



РОСАТОМ

Международный Конгресс.
Возобновляемая энергетика XXI век:
энергетическая и экономическая эффективность
Сколково, 13-14 октября 2016 г.



Русский Сверхпроводник

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Сверхпроводниковые технологии в электроэнергетике

Панцырный В.И., д.т.н.

*Директор по развитию
АО «Русский сверхпроводник»*

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года

УТВЕРЖДЕНА
распоряжением Правительства РФ
от 13.11.2009 г. № 1715-р

7. Инновационная и научно-техническая политика в энергетике

Стратегической целью данной составляющей государственной энергетической политики является создание устойчивой национальной инновационной системы в сфере энергетики для обеспечения российского ТЭК высокоэффективными отечественными технологиями и оборудованием, научно-техническими и инновационными решениями в объемах, необходимых для поддержания энергетической безопасности страны.

Одним из таких инновационных решений является применение новых материалов и технологий, в частности на основе **эффекта сверхпроводимости**

Важнейшим новым положением ЭС-2035 в сфере повышения экономической эффективности ТЭК является отход от целевой установки на максимизацию исключительно бюджетных доходов от функционирования ТЭК России. В качестве основной цели фиксируется максимизация общеэкономического эффекта с учетом косвенных мультипликативных эффектов от функционирования ТЭК России.

Сверхпроводники (НТСП и ВТСП)



Отсутствие электросопротивления
Высокие магнитные поля



Охлаждение до
криогенных температур

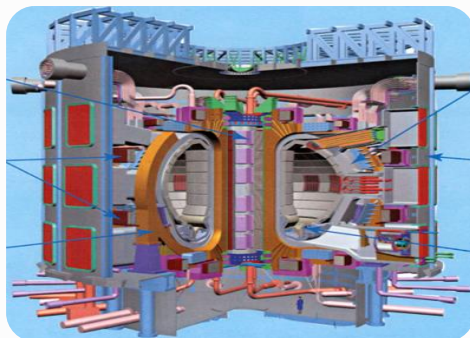
Производство



Передача



Потребление



Магнитные системы
термоядерных реакторов

Генераторы для ветровой
энергетики

Кабели для Линий
Электропередач

Токоограничители

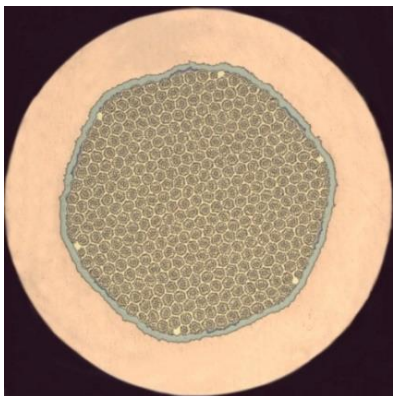
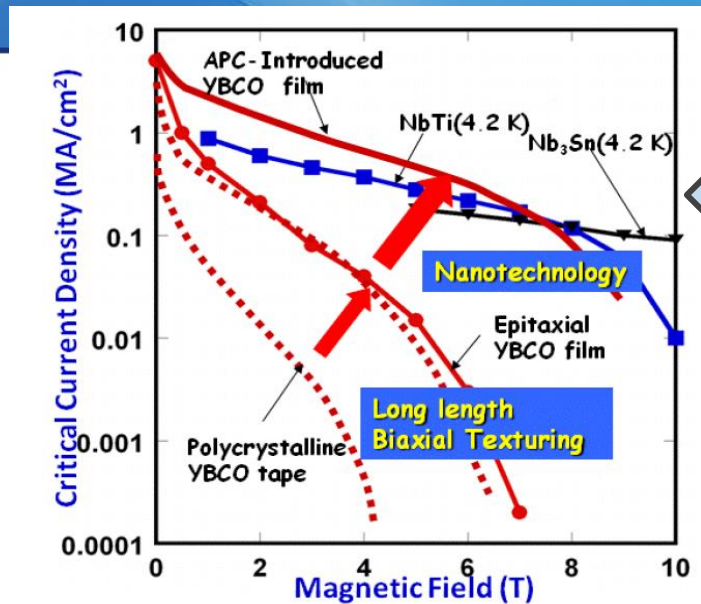
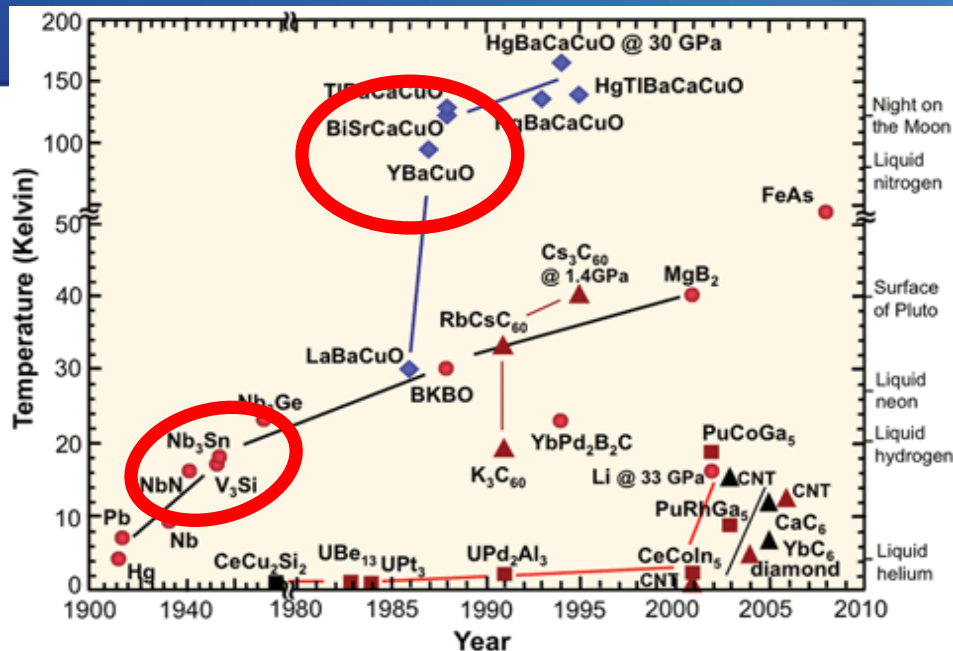
Трансформаторы

