



РОСАТОМ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Ученый Совет ФГУП ВЭИ

Состояние и перспективы применения передач постоянного тока

Докладчик: Травин Л.В.

ФГУП ВЭИ, секретарь ПК 22F МЭК

*«Силовая электроника для
электрических передающих и
распределительных систем»*

17 декабря 2015 года

- Сокращение затрат при передаче постоянного тока с применением воздушных ЛЭП длиной более 600-800 км по сравнению с передачей переменного тока при аналогичных условиях;
- Сокращение затрат при применении кабельных линий постоянного тока при длине более 30-50 км по сравнению с применением кабельных линий переменного тока;
- Возможность применения новых технологических решений;

Пример: Вставка постоянного тока позволяет соединить две системы переменного тока, работающие асинхронно или имеющие разные частоты (системы 50 и 60 Гц в Японии)

- Решение проблемы предельных показателей мощности и длины линии при применении ППТВН за счет исключения проблематики ограничения по статической и динамической устойчивости для ЛЭП переменного тока

- Упрощенное управление мощностью, которая передается по ППТВН;
- Более высокая надежность ППТВН в части передачи мощности при повреждениях линий;

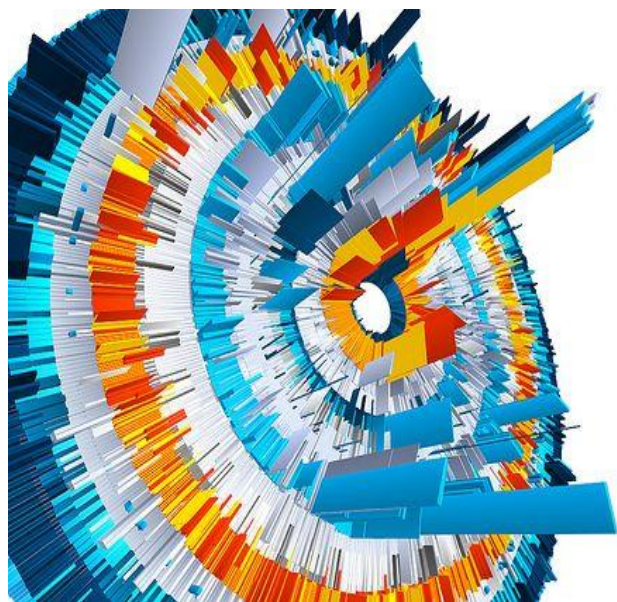
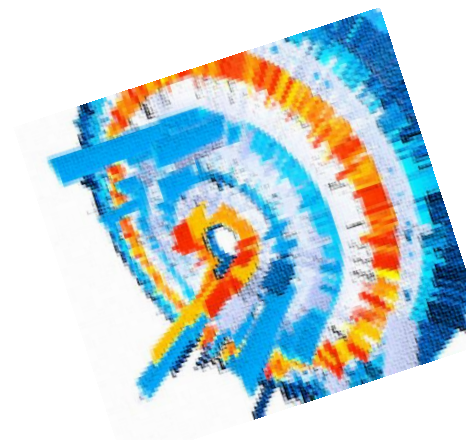
Пример: При повреждении провода одного из полюсов ППТВН по проводу оставшегося полюса можно передавать 50%-ную мощность

- Эффективность при объединении энергосистем:
 - объединение энергосистем не приводит к повышению уровней токов короткого замыкания в них;
 - повышение статической и динамической устойчивости объединяемых энергосистем; отсутствие системных аварий;
- Высокое качество и экономия электроэнергии на всех уровнях напряжения;
- Улучшение коэффициента мощности;
- Повышение производительности оборудования с асинхронным электроприводом.

- Мировой рынок (кроме Японии) поделен между тремя транснациональными корпорациями — ABB (Швеция), Siemens (Германия) и Alstom (Великобритания);
- В Японии также действуют компании Toshiba, Hitachi, Mitsubishi;
- Годовой оборот мирового рынка оборудования силовой электроники для электрических систем, большую часть которого составляют ЛЭП постоянного тока, в среднем составляет 10-15 миллиардов долларов США с ростом примерно 8-12% в год;
- Суммарная мощность существующих линий электропередач и вставок постоянного тока (более 120) превосходит 120 ГВт, а к 2020 году планируется ввод в эксплуатацию новых ЛЭП и вставки постоянного тока суммарной мощностью не менее 300 ГВт.

