



ROSATOM



Русский Сверхпроводник

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

АВТОНОМНАЯ СЕРХПРОВОДНИКОВАЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Авдиенко А.А. Гаркавенко А.Н. Кащеев А.В. Комарков Д.А. Колосков С.А.
Панцырный В.И.

АО «Русский сверхпроводник», Москва, Россия



РОСАТОМ

Энергетический потенциал ВИЭ



Суммарная мощность ветроэнергетических установок в мире достигла в 2014 году 336 ГВт. По оценкам WWEA за первое полугодие 2014 введено в эксплуатацию 17, 613 ГВт. По прогнозу WWEA к 2020 году доля ветроэнергетики в мировом производстве электроэнергии достигнет 10%.

Энергетический потенциал возобновляемых источников энергии в России, млн. т.у.т.



1 - Приведена оценка пригодных для использования ресурсов геотермальной энергии.



РОСАТОМ

Ветроэнергетика



Ветровой режим на территории России

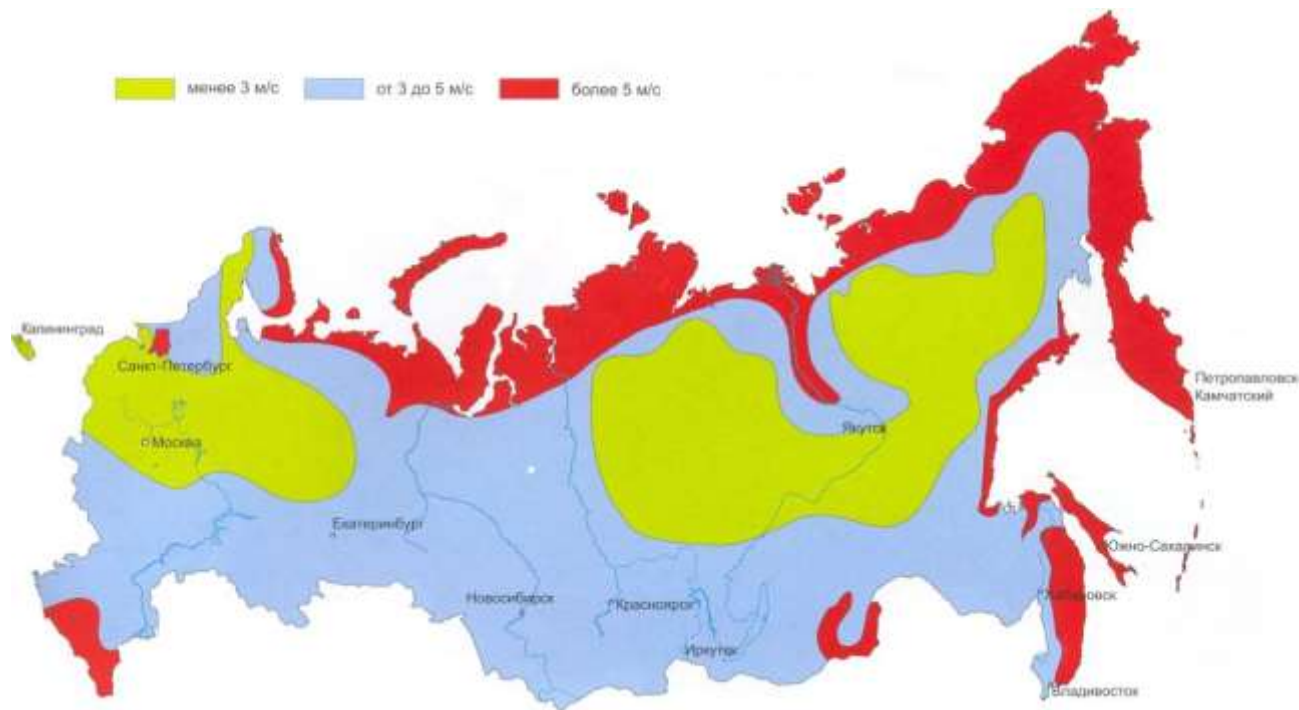
(представлен по материалам 1100 метеостанций за 30-летний период наблюдений)

Береговая линия

Российского

Арктического побережья составляет более чем 25 тыс.км при средней годовой скорости ветра более 5 м/сек.