Накопители энергии

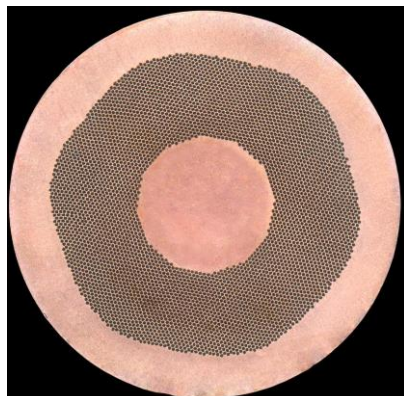
Электродвигатели



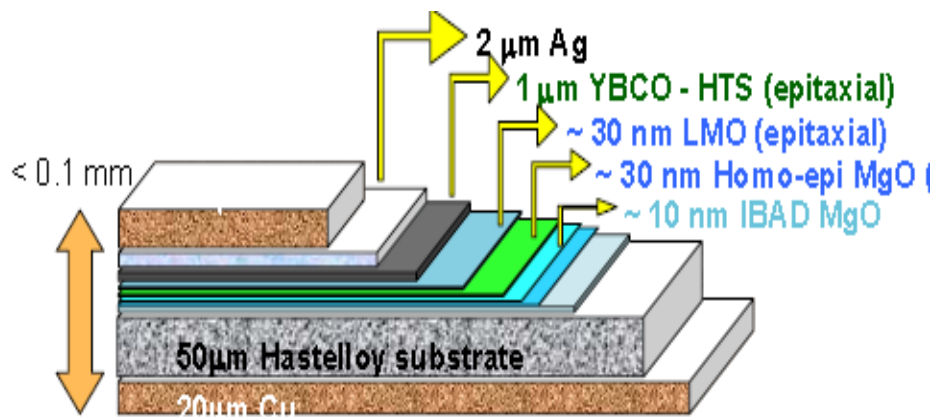
Сверхпроводники (НТСП и ВТСП)



