмой Theva (кабели Roebel). Токонесущие элементы типа CTC отличаются малыми потерями на переменном токе и хорошими механическими свойствами.

В период с 2008 по 2010 гг, компания GCAP осуществит модернизацию производственных линий, проведет пусконаладочные работы и определит объем коммерческих поставок. Исполнительный директор GCAP Campbell Whyte полагает, что уже сегодня IRL обладает патентованной технологией, коммерциализация которой произойдет в ближай-

шие два-три года. По словам Aaron Gilmore, исполнительного директора компании General Cable Superconductors Investments Ltd., CTC ВТСП токнесущие элементы будет широко использоваться в трансформаторах, генераторах и электродвигателях. Независимые исследования показывают, что рынок CTC ВТСП токнесущих элементов через десять лет достигнет объема в несколько миллиардов долларов.

В.И. Щербаков

1. *Superconductor Week, 22, n. 22, 4 (2008).*

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Мировой рынок сверхпроводников: история и прогнозы

Согласно данным европейского консорциума Conpectus мировой рынок сверхпроводников (СП) в 2007 г. составил около 4,0 млрд. EUR. Учитывались как продажи самих СП-материалов, так и конечных устройств (или их компонентов), работа которых основана на явлении сверхпроводимости. Кроме того, учитывались расходы по эксплуатационному и гарантийному обслуживанию, а также заказы на НИР, НИОКР и изготовление прототипов. Статистический анализ рынка сверхпроводников за 2004 и 2007 гг. и прогнозы на 2010 и 2013 гг. отражены на рис. 1.

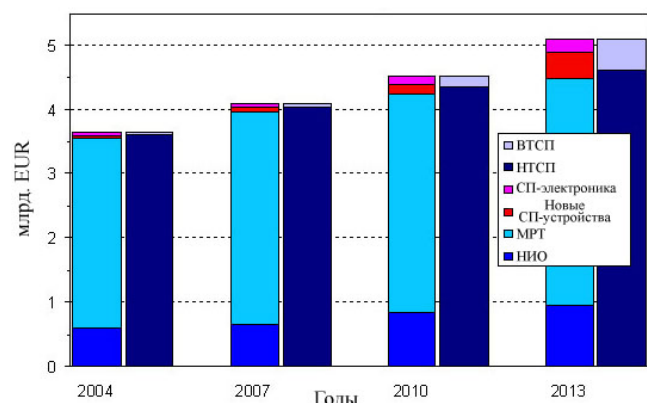


Рис. 1. Мировой рынок сверхпроводниковых приложений.

Исторически сверхпроводниковые технологии впервые начинали использоваться в таких отраслях как фундаментальные физические исследования и военные технологии, а на следующем этапе СП технологии начали осваивать медицину. Большинство используемых СП устройств выполнены на основе низкотемпературных сверхпроводников (НТСП). В настоящее время рынок промышленных СП изделий ограничивается, в основном, сверхпроводящими магнитами различных размеров и назначения: от небольших исследовательских устройств до громадных промышленных установок. Сейчас наиболее востребованная для СП магнитов сфера применения – медицинская диагностика (магнито-резонансная томография – МРТ). Как видно из рис. 1, две области – научно-исследовательское оборудование (НИО) и МРТ занимают практически весь мировой рынок сверхпроводниковых устройств.

Согласно прогнозам консорциума, к 2013 г. СП-рынок несколько вырастет и составит около 4,5 млрд. EUR. Несмотря на то, что вклад устройств на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) возрастет, ключевую роль на рынке будут продолжать играть устройства на базе НТСП материалов.

С другой стороны, к вышеперечисленным отраслям начинают постепенно присоединяться новые области, которые, как ожидается, будут широко использовать сверхпроводниковые материалы и технологии. Такими областями являются электроэнергетика, информационные технологии, новые методы обработки материалов в промышленности, транспорт и новые приложения в медицине. На диаграмме они обозначены как “новые СП-устройства” и “СП-электроника”. Для увеличения коммерческой эффективности в данных сферах потребуются дальнейшее развитие технологий, что позволит снизить цену на СП-устройства. Более того, для развития рынка необходимо улучшить связь между пилотными проектами и промышленностью, увеличить производственные мощности, что переведет рынок сверхпроводниковых приложений на принципиально новый уровень инвестиций. Согласно оценкам Conpectus, мировой рынок новых СП-применений может к 2013 году составить 0,6 млрд. EUR.