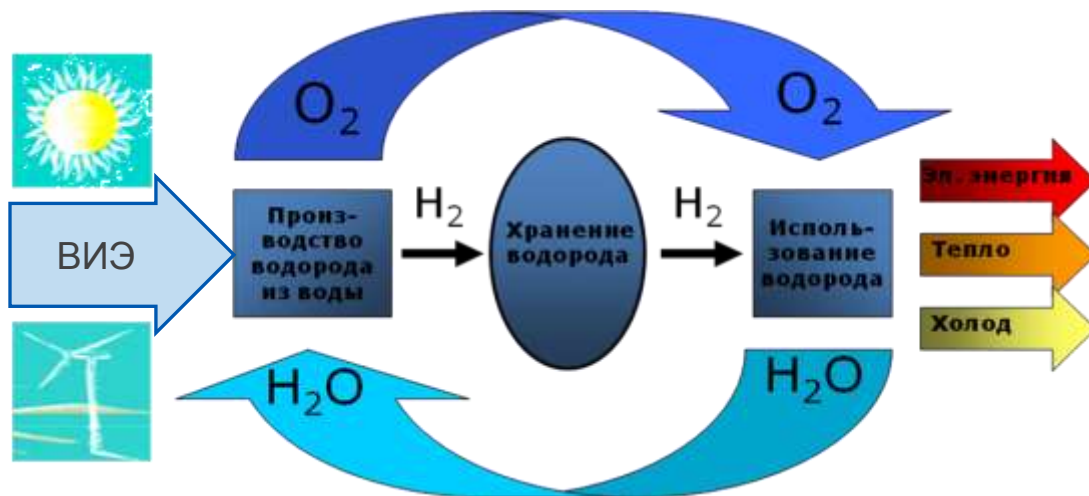
Потребность в децентрализованном энергоснабжении будет расти в связи с интенсивным освоением обширных территорий севера и Арктики.



Энергетический проект, сформированный в рамках ВЭФ-2015, — строительство в Якутии ветропарка мощностью один мегаватт. Меморандум о взаимопонимании был подписан генеральным директором «РАО ЭС Востока» Сергеем Толстогузовым, исполнительным директором японского концерна Komaihaltec Эми Комаи и президентом Якутии Егором Борисовым. Ветропарк планируется построить в поселке Тикси Республики Саха (Якутия). Стоимость проекта — около 600 миллионов рублей.

Энергогенерация с ВИЭ и водородным циклом

В случае автономной ВЭС часть полученной электроэнергии, необходимо запастись в накопителях энергии или вырабатывать запасаемые виды топлива.

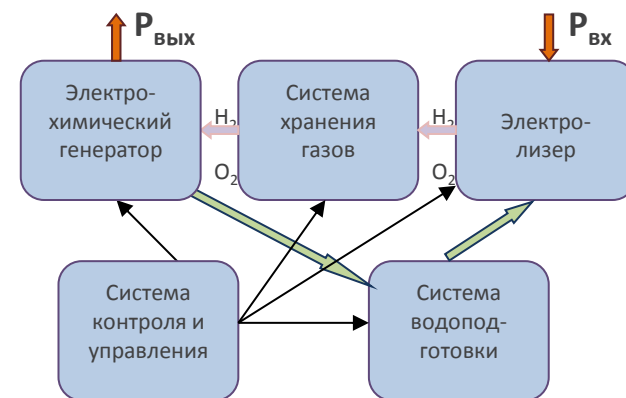


Абсолютный баланс экосферы Земли

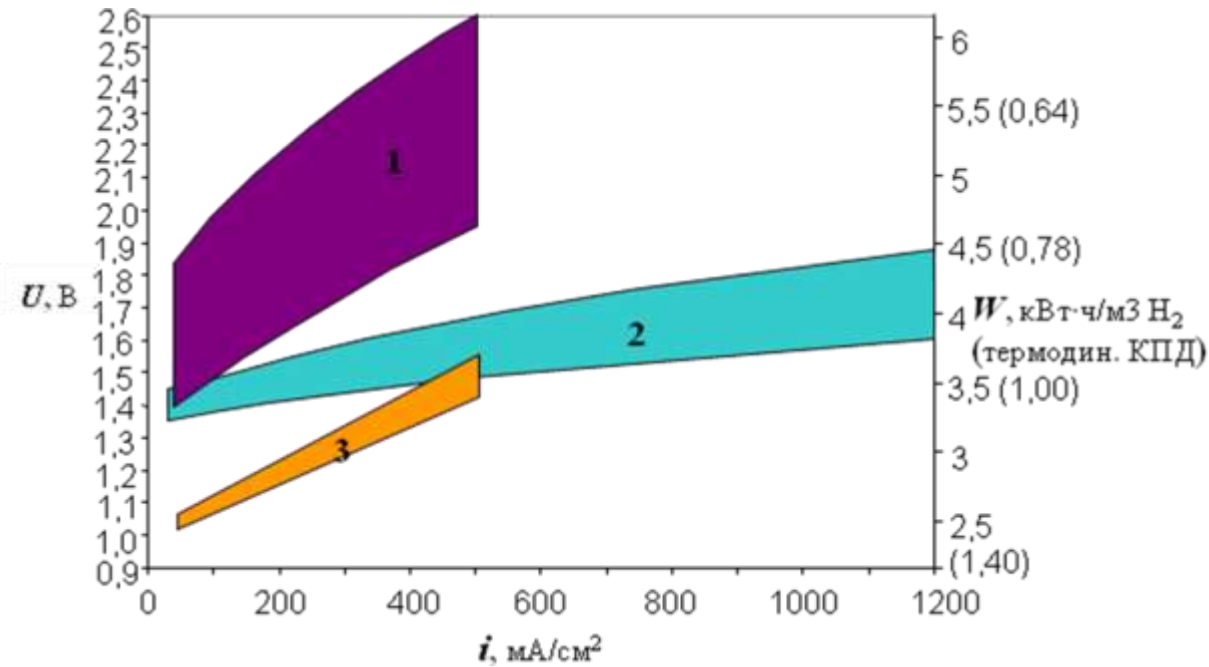
Водород из воды + кислород из воздуха = (окисление) = **электроэнергия + тепло + вода**
Теплотворная способность (кВт*час/кг)