НТСП- Nb_3Sn

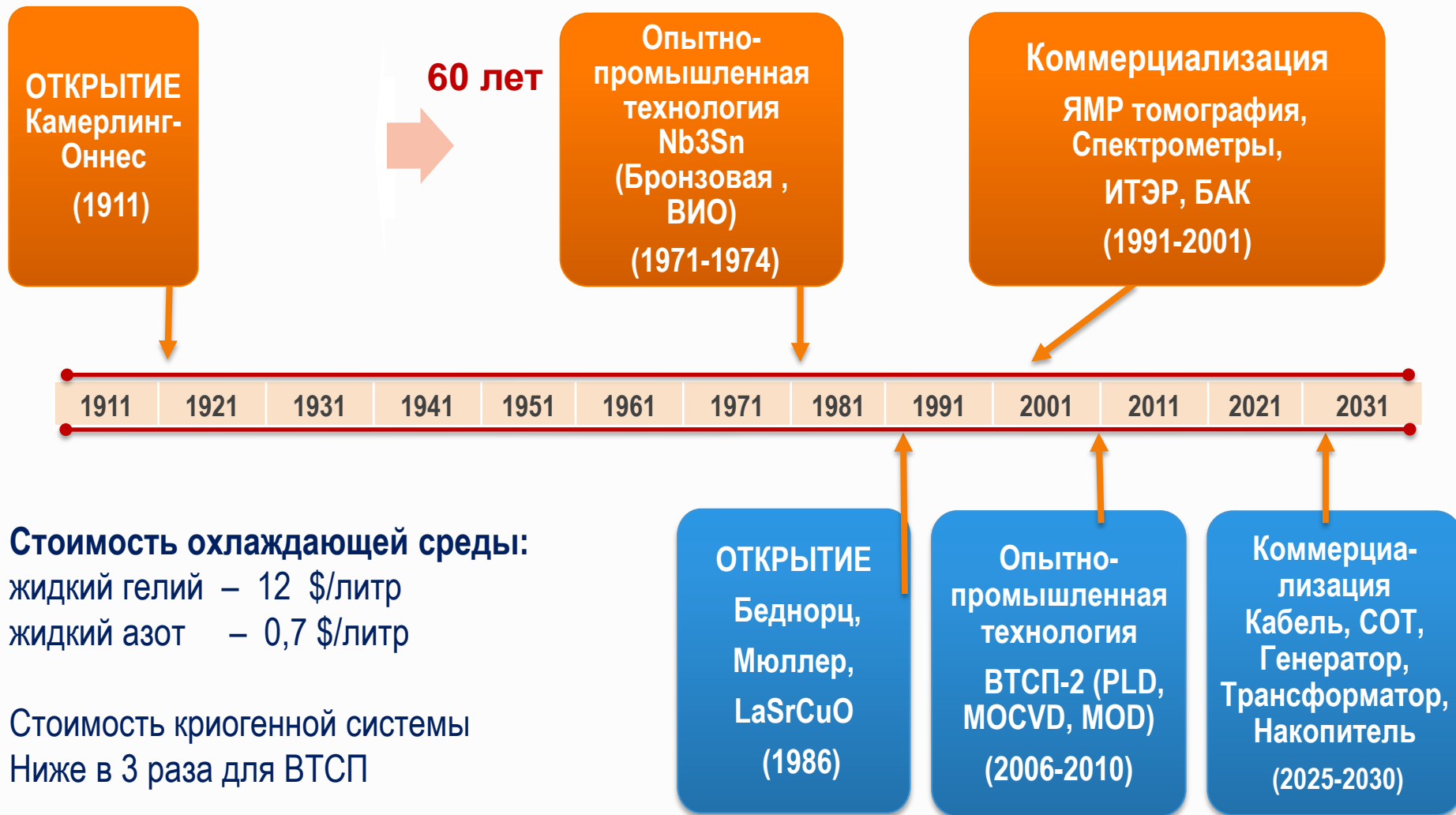


НТСП-Ti



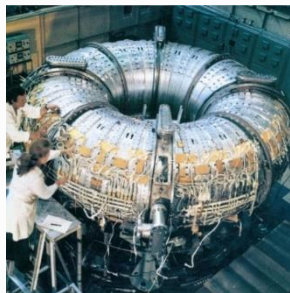
ВТСП- $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$

История развития технической сверхпроводимости

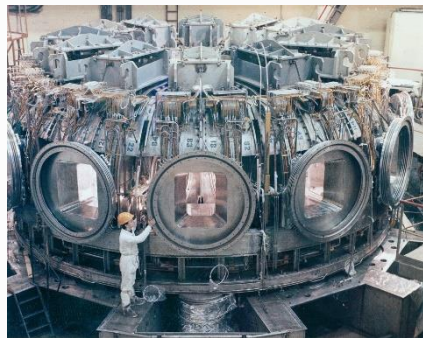


Развитие VTСП идет более быстрыми темпами

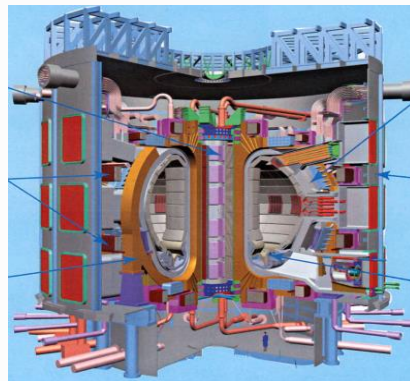
Низкотемпературная сверхпроводимость в РФ



Токамак Т-7
(NbTi) -1978



Токамак Т-15
(NbSn) -1988



ИТЭР 2008-2020



АО ЧМЗ (Глазов), 2009
60 тонн/год NbTi; Nb3Sn

Создана национального масштаба инфраструктура технической сверхпроводимости

**Фундаментальные
исследования**

**Прикладные
исследования**

**Промышленное
производство**

ИАЭ, НИИЭФА, ИФВЭ, ФИАН, ИМЕТ, ХФТИ, ИМФ СО РАН, ВЭИ, ВНИИНМ, ВНИИКП, НИИТФА, «Кристалл», УМЗ, ЧМЗ, Кирскабель, Электросила. МИФИ, МАИ, ГУАП, МИСиС

Достигнуты лидирующие позиции в мире в области производства НТСП и устройств на их основе
Объективно имело место отставание в области ВТСП технологий

Создание производства ВТСП-2 и устройств на их основе

Проект «Сверхпроводниковая индустрия» (2010-2015гг)
часть проекта «Инновационная энергетика» по направлению
«Энергоэффективность»



Головные организации: НИЦ «Курчатовский институт», ВНИИНМ, НИИЭФА, НИИТФА, ГИРЕДМЕТ, НИФХИ, ВЭИ, + МАИ, ЭНИН, ГУАП, ВНИИКП, НТЦ ФСК ЕЭС, МИФИ, МГУ, МВТУ, МИСиС

Промышленные предприятия ГК «Росатом»: ТВЭЛ, ЧМЗ, ТОЧМАШ + АКБ «Якорь», НИИЭМ, ГОРИЗОНТ

Задачи и стадии Проекта 2010-2015 гг.



ВТСП-2 лента. Отечественное производство

НИЦ КИ (Москва):

Комплексная научно-экспериментальная линия полного цикла производства ВТСП ленты (длиной до 100 м)

Планируется создание сертификационного и аттестационного центров ВТСП техники

ВНИИНМ (Москва); НИИТФА (Москва); НИИЭФА (С.Петербург):

Опытное производство ВТСП-2 шириной 4 мм длиной до 1000 м. Производительность опытного производства длинномерных ВТСП лент : 60-75 км/год. (кооперация - ВНИИНМ, НИИТФА, НИИЭФА)



Разработан проект создания крупномасштабного производства ВТСП (ТВЭЛ, ГСПИ, ЧМЗ) с объемом производства до 7000 км в год

**Темпы роста объемов производства ВТСП-2 в мире
2010г – 1000 км; 2015г. - 5000 км; 2030г. > 15 000 км**

К 2020-2030 годам условная стоимость ВТСП ленточных проводов ($\approx 25\$/\text{кА}\cdot\text{м}$) станет сопоставимой со стоимостью медных проводов



Сверхпроводниковый ограничитель тока КЗ

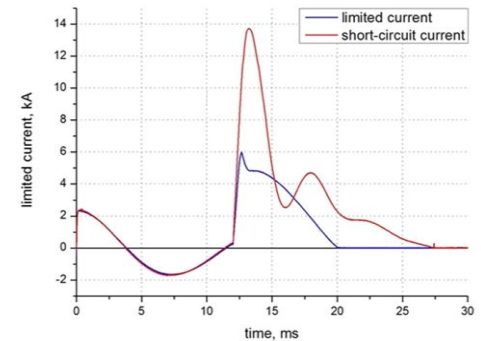
для сетей постоянного тока 3,5 кВ/ 2 кА и переменного тока 10 и 35 кВ