Пример: в Китае к концу 2020 года планируется построить примерно 44 ППТВН общей мощностью более 200 ГВт.

- Создание дальних магистральных электропередач постоянного тока с параметрами:
 - напряжение $\pm 500 \dots \pm 1100$ кВ;
 - мощность до 10-12 ГВт;
 - длина более 3000 км;
 - с тиристорными преобразователями тока



- Внедрение электропередач и вставок постоянного тока с модульными многоуровневыми преобразователями напряжения мощностью до 1000 МВт
- Создание сетей постоянного тока на основе преобразователей напряжения
- Другие виды электрооборудования силовой электроники для электрических систем и промышленности

Дальние магистральные ППТВН ± 600 .. ± 1100 кВ мощностью до 10-12 ГВт и длиной до 3000 км

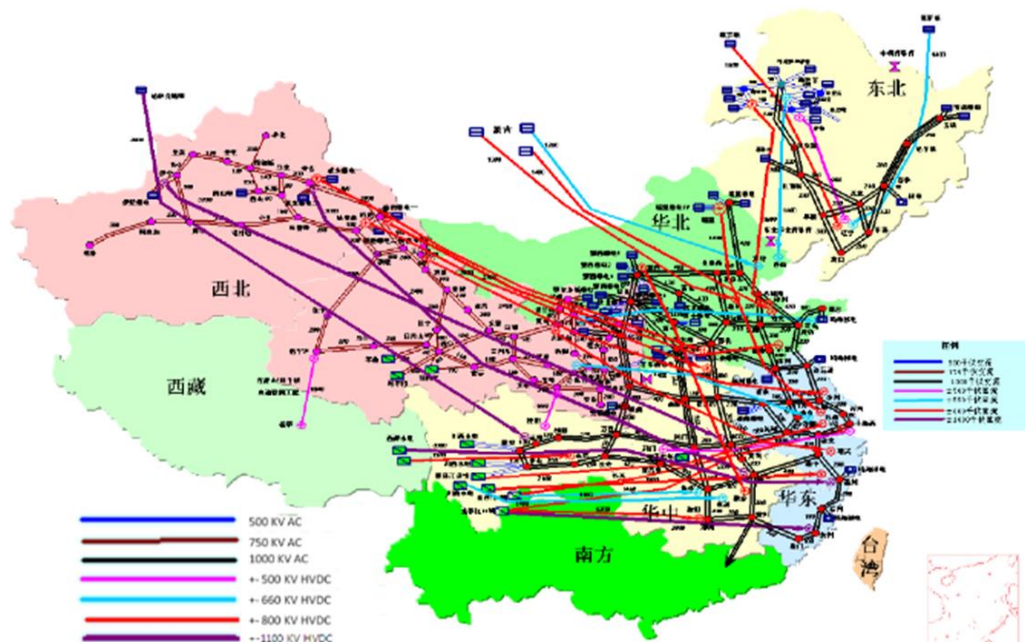
Находятся в эксплуатации:

1 ЛЭП постоянного тока:

- ✓ напряжение ± 600 кВ
- ✓ мощность 4000 МВт
- ✓ длина 1335 км

5 ЛЭП постоянного тока:

- ✓ напряжение ± 800 кВ
- ✓ мощность от 5000 до 8000 МВт
- ✓ длина от 1907 до 2192 км



Запланировано строительство:

2 ЛЭП постоянного тока:

- напряжение ± 800 кВ
- мощность по 10000 МВт
- длина 1235 и 1620 км

1 ЛЭП постоянного тока:

- напряжение ± 1100 кВ
- мощность 12000 МВт
- длина 3340 км

Китайский опыт дальних магистральных линий электропередач постоянного тока



Высоковольтные тиристорные вентили подвесного типа для ППТВН для ЛЭП 800 кВ

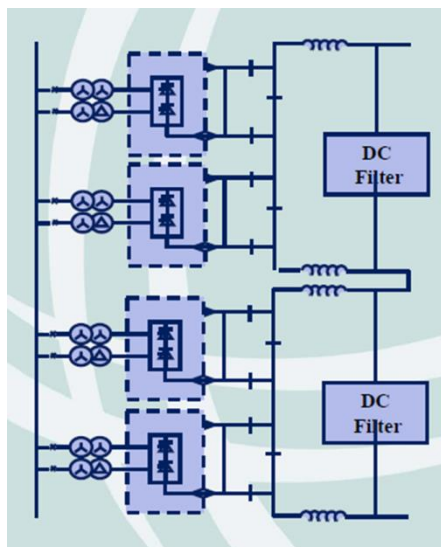


Схема преобразовательной подстанции 800 кВ



Однофазный преобразовательный трансформатор 406 МВА



Сухой сглаживающий реактор 800 кВ



Воздушная ЛЭП ±800 кВ

Индийский опыт дальних магистральных линий электропередач постоянного тока

В Индии в период 1989-2014 гг. построены (Siemens) и введены в эксплуатацию:

5 ППТВН

напряжение ± 500 кВ,
мощность от 1500 до 2500 МВт

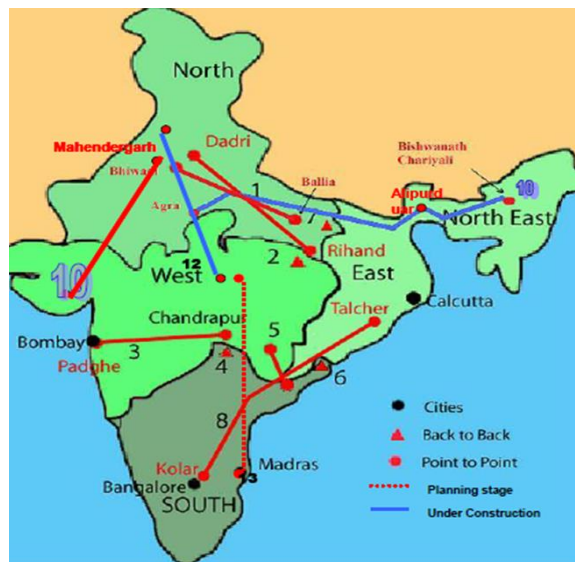
4 вставки постоянного тока

мощностью от 100 до 1000 МВт

Ведется строительство двух ППТВН

напряжение ± 800 кВ,
мощность 6000 МВт

Уникальность одной из них, «Сев.-Вост. Индия – Агра», при протяженности линий 1728 + 1296 км ППТВН имеет три подстанции – 2 выпрямителя по 3000 МВт и 1 инвертор)

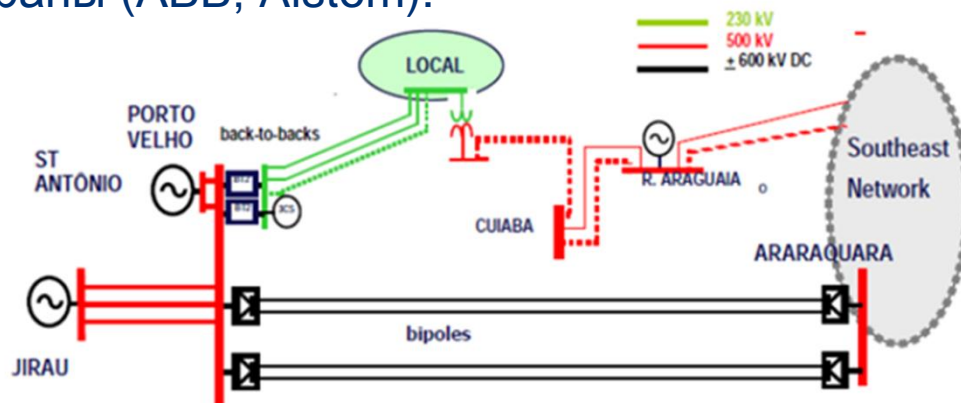
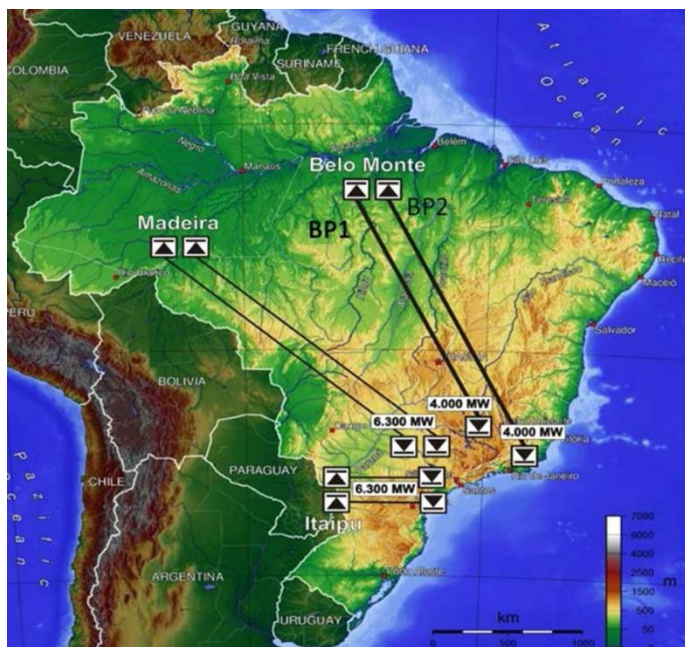