- Биодизель – **11**
- Соляр – **11,86**
- Бензин – **12,2**
- Водород – 40,14**

Ёмкость накопителя энергии или объём нарабатываемого топлива рассчитывается исходя из установленной мощности и максимальной длительности штатного периода для места установки ветроэлектростанции. Накопители должны допускать большое количество глубоких циклов заряда-разряда – свыше 3 тысяч.



Получение водорода



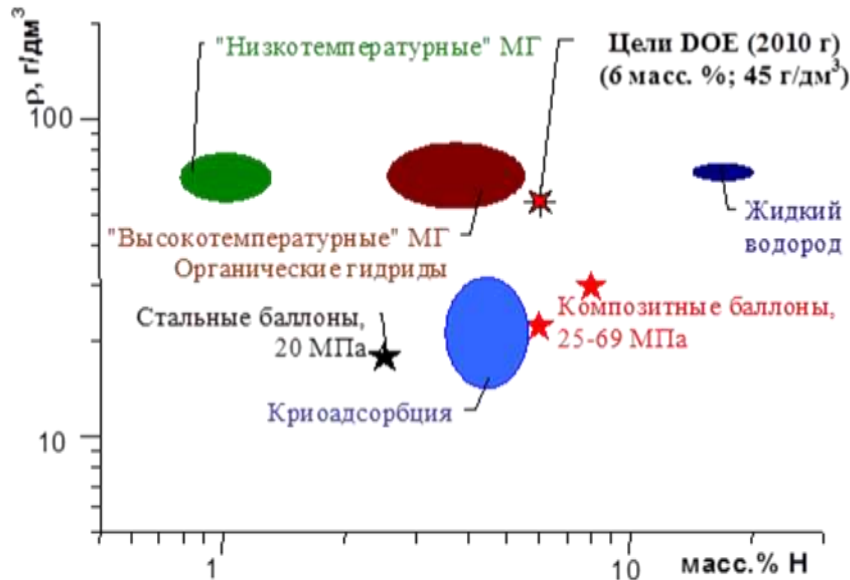
Получение 1 кг водорода путём электролиза 9 кг воды требует 35 кВт·час электроэнергии.

Зависимость напряжения на ячейке (U), удельных энергозатрат (W) и термодинамического КПД от плотности тока для электролизеров различных типов:

- 1 – промышленные щелочные электролизеры (70–95°C);
- 2 – электролизеры с ТПЭ (90–110°C; 0–3,0 МПа);
- 3 – высокотемпературные твердо-оксидные электролизеры (900°C) с дополнительным подводом тепловой энергии

Хранение водорода

1. Водород при низком давлении	0,39 кВтч/кг,	1020 л/кг
2. Водород при высоком давлении	0,93 кВтч/кг,	91л/кг
3. Водород в гидридах металлов	1,16 кВтч/кг,	22 л/кг, 76,9 кг/кг
4. Жидкий водород	10, кВтч/кг,	14 л/кг
5. Криогенная адсорбция	3,2 кВтч/кг	59 л/кг, 20 кг/кг



Весовая и объемная емкости по водороду различных методов его хранения

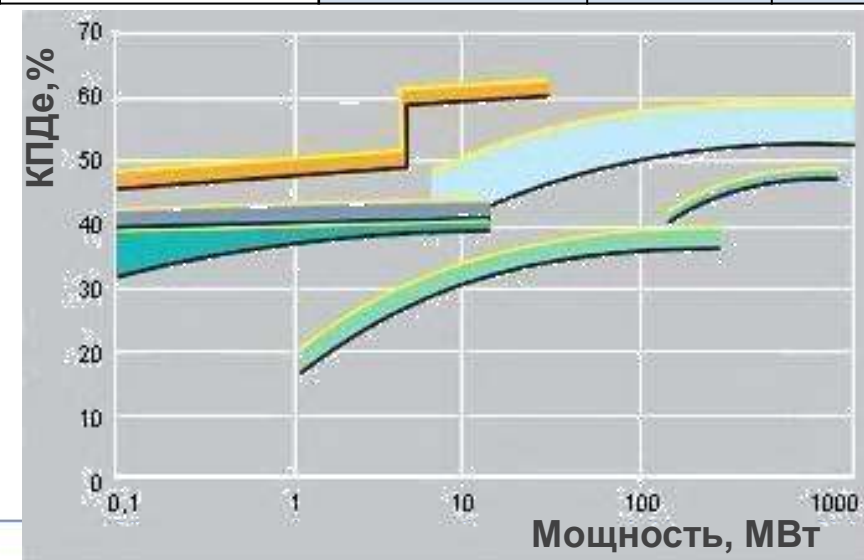
Для хранения и перевозки небольших количеств сжатого водорода используют **стальные баллоны** с давлением до 15–20 МПа. Весовая плотность хранения не превышает 1.2–1.5 масс. %, а объемная 10–12 кг H₂/м³. **Композитные баллоны** позволяют хранить водород под давлением 35–69 МПа, Весовая плотность - свыше 6 масс. % H₂, а объемная – до 30 кг H₂/м³.