- Номинальное напряжение: 3,5 кВ
- Номинальный ток: 2 кА; Ток ограничения: 10 кА
- Время токоограничивающего действия: не более 8 мсек.
- Габариты (без криосистемы): 2060 мм x 1110 мм x 1110 мм

Ключевые преимущества:

- Скорость срабатывания выше в 2-3 раза
- Потери в номинальном режиме до 20 раз меньше
- Снижение динамического воздействия токов КЗ на сетевое оборудование
- Снижение требований к сетевому оборудованию на устойчивость к воздействию токов КЗ



Сверхпроводниковый силовой трансформатор

Мощностью – 1 МВА

- Мощность: 1000 кВА; Частота: 50 Гц
- Напряжение ВН: 10 кВ; Напряжение НН: 0,4 кВ
- Материал магнитопровода: аморфная электротехническая сталь
- Габариты (без криосистемы): 2800 мм x 2380 мм x 1300 мм

Ключевые преимущества:

- Снижение потерь электроэнергии:
 - в обмотках (нагрузочные потери) – в 30 раз
 - в магнитопроводе (потери ХХ) – в 5 раз
- Увеличенная перегрузочная способность;
- Увеличенный срок службы;; Пожаробезопасность



Сверхпроводниковый кинетический накопитель энергии

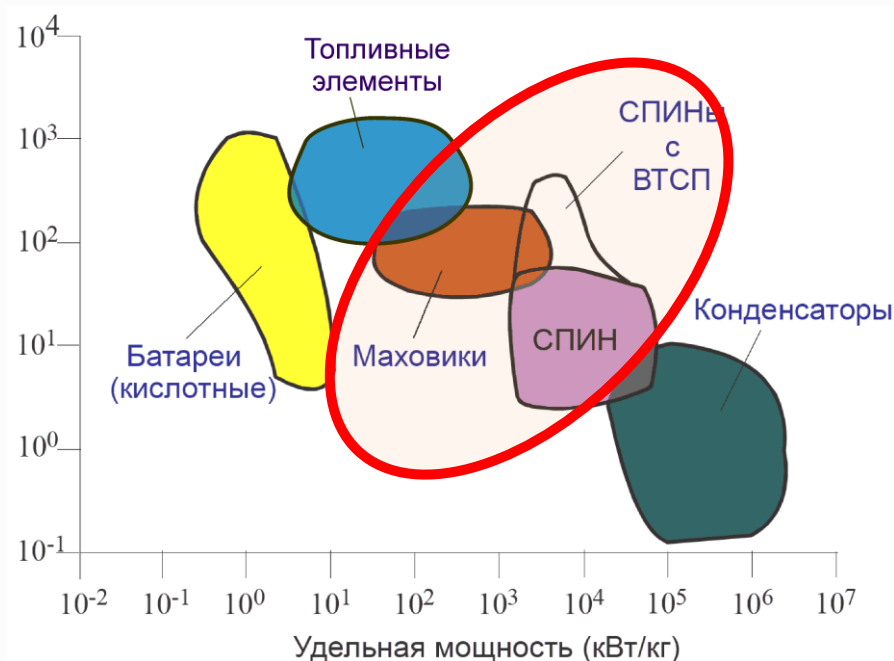
(Емкостью – от 5 МДж)



Ключевые преимущества:

- Высокая удельная мощность и энергоемкость;
- Быстродействие;
- Большой ресурс;
- Экологичность.

Применены Технологии атомной отрасли для производства сверхвысокопрочных композиционных маховиков из углеродных нитей



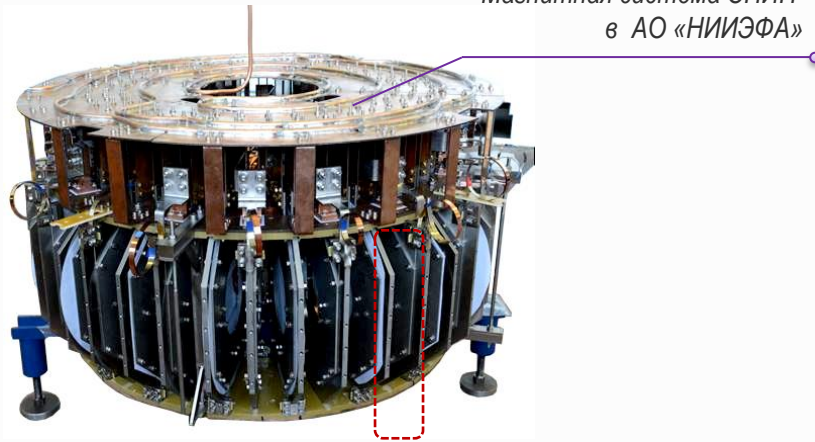
Характеристики устройства:

- Уровень запасаемой энергии: > 5 МДж
- Выходная мощность мотор-генератора: 100 кВт
- Время заряда: до 300 сек
- Время разряда: 50 сек
- Диапазон выходного напряжения: 350–150 В
- Частота выходного напряжения: 50 Гц
- Габариты (без криообеспечения): 2060 мм x 1110 мм x 1110 мм

Сверхпроводниковый индуктивный накопитель

Емкостью – 1 МДж-30 МДж

Магнитная система СПИН
в АО «НИИЭФА»



Проект мобильного СПИНа
мощностью до 1 ГДж (5МВт; 180 с)

Характеристики устройства:

- Энергоемкость, МДж 1
- Максимальная мощность: 1000 кВА
- Длительность замещения внешнего электроснабжения при номинальной мощности сети: *не менее 7,5 сек*
- Время выхода на режим максимальной мощности: *не более 10 мсек*

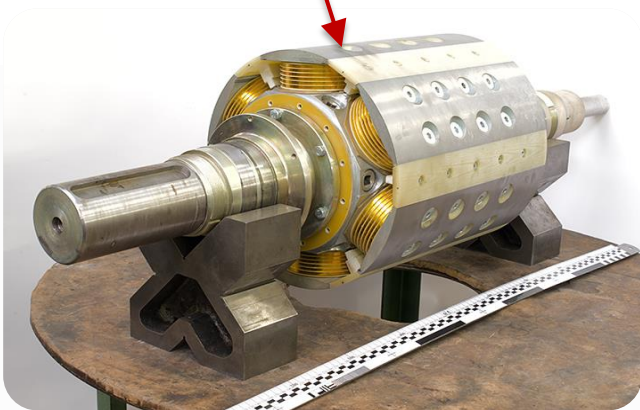
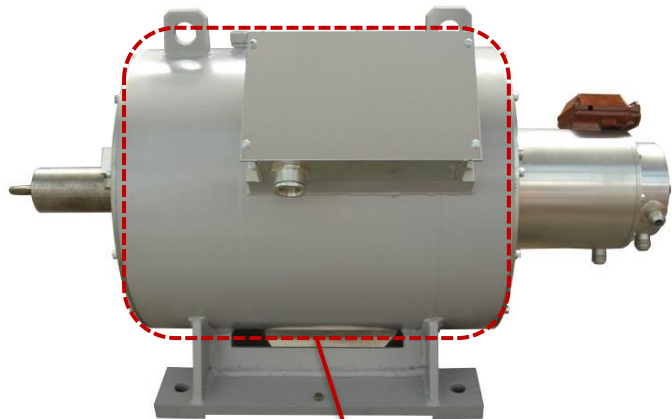
Ключевые преимущества:

- Высокая эффективность преобразования и хранения энергии;
- **Быстродействие;**
- **Практически неограниченный ресурс;**
- Экологичность
- Реализация импульсного питания большой мощности

Высокая плотность энергии - 60 МДж/м³

Сверхпроводниковый электродвигатель

Мощностью – 200 кВт (Развитие – 5МВт – 20 МВт)

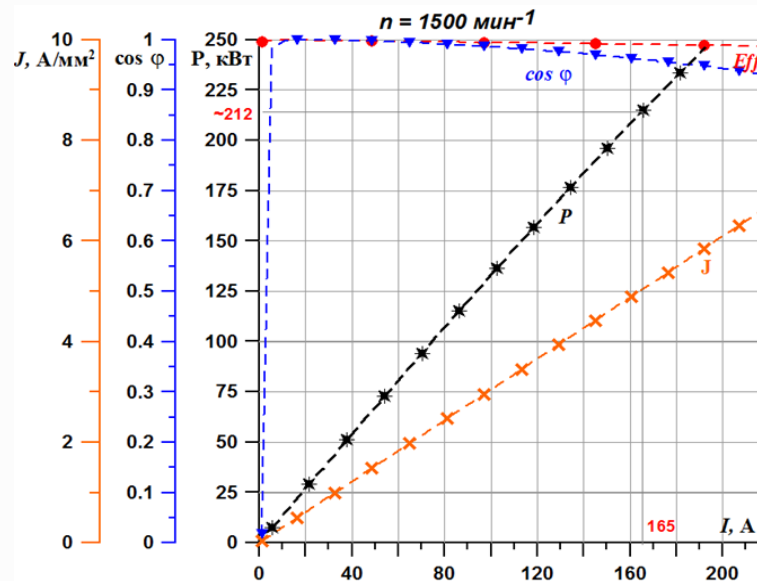


- Уменьшенные масса и габариты;
- Увеличенная удельная мощность;
- Увеличенный КПД;
- Увеличенная перегрузочная способность;
- Увеличенный срок службы;

Характеристики устройства:

- Номинальная мощность: 200 кВт
- Напряжение (междуфазное) питания обмотки статора: 450 В
- Число фаз обмотки статора: 3
- Номинальный ток (фазный): 165 А
- Номинальная частота вращения: 1500 об/мин
- Максимальная частота вращения: 4000 об/мин
- Номинальный КПД: 96,3%
- Габариты (без системы криообеспечения): 1070 мм x 650 мм x 650 мм

Рабочие характеристики двигателя



Сверхпроводниковый синхронный генератор

Мощностью – 1 МВт (Развитие -10 МВА)