Таблица 1. Мировой рынок сверхпроводниковых приложений.

Отрасль	2004	2007	2010	2013
Научно-исследовательское оборудование (НИО)	600	660	835	955
Магнито-резонансная томография (МРТ)	2950	3300	3410	3525
Всего НИО и МРТ	3550	3960	4245	4480
Новые СП-устройства	35	65	150	410
СП-электроника	65	60	125	210
Всего новых приложений	100	125	275	620
Всего	3650	4085	4520	5100
НТСП	3610	4025	4350	4600
ВТСП	40	60	170	500

Ожидается, что доля НТСП будет продолжать расти и к 2013 году составит 4,6 млрд. EUR (таблица 1). Доля изделий из ВТСП приблизится к 0,5 млрд. EUR в 2013. Сегодня на Евросоюз приходится около половины мирового рынка СП. Предполагается, что в будущем доля ЕС существенно снизится, в первую очередь вследствие бурного развития экономики азиатского региона.

М.П. Смаев

1. <http://www.conectus.org/>

КОНФЕРЕНЦИИ

22 - 25 июня 2008

Eighth International Workshop on Low Temperature Electronics (WOLTE-8)

Иена, Германия

Web: <http://www.wolte8.eu/>

24 - 27 июня 2008

The European Conference Physics of Magnetism'08
Познань, Польша
Web: <http://www.ifmpan.poznan.pl/zp2/pm08.html>

30 июня – 11 июля

International Seminar and Workshop on Competing Orders, Pairing Fluctuations, and Spin Orbit Effects in Novel Unconventional Superconductors
Дрезден, Германия
Web: <http://www.mpiPKS-dresden.mpg.de/~cofus08/>

29-31 июля 2008

Superconductivity for Electric Systems 2008 Annual Peer Review
Арлингтон, США
Web: <http://www.energetics.com/supercon08/>

6 - 13 августа 2008

25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25)
Лейден, Нидерланды
Web: www.lt25.nl

17 - 22 августа 2008

Applied Superconductivity Conference (ASC 2008)
Чикаго, США
Web: <http://www.ascinc.org/>

6 - 9 сентября 2008

XVIII International Conference on Electrical Machines (ICEM'08)
Виламура, Португалия
Web: <http://www.apdee.org/index.php?pageid=1237>

14 - 19 сентября 2008

Joint European Magnetic Symposia (JEMS'08)
Дублин, Ирландия
Web: <http://www.jems08.ie>

27 - 29 октября 2008

21st International Symposium on Superconductivity (ISS 21)
Цукуба, Япония
Web: <http://www.istec.or.jp/ISS/>

30 октября - 1 ноября

CHATS on Applied Superconductivity (CHATS-AS 2008)
Цукуба, Япония
Web: www.chats-as.org

10 – 14 ноября 2008

53rd Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2008)
Остин, США
Web: <http://www.magnetism.org/>

<http://perst.isssph.kiae.ru/supercond>

Издатель РИЦ «Курчатовский институт»

(при поддержке ОАО «НТЦ электроэнергетики» и Фонда «Научный потенциал»)

Научный редактор *Н.А. Черноплеков*, член-корр. РАН,

научный руководитель ИСФТТ РИЦ «Курчатовский институт»

Редакторы *В.С. Высоцкий* vsotsky@gmail.com, *В.И. Щербаков* sherby@isssph.kiae.ru

Ответственный редактор: *М.П. Смаев* smayev@sci.lebedev.ru

В подготовке выпуска принимали участие: *С.В. Самойленков*, *Д.И. Шутова*, *А.К. Чернышева*
perst@isssph.kiae.ru,

Верстка *И.Л. Фурлетова*