Водородная энергетика



РОСАТОМ компоненты параметры	ТПТЭ твёрдополимерный	ЩТЭ щелочной	ФКТЭ фосфорнокислый	РКТЭ расплавкарбонатный	TOTЭ твёрдоокисдный	TOTЭ + турбина
H ₂	топливо	топливо	топливо	топливо	топливо	
CO	яд, 50 ppm	яд	Яд (<0,5%)	топливо	топливо	
CH ₄	разбавитель	яд	разбавитель	разбавитель	топливо	
CO ₂ &H ₂ O	разбавитель	яд	разбавитель	разбавитель	разбавитель	
S (H ₂ S&COS)	Не изучено	яд	Яд, <50ppm	Яд, <0,5ppm	Яд, <1,0ppm	
КПДе(%, нте)			48,4	58	66,6	80,1
Тепло, Дж/кВтчас			7438,45	6225,1	6035,2	4494,7



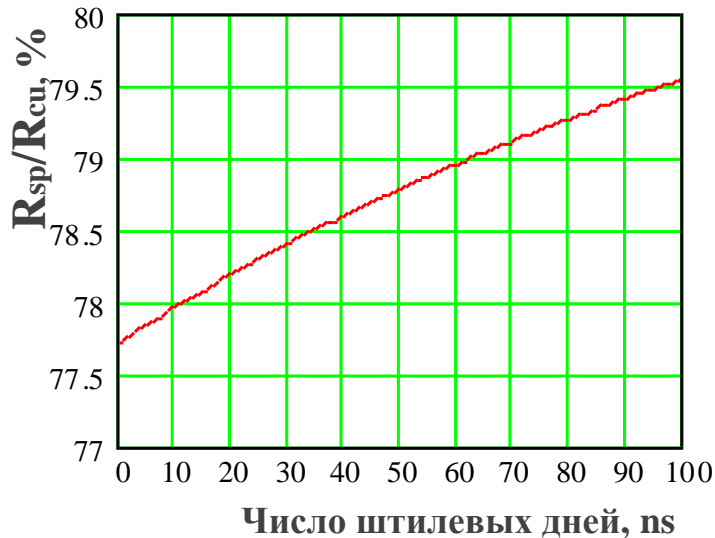
- РКТЭ, TOTЭ + турбина
- Газовые турбины
- ФКТЭ
- ДВС дизель и газ
- Паровые турбины
- Промышленные турбины
- современные
- проектируемы



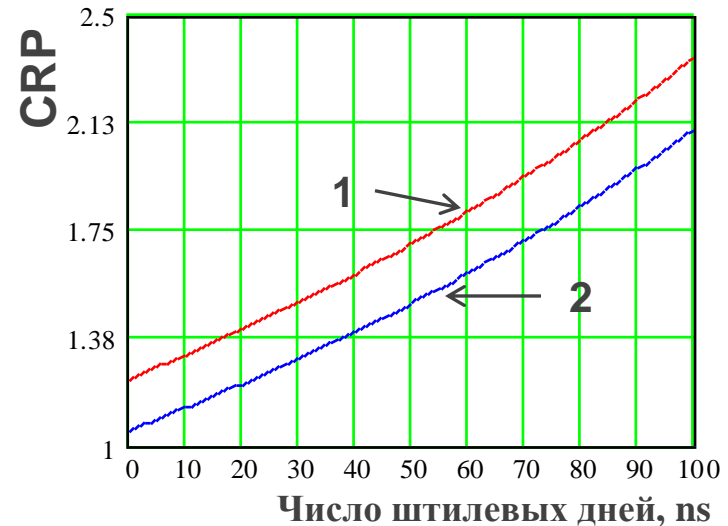
$$R(T, ns) := \frac{\left(365 + \frac{N_{nw}(V_s, V_z, ns)}{k_p} \right) \cdot PSE}{\sqrt{\left[\int_{V_s}^{V_z} F_w(v) \cdot (365 - N_{nw}(V_s, V_z, ns)) \cdot v^3 dv \right] \cdot (1 - pl) \cdot \left(C_p \cdot \rho(T) \cdot \frac{\pi}{2} \right)}}$$

$$CRP(T, ns) := \left(C_p \cdot \rho(T) \cdot \frac{\pi}{2} \right) \cdot \left(\int_{V_{ss}}^{V_z} F_w(v) \cdot v^3 dv \right) \cdot (1 - pl) \cdot \frac{R(T, ns)^2}{PSE}$$