ВТСП- генератор
мощностью 1 МВА

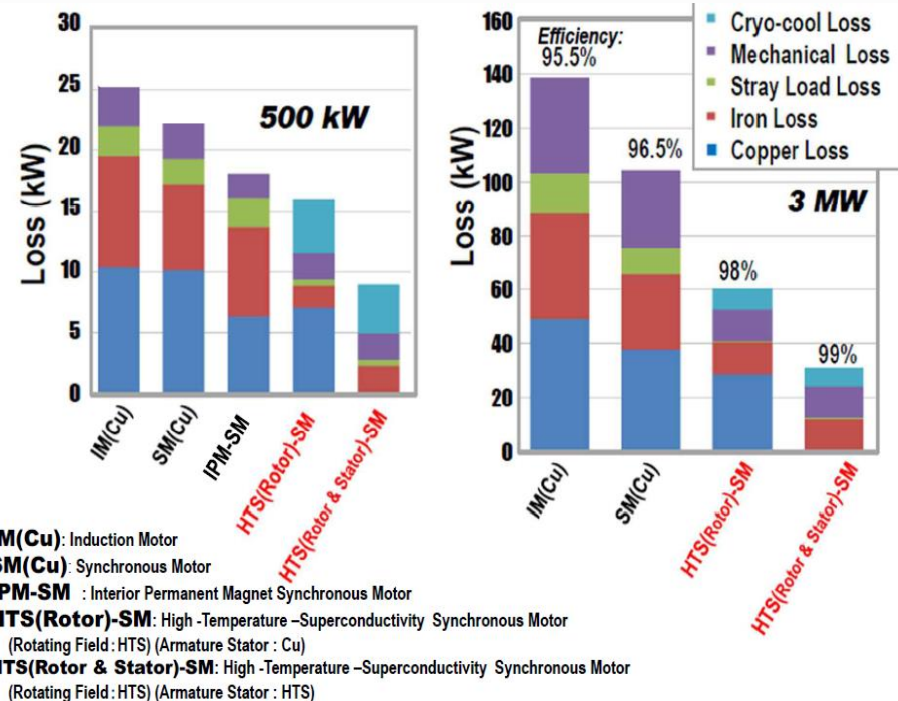
Нормально-проводящий
генератор равной
мощности



- Уменьшенные масса и габариты
- Увеличенная удельная мощность – 2-3 раза;
- Увеличенный КПД;
- Увеличенная перегрузочная способность;
- Увеличенный срок службы;
- Пожаробезопасность

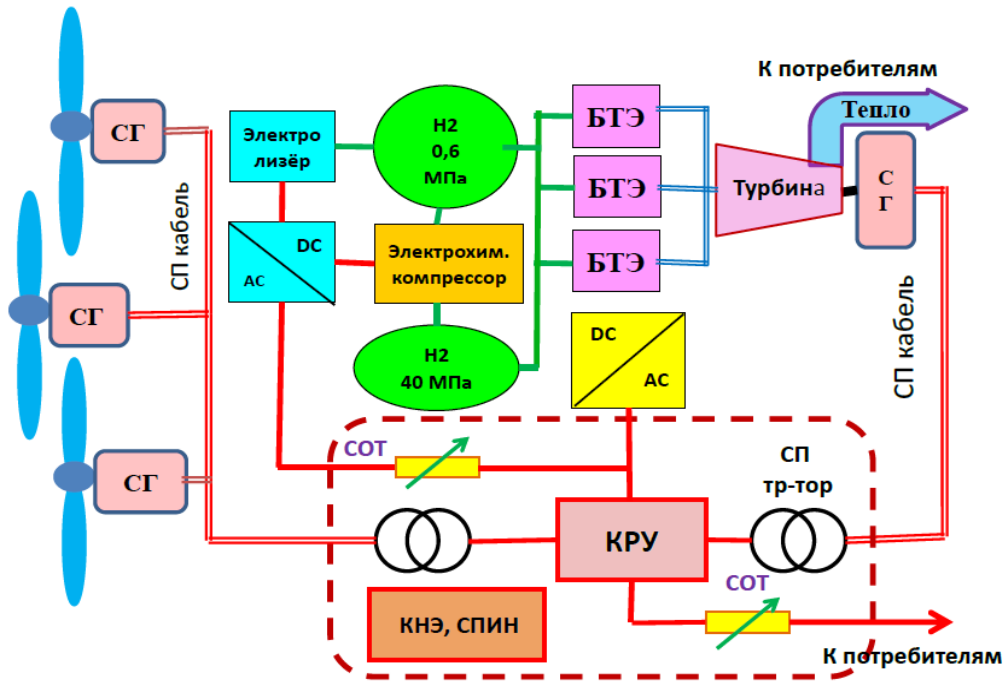
Характеристики устройства:

- Номинальная мощность: 1000 кВА
- Номинальное напряжение: 1195/690 В
- Номинальная частота: 50 Гц
- Число фаз: 3
- Фазный ток: 500 А
- Момент на валу: 16 кН*м
- КПД (без учета затрат на охлаждение): 99,2 %
- Габариты (без системы криообеспечения): 2280 мм x \varnothing 1112 мм



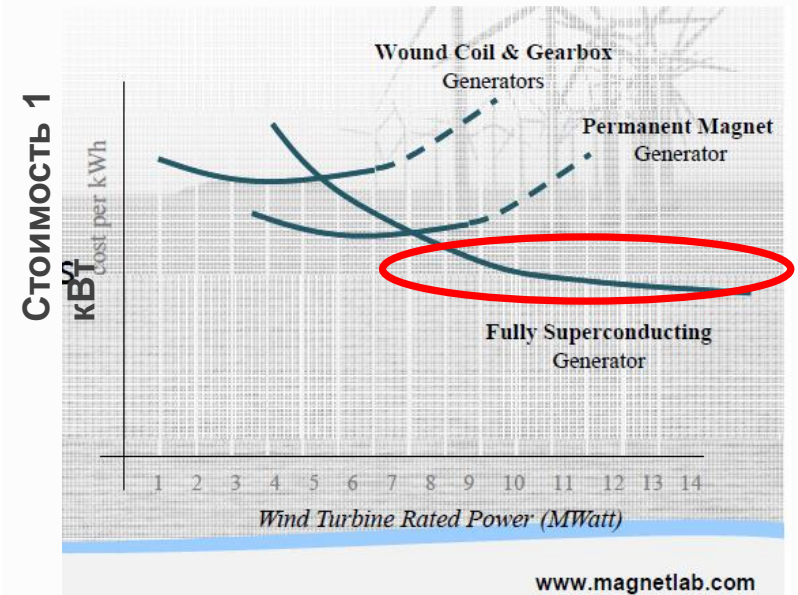
Преимущества применения сверхпроводниковых технологий в ВЭУ

- Возможность повышения мощности вплоть до 20 МВт при одновременном снижении массогабаритных параметров гондолы (до 2 раз) и, всей ВЭУ на 20-30%
- Возможность снижения капитальных затрат и потерь электроэнергии при выдаче мощности от поля ВЭУ потребителям на низком напряжении (до 2 раз)



Структурная схема автономной сверхпроводниковой ветроэлектростанции (с накоплением водорода).