- 1 – Vindhyachal (2 X 250 MW) - 1989
- 2 - Rihand-Dadri (+/- 500 kV, 1500MW)- 1991
- 3 - Chandrapur-Padghe (+/- 500kV, 1500 MW) MSTCL -1997
- 4 - Chandrapur-Ramagundam (2 X 500MW) -1997
- 5 – Barsoor-Lower Sileru (100 kV, 100MW)
- 6 – Gajuwaka (1 X 500 MW + 1 X 500 MW) – 1999/2005
- 7 - Sasaram (1 X 500 MW) - 2002
- 8 - Talcher-Kolar ((+/- 500 kV, 2000MW, upgraded to 2500 MW) - 2003
- 9 - Ballia-Bhiwadi (+/- 500 kV, 2500MW) – 2010/2012
10. Mundra- Mahendergarg (+/- 500 kV, 2500MW) Adani - 2012
- 11- NER-Agra (+/- 800 kV, 6000 MW , Multi-Terminal , under execution)
12. Champa Kurkshetra 800kV 3000 MW under execution planned to upgrade to 6000 MW
13. Raigarh Chennai 800kV 3000MW under planning

Планируется построить еще одну ППТВН на напряжение ± 800 кВ, мощностью 3000 МВт.

Бразильский опыт дальних магистральных линий электропередач постоянного тока

- В Бразилии ведется строительство двух биполей магистральной ЛЭП постоянного тока Рио Мадейра от подстанции Порто Вельо на западе до Араракуаро на юго-востоке страны (ABB, Alstom):
 - напряжение ± 600 кВ
 - мощность по 3150 МВт
 - длина 2375 км



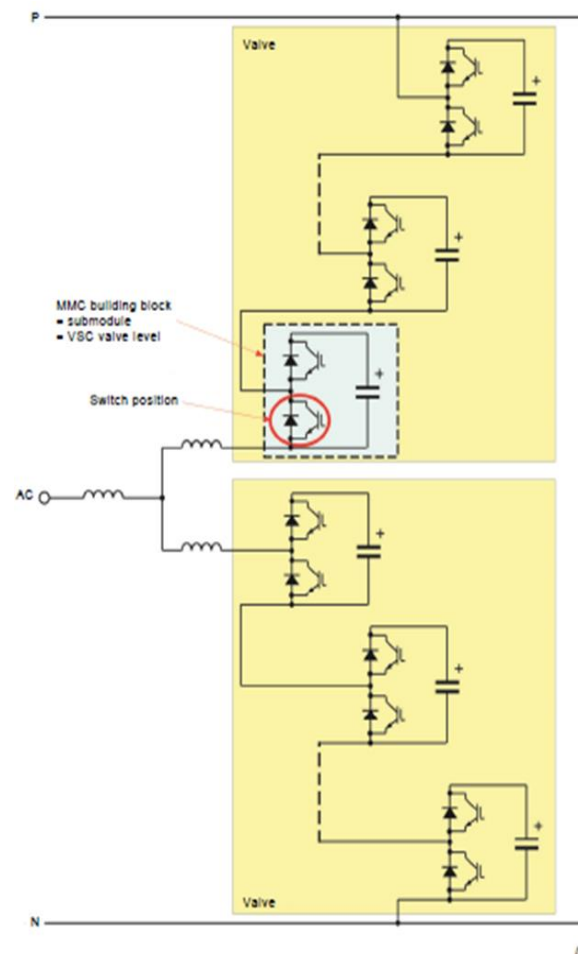
На севере страны (Бело Монте) строится ГЭС мощностью 11000 МВт, планируется построить две биполярные ЛЭП для передачи электроэнергии в центры нагрузки на юго-востоке страны (китайская и две бразильские компании):