Радиус ветроколеса R и коэффициент покрытия (CRP) для обеспечения установленной мощности PSE ВЭС с накоплением водорода при плотности распределения скорости ветра Вейбула Fw(V) определяется скоростью ветра трогания Vs и вывода Vz, коэффициентом преобразования электроэнергия – водород – электроэнергия kp, потерями в электросистеме pl и зависит от числа безветренных (штилевых) дней в году ns для места установки ВЭС



Отношение радиуса ветроколеса прямоприводной Rsp с П ветротурбины с СП электросистемой к Rcu редукторной «медной»



Коэффициент покрытия (CRP) установленной мощности для автономной ВЭС с «медной» -1 и ВТСП-2 – 2 электросистемами



Стоимость ветроэлектростанций



Структура стоимости сухопутной ВЭС на материке северной части Европы



Структура стоимости ВЭС морского базирования

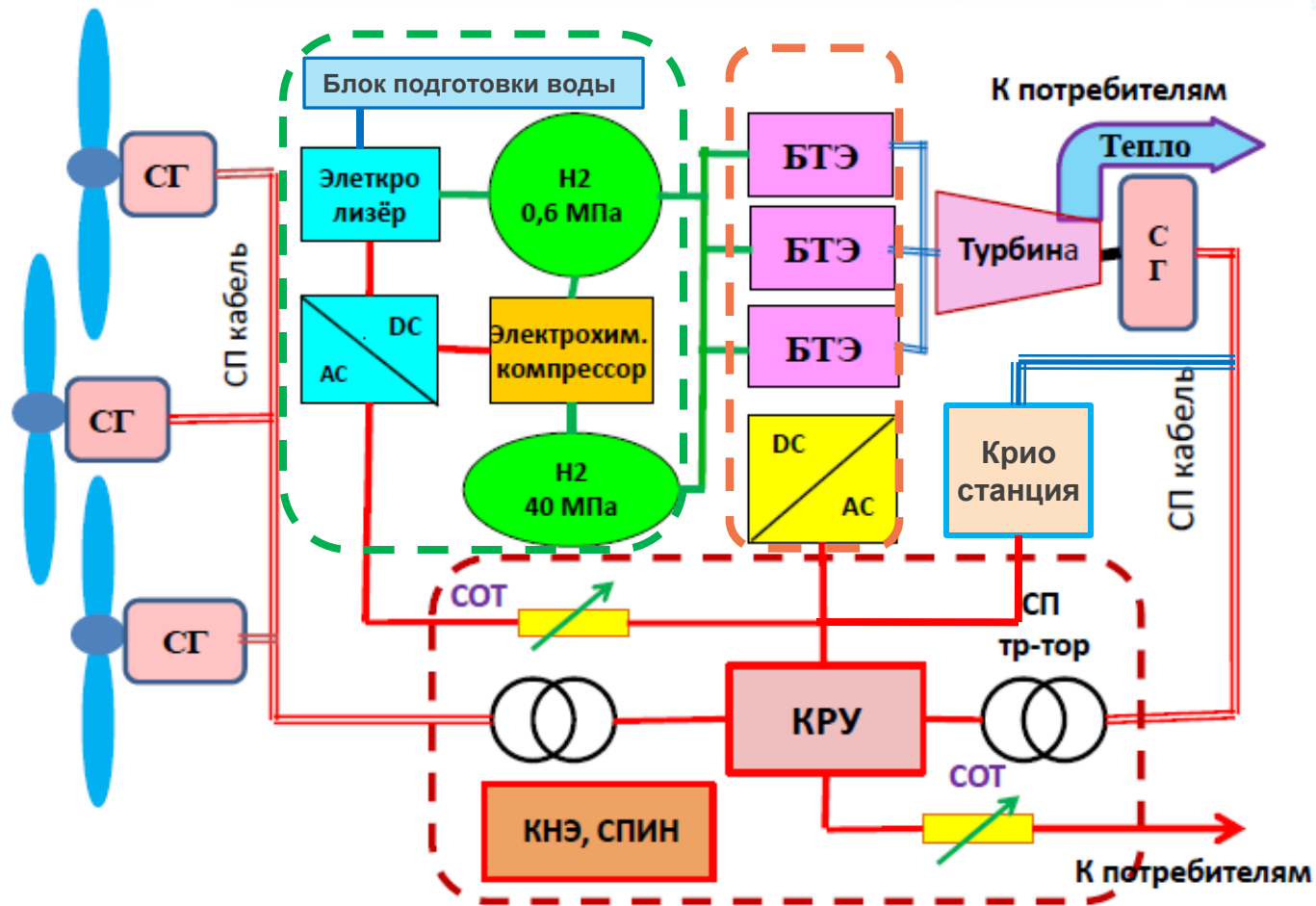
Стоимость автономной ветроэлектростанции (ВЭС) в крайне тяжелых условиях Арктики и Заполярья будет приближаться к стоимости таковой морского базирования. Требуется снижение веса и габаритов ключевой части ВЭС – электрогенератора-ветротурбины.