Сверхпроводниковые: Генератор, Кабель; Накопители энергии, Ограничители токов короткого замечания; Трансформатор

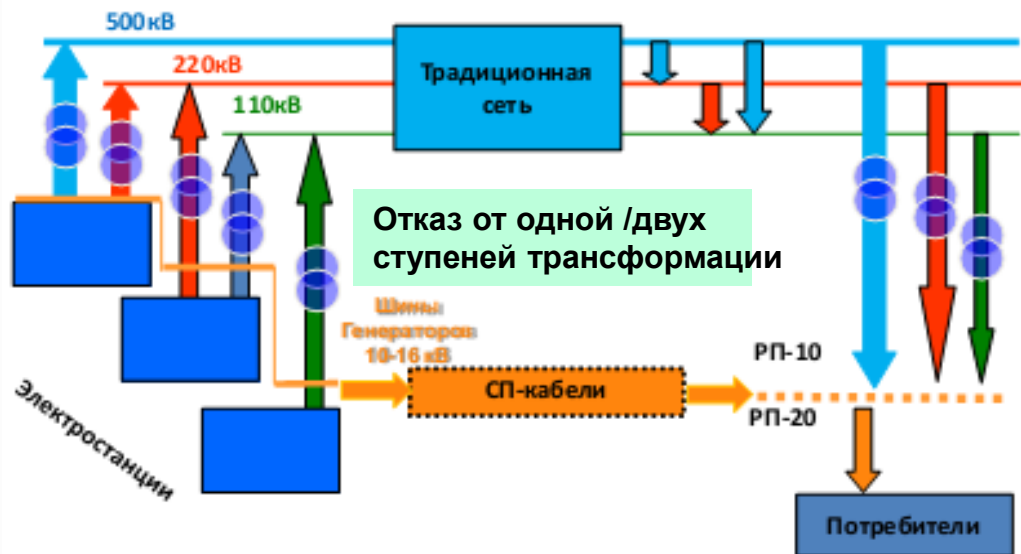


Стоимость строительства Линий передач и подстанций на напряжения 35 кВ и 110 кВ различаются в 2-3 раза

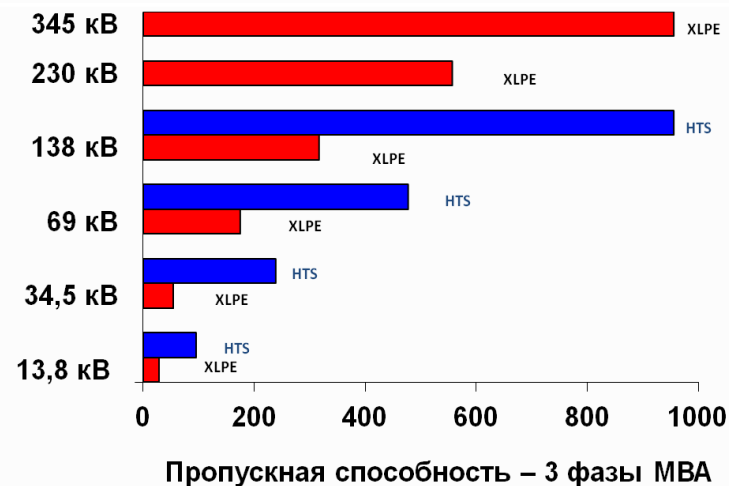
Преимущества ВТСП кабельных линий

Схема передачи электроэнергии с помощью сверхпроводящих силовых кабелей открывает новые возможности для передачи электроэнергии вплоть до изменения архитектуры сети

Иллюстрация преимуществ применения ВТСП в сети электроснабжения

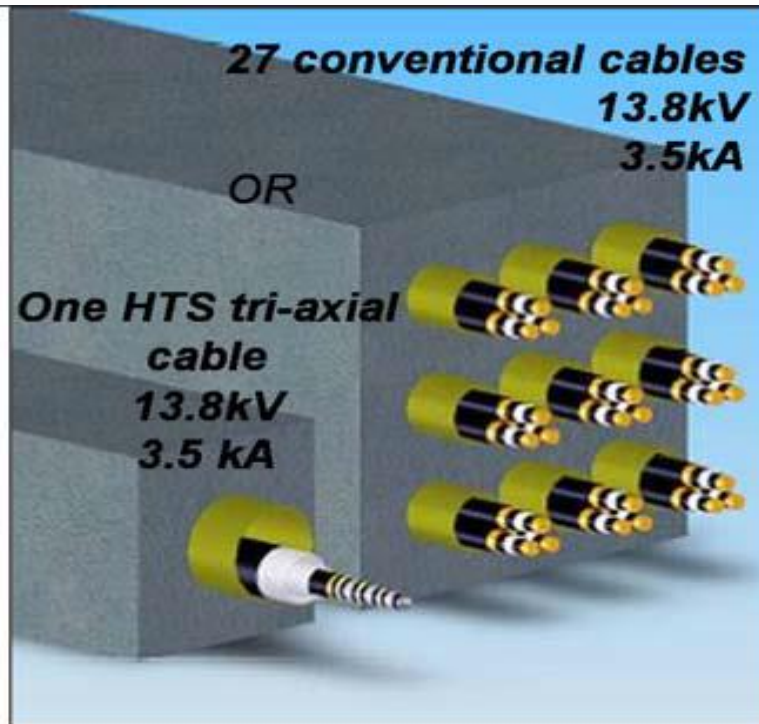


Сравнение передаваемой мощности традиционными и ВТСП кабелями



- Увеличение мощности в тех же габаритах (до нескольких ГВА)
- Снижение потерь
- Работа на генераторных напряжениях, исключение промежуточных подстанций
- Экологическая чистота и пожаробезопасность