- напряжение ± 800 кВ
- мощностью по 4000 МВт
- длиной 2092-2439 км

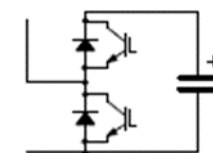
Электропередачи и вставки постоянного тока с преобразователями напряжения

Свойства преобразователей напряжения:

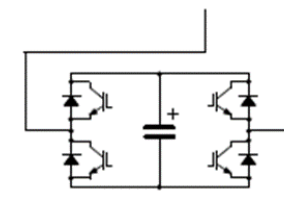
- Преобразователи напряжения на базе полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов (силовых биполярных транзисторов с изолированным затвором, запираемых тиристоров и др.) способны работать во всех четырех квадрантах, т.е. потреблять и генерировать не только активную, но и реактивную мощность.
- Для передач и вставок постоянного тока в настоящее время применяются модульные многоуровневые преобразователи напряжения (ММПН), которые обладают рядом преимуществ, основными из которых являются повышенная надежность и высокий КПД (до 98,9%)



Полумост



Полный мост



- Обеспечение надежного электроснабжение изолированных регионов, островов, оффшорных объектов и других объектов, не имеющих собственных источников электроэнергии.
- Возможность полностью регулировать реактивную мощность на преобразовательных подстанциях
- Способность отключать ток короткого замыкания на стороне постоянного тока без применения специальных выключателей (преобразователи с полномостовыми силовыми модулями)
- Возможность создавать многотерминальные электропередачи постоянного тока
 - !!! Преимущества многотерминальных ППТВН:
 - меньшее количество преобразователей
 - более низкая стоимость
 - возможно поэтапное подключение новых терминалов

Примеры применение ППТВН с преобразователями напряжения в Европе



Данное техническое решение применяется для передачи электроэнергии через водные преграды, например, от комплекса ветроэлектрических установок в открытом море или для снабжения электроэнергией островных территорий

Построены и введены в эксплуатацию:

Англия – Ирландия

- ✓ напряжение ± 200 кВ
- ✓ мощность 500 МВт
- ✓ 2 терминала
- ✓ 186 + 75 км кабель морской и подземный (ABB - HVDC Light)

Германия, DolWin1

- ✓ напряжение ± 320 кВ
- ✓ мощность 800 МВт
- ✓ 2 терминала
- ✓ 75 + 90 км кабель морской и подземный (ABB - HVDC Light)

Норвегия – Дания, Skagerrak 4

- ✓ напряжение 500 кВ
- ✓ мощность 700 МВт,
- ✓ 2 терминала (ABB)

Строятся:

BorWin2

- напряжение ± 300 кВ
- мощность 800 МВт

HelWin1

(Siemens)

- напряжение ± 250 кВ
- мощность 576 МВт
- 2 терминала

Норвегия – Швеция, South West link

(Alstom)

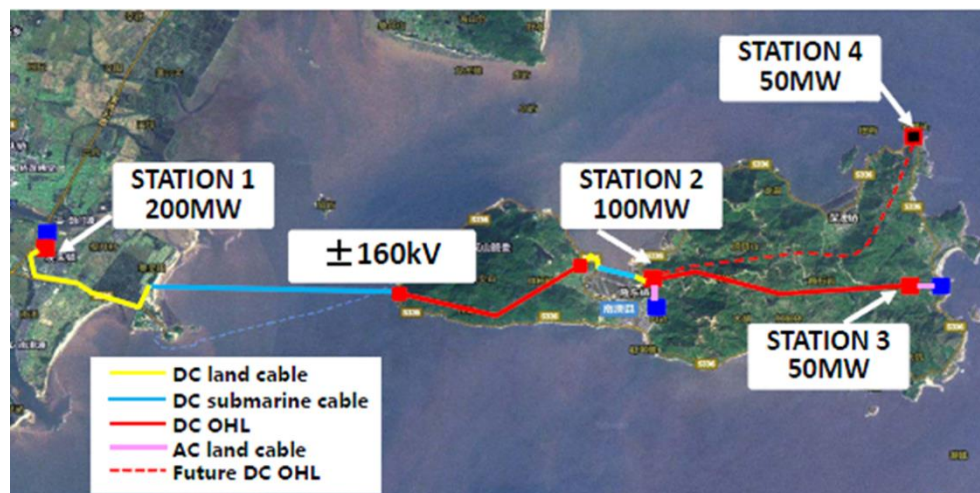
- напряжение ± 300 кВ
- мощность 1400 МВт
- 3 терминала
- воздушно-кабельная ЛЭП (250 км)