Этого можно добиться применением сверхпроводникового оборудования



РОСАТОМ

Автономная сверхпроводниковая ВЭС



СТ – сверхпроводниковые генераторы

БТЭ – батареи топливных элементов

СОТ – ограничители токов короткого замыкания

КРУ - контрольно-распределительное устройство

КНЭ – кинетический накопитель энергии

СПИН – индуктивный накопитель энергии



Основные Задачи проекта “Сверхпроводниковая Индустрия”

Разработка генератора мощностью 1 МВт для ВЭС



Спецификация:

- Номинальная мощность: 1000 кВА
- Напряжение: 1195/690 В
- Номинальная частота: 50 Гц
- Число фаз: 3
- Ток по фазе: 500 А
- Крутящий момент: 16 кН*м
- Показатель мощности ($\cos \varphi$): 0,99
- Размеры (без мультипликатора и криогеники): 2280 мм x \varnothing 1112 мм

Ключевые преимущества:

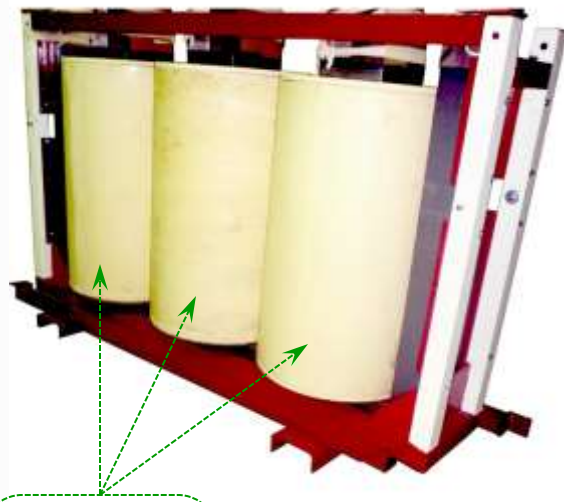
- Уменьшенные размеры и масса в 2-3 раза;
- Увеличенная удельная мощность в 2-3 раза;
- Увеличенный срок службы;
- Пожарная безопасность.



РОСАТОМ

Основные Задачи проекта “Сверхпроводниковая Индустрия”

Разработка трехфазного трансформатора 1 МВА



ВТСП обмотка фазы

Спецификация:

- Мощность: 1000 кВА
- Частота тока: 50 Гц
- Число фаз: 3
- Высокое напряжение: 10 кВ
- Низкое напряжение: 0,4 кВ
- Ток в обмотке высокого напряжения: 33,3 А
- Ток в обмотке низкого напряжения: 1443 А
- Сердечник магнитопровод: аморфная сталь
- Размеры: 2800 мм x 2380 мм x 1300 мм

Ключевые преимущества:

- Уменьшенные энергопотери:
 - In frames (*load losses*) – up to 30 fold
 - In flux guide (*standby losses*) – up to 5 fold
- Увеличенная перегрузочная способность;
- Повышенный срок жизни;
- Пожаробезопасность



РОСАТОМ

Сверхпроводниковый ограничитель токов короткого замыкания (СОТ)



Русский Сверхпроводник

Федеральный научный центр

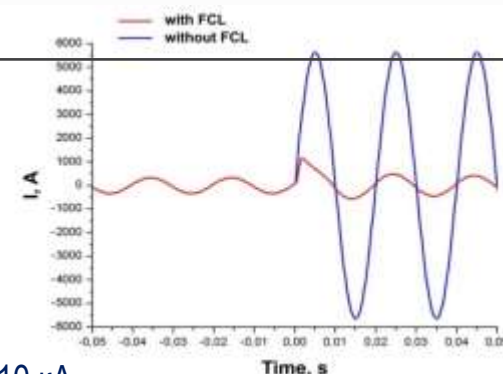
Основные Задачи проекта “Сверхпроводниковая Индустрия”

Разработка Ограничителей токов короткого замыкания (СОТ) для энергетических сетей напряжением 3,5/10/35 кВ



Спецификация:

- Номинальное напряжение: 3,5 кВ
- Номинальный ток: 2 кА
- Пороговый ток короткого замыкания: 10 кА
- Время срабатывания: < 8 мсек.
- Период восстановления работоспособности: < 1 сек
- Размеры (без криогенного блока): Ø 800 мм x 2100 мм