Кабельные линии на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП КЛ)

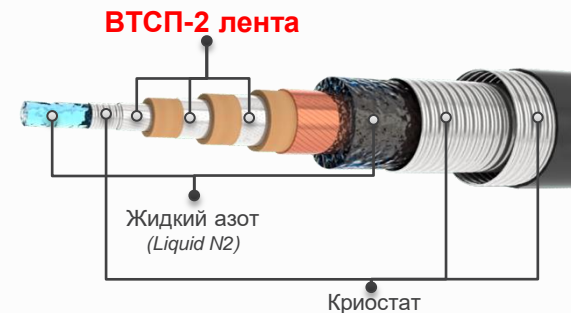


Общий накопленный опыт эксплуатации ВТСП кабелей в мире уже превысил 20 лет непрерывной работы. ВТСП кабельные линии включены в реальные энергосистемы:

- сети распределительные 10 – 66 кВ,
- сети магистральные 66 – 275 кВ.

Широкое внедрение ВТСП кабельных линий ожидается в 2025-2030 годах. Ожидаемая длина кабельных линий составит более 5 км,

Кабель 13,8 кВ; 3,5 кА (50 МВт)
В традиционном и сверхпроводниковом исполнениях



Разработка технологии и изготовление ВТСП кабеля

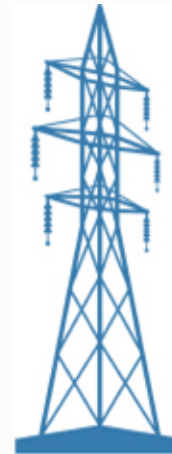
Процент потерь энергии при передаче 50 -100 МВт/МВА на расстояние 10 км составляет для ВТСП линии переменного тока 1 – 3%, а для ВТСП линии постоянного тока 2,5-3,0%, что в 2-3 раза меньше, чем для традиционных кабельных линий.

При сегодняшнем уровне характеристик материалов возможна передача энергии 150 – 300 МВт на напряжении 20 кВ и до 1000 МВт при 110 кВ.



Охранная зона трассы кабеля

ЛЭП



100 м

ВТСП-2



1 - 4 м

Перспективы развития проекта «Сверхпроводниковая индустрия»

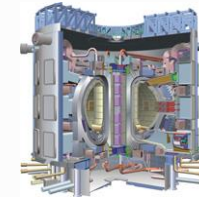
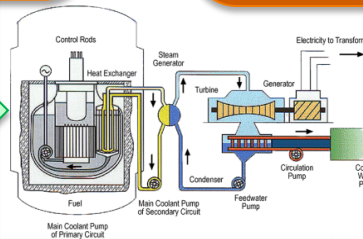
Проект «Сверхпроводниковая индустрия»
2010-2015гг
(ВТСП и прототипы устройств на их основе)

Проект «Сверхпроводниковая индустрия»
2017-2025гг
(ВТСП системы различного назначения)

Производство ВТСП-2 лент

Разработка прототипов устройств энергетического назначения

- Ограничитель токов короткого замыкания -3,5кВ-35кВ;
- Двигатель-200кВ;
- Генератор-1МВт;
- Кинетический накопитель энергии-5МДж;
- Индуктивный накопитель энергии-1-30МДж;
- Трансформатор-1МВА;
- Токовводы -15 кА;



СП системы в объектах генерирования и передачи электроэнергии (АЭС, ТЯС, ветровые) – генераторы, трансформаторы, магнитные системы, СОТ, СПИН, СКНЭ, кабели.

Транспорт



Автомобильный, железнодорожный, морской

Медицина



Томографы, циклотроны, синхротроны

- ✓ К 2015 году в рамках Президентского Проекта «Сверхпроводниковая индустрия» созданы основы отечественного производства высокотемпературных сверхпроводников и ряд прототипных сверхпроводниковых энергетических устройств на их основе, что позволило ликвидировать возникшее отставание в области ВТСП технологий, заложены основы для формирования рынка новой энергоэффективной энергетики.
- ✓ Сформирована инфраструктура технической сверхпроводимости, объединяющая научные центры, ВУЗы, промышленные предприятия.
- ✓ Для формирования в ТЭК России рынка инновационной сверхпроводниковой продукции требуется системная государственная поддержка, путем участия в финансировании работ по созданию первых кластеров сверхпроводниковой индустрии (кабель, СОТ, Трансформатор, Генератор, Накопители энергии, Двигатель), созданию сертификационных центров и достаточного пакета нормативно-правовой документации для введения СП кластеров в реальные энергосистемы.

- Какой путь более перспективен для России – локализация и импорт технологий или развитие собственных разработок и производство технологий, в том числе на экспорт? **Импорт технологий с развитием на этой основе собственных разработок конкурентоспособных технологий**
- На развитие каких технологий в области ВИЭ может сделать ставку Россия, а в каких сферах стоит использовать зарубежные технологические решения? **Ветряная энергетика высокой мощности и системы накопления энергии с применением сверхпроводниковых технологий**
- Как привлечь финансирование в научные разработки в сфере ВИЭ? **Сочетание государственного и частного финансирования**
- Какие есть заделы, и в какой степени освоения? **Соответствие мировому уровню в области сверхпроводниковых технологий. Переход от прототипов к коммерциализации**