Примеры применение ППТВН с преобразователями напряжения в Китае

Nanao

для передачи энергии с ВЭУ

- ✓ напряжение ± 160 кВ
- ✓ мощность 200 МВт
- ✓ 3 терминала



Zhoushan

для энергоснабжения островных территорий

- ✓ напряжение ± 200 кВ
- ✓ мощность 400 МВт
- ✓ 5 терминалов



Преимущества сети постоянного тока на основе преобразователей напряжения по сравнению с двухтерминальными передачами и радиальными сетями:

- обеспечивают несколько путей для передачи мощности от оффшорных ВЭУ в наземную сеть переменного тока, обеспечивая передачу полного потока мощности
- Соединяют между собой ВЭУ, находящихся в разных географических регионах, позволяет добиться усреднения при распределении электрической мощности, получаемой от энергии ветра
- обеспечивают высокую надежность электроснабжения

!!! Для стабильной работы таких сетей необходимы надежные выключатели постоянного тока

Кроме описанных выше электропередач и вставок постоянного тока во всем мире широко применяются следующие виды электрооборудования силовой электроники:

- регулируемые реакторы и батареи конденсаторов различного назначения;
- статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности (СТК);
- статические синхронные компенсаторы реактивной мощности (СТАТКОМ);
- тиристорные преобразователи тока и транзисторные преобразователи напряжения различного назначения;
- регулируемый электропривод различного назначения;
- фазовращатели;
- активные фильтры и др.

В СССР и России проводились разработки и освоение производства всех перечисленных выше видов электрооборудования, имеется достаточный опыт.



№ п/п	Наименование	Год ввода	Мощность, МВт	Напряжение кВ	Ном. ток, А	Длина, км
1	Кашира - Москва	1950	30	±100	150	120
2	Волгоград – Донбасс	1962 - 1965	720	±400	900	473
3	Экибастуз – Центр (Тамбов)	1992 – 1995*	6000	±750	4000	2400
4	Выборгская ВИП	1983 2002	3x355 = 1000 4x355 = 1400	170	2100	0
5	ВИП Могоча (на преобразователях напряжения)	2015	2x100 = 200	68	1500	0

Основные технические решения для высоковольтных тиристорных вентилях ЛЭП и вставок постоянного тока, разработанные в ВЭИ в конце 80-х годов:

- модульная конструкция
- охлаждение тепловыделяющих элементов деионизированной водой
- управление тиристорами на высоком потенциале с помощью коротких импульсов
- использование стекловолоконных световых каналов для передачи информации с «земли» на высокий потенциал и обратно

!!! Разработанные технические решения активно используются в мировой практике

Анализ отрасли позволяет выявить основные неблагоприятные факторы, которые тормозят развитие электроэнергетической отрасли:

- резкое сокращение инвестиций
- дефицит кадров: исследователей, разработчиков, испытателей – как в научно-исследовательских организациях, так и на промышленных предприятиях электротехнической отрасли
- дефицит производственных мощностей и необходимой действующей испытательной базы по указанному направлению
- отсутствие системы организации работ по созданию электротехнического оборудования, которая бы охватывала полный цикл работ («под ключ»)

Предлагаемые пути развития направления

Необходимо разработать комплекс мер для того, чтобы предотвратить потерю электротехнического направления по передаче постоянного тока

Первоочередные меры:

- Создание Рабочей группы с участием экспертов электротехнической отрасли и организаций – заказчиков для выработки серии практических технологических решений, основанных на технических заданиях конкретных проектов
- Воссоздание, с учетом современных условий кооперации, системы организации работ, в форме объединения или консорциума:



Необходимо создание Координационного совета для осуществления планирования и контроля работ

Главным предприятием может выступать ФГУП ВЭИ, имеющий многолетний опыт разработки и руководства созданием комплексов электротехнического оборудования



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!