Ключевые преимущества:

- Время срабатывания в 2-3 раза короче
- Потери в режиме нормальной работы в 20 раз меньше
- Срок службы в 1,5 раза больше
- Снижение механических ударных напряжений при событиях короткого замыкания
- Снижение требований к изоляционным материалам и токовым перегрузкам защищаемого оборудования



Кинетический накопитель энергии со сверхпроводниковыми подшипниками



РОСАТОМ

Основные Задачи проекта “Сверхпроводниковая Индустрия”

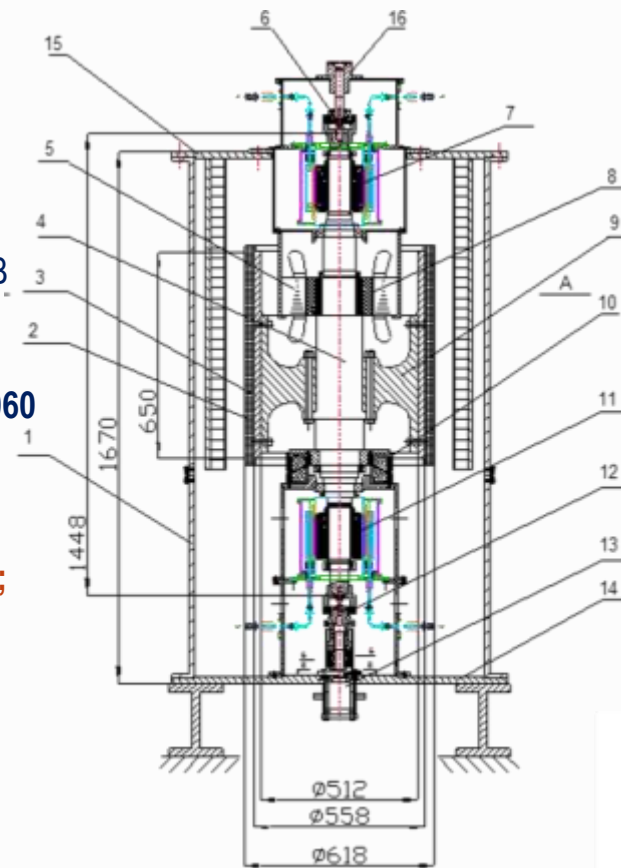
Разработка Кинетического накопителя энергии со сверхпроводящими подшипниками (5-20 МДж)

Спецификация

- Энергетическая ёмкость 5 МДж
- Выходная мощность до 100 кВт
- Время заряда до 300 с
- Время разряда 50 с
- Диапазон выходных напряжений 350–150 В
- Частота выходного напряжений: 50 Гц
- Габариты (без криосистемы):
Ø 1100 мм x 2060

Ключевые преимущества:

- Высокая удельная энергия и мощность;
- Высокая скорость вращения;
- Длительный срок службы ;
- Экологичность .





РОСАТОМ

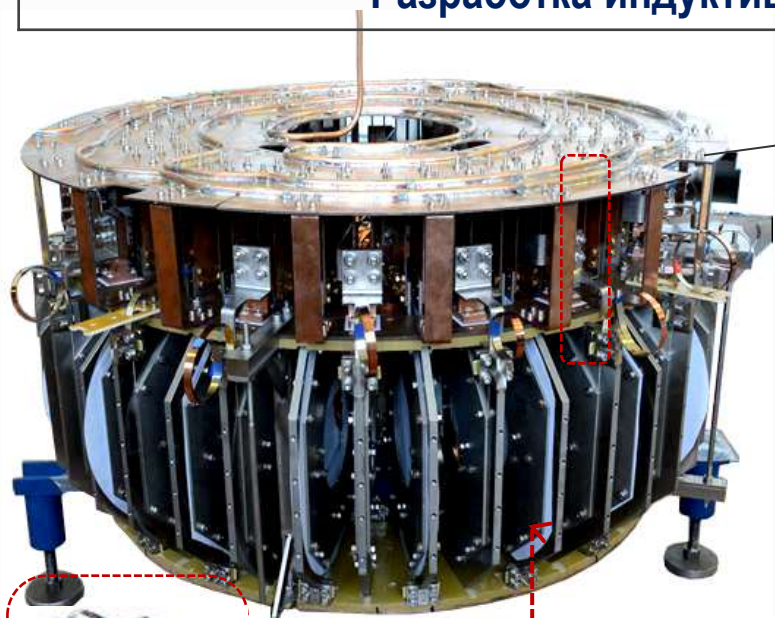


Русский Сверхпроводник
Центральный научно-исследовательский институт

Сверхпроводниковый индуктивный накопитель энергии

Основные Задачи проекта “Сверхпроводниковая Индустрия”

Разработка индуктивного накопителя энергии (1-30 МДж)



Магнитная система накопителя



Модуль магнитной системы

Спецификация:

- Энергоемкость: 1 – 30 МДж
- Максимальная мощность: 1000 кВА
- Максимальная скорость вывода энергии: < 10 мсек
- Габариты магнитной системы \varnothing 1300 мм x 500 мм

Ключевые преимущества:

- Высокая эффективность трансформации и хранения энергии;
- Высокая скорость вывода энергии;
- Длительный срок службы;
- Экологичность



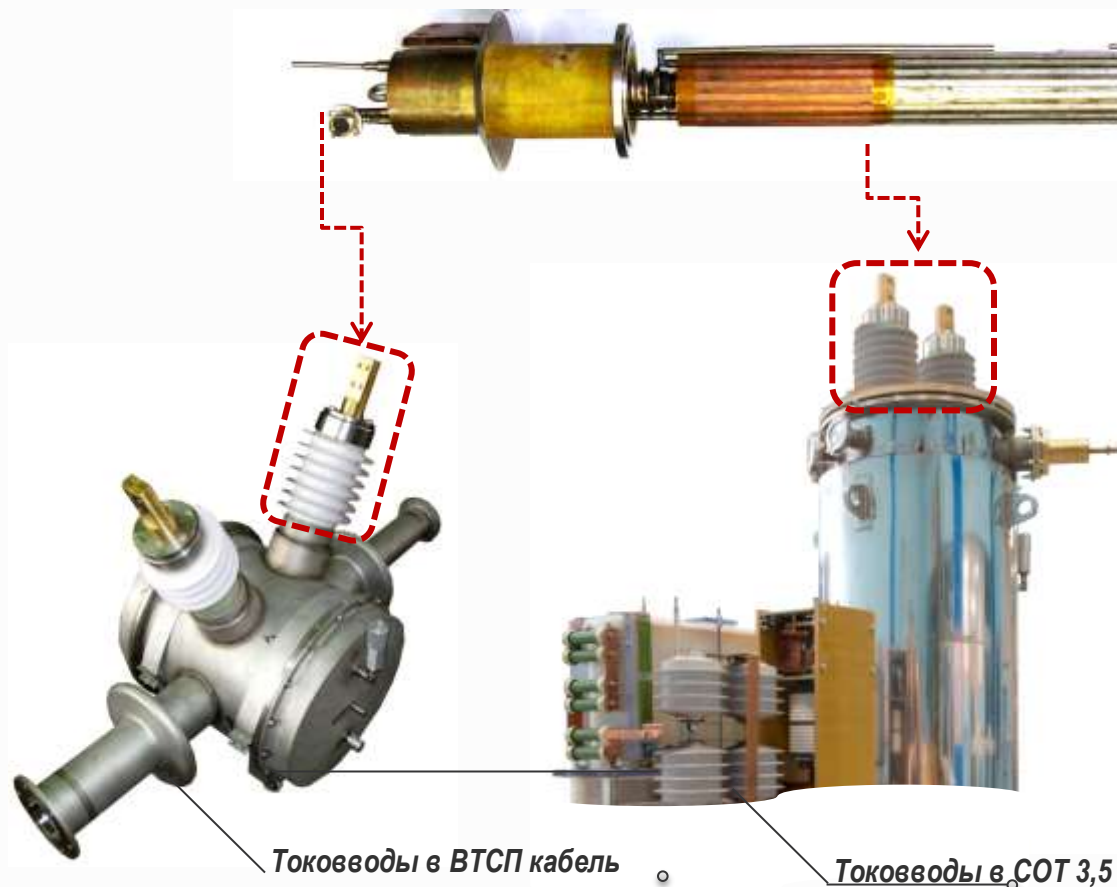
РОСАТОМ



Русский Сверхпроводник
Федеральный научный центр

Основные Задачи проекта “Сверхпроводниковая Индустрия”

Разработка токовводов и токонесущих элементов для крупномасштабных сверхпроводниковых энергетических и физических установок



Токовводы в ВТСП кабель

Токовводы в СОТ 3,5 кВ/ 2 кА

Разработанные токовводы и токонесущие элементы позволяют уменьшить в 2-3 раза потери электроэнергии при ее передаче



- Развитие энергетики на возобновляемых источниках энергии является перспективным для труднодоступных и малонаселенных районов Российской Федерации как основа распределенной электроэнергетики.
- Создание компактных ветроэнергетических станций с применением сверхпроводниковых технологий наиболее перспективно для освоения обширных территорий севера и Арктики.
- В рамках программы «Энергоэффективность» были созданы основы отечественного производства высокотемпературных сверхпроводников и кабелей и сверхпроводниковых устройств на их основе (генератора, токоограничителя, трансформатора, кинетического и индуктивного накопителей энергии) которые могут лечь в основу создания перспективных высокотехнологичных ветровых электростанций.



РОСАТОМ



Русский Сверхпроводник

Российская ассоциация сверхпроводников

СПАСИБО за ВНИМАНИЕ