



РОСАТОМ



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Электрификация Арктики и других труднодоступных и удаленных регионов с применением электропередач постоянного тока высокого напряжения

Травин Лев Викторович (ВЭИ)

Лавринович Валерий Александрович (ВЭИ)

Лозина Наталья Георгиевна (НИИПТ)

Суслова Ольга Владимировна (НИИПТ)

Ларин Василий Серафимович (ВЭИ)

Преимущества передач и вставок постоянного тока (ЭПТВН и ВПТ)

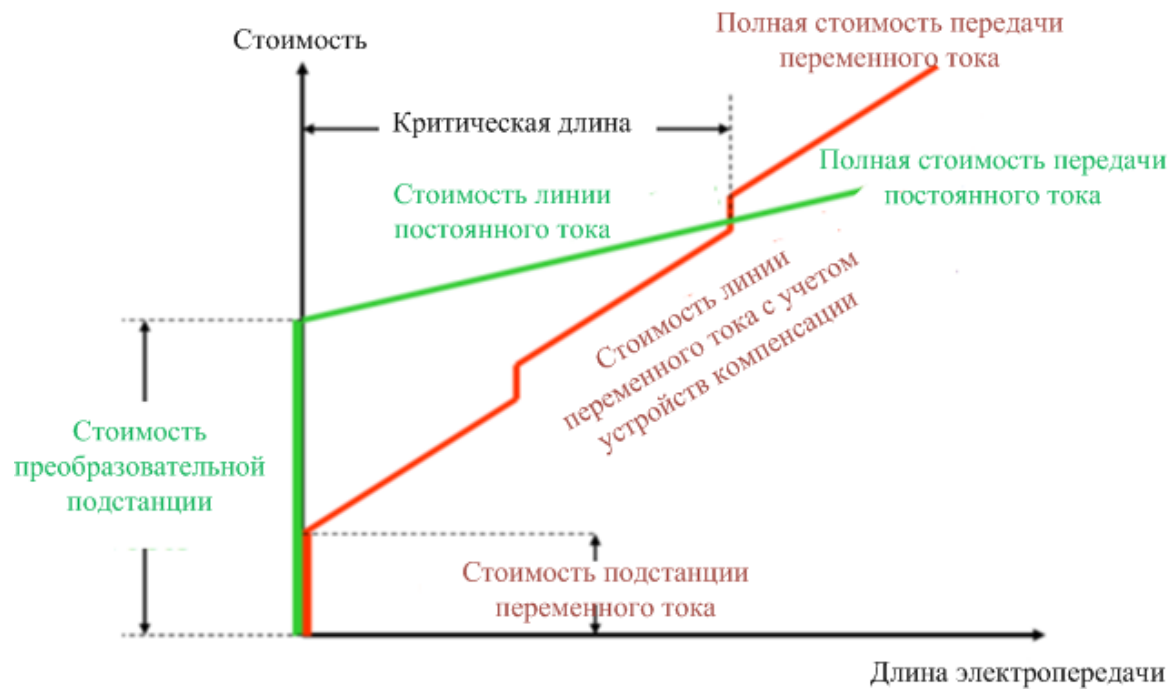


Технические преимущества

- передача больших мощностей на дальние расстояния (свыше 3000 км);
- передача электроэнергии по кабельным линиям длиной свыше 30-50 км, в том числе через водные преграды по подводным кабелям на большие расстояния (свыше 500 км);
- повышенная надежность ЭПТВН по сравнению с эквивалентной по мощности и напряжению ЛЭП переменного тока;
- возможность быстрого регулирования и реверса передаваемой мощности;
- возможность ограничения токов короткого замыкания;
- возможность обеспечения несинхронной связи между двумя системами переменного тока.

Экономические преимущества

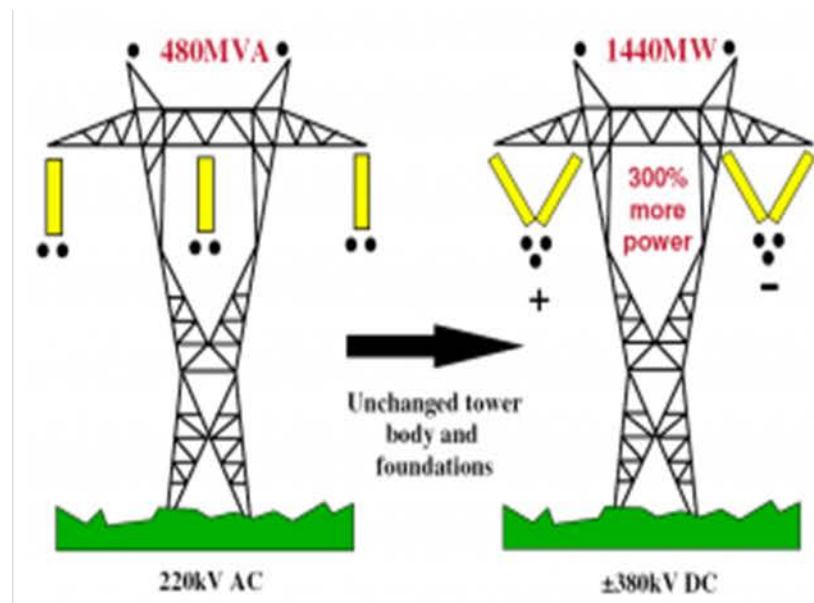
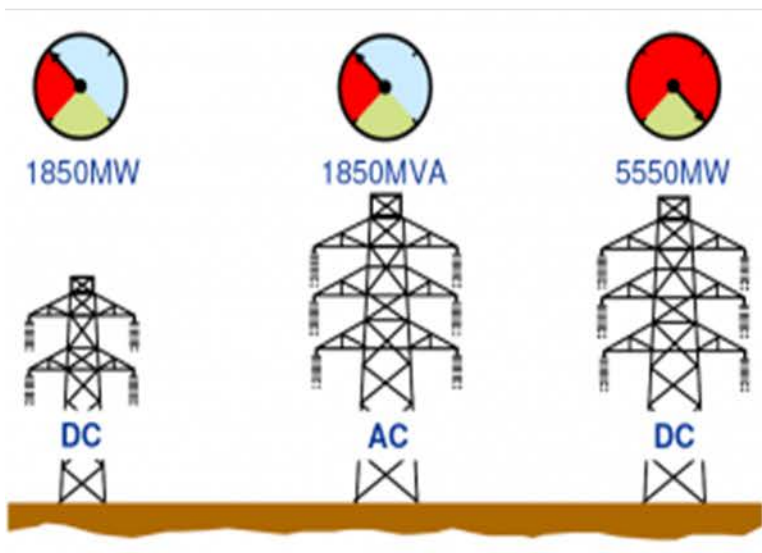
- повышенная экономичность по сравнению с эквивалентной воздушной ЛЭП переменного тока при длине ЛЭП свыше 400-700 км;
- меньшие потери мощности при транспортировке электроэнергии;
- меньшая стоимость воздушных и кабельных линий ЭПТВН



Критическая длина (в условиях умеренного климата) по информации СИГРЭ:

- воздушные ЛЭП – начиная с 400 км,
- кабельные ЛЭП – начиная с 30...50 км.

Возможность увеличения передаваемой мощности в 3 раза при использовании тех же опор и фундаментов, что и для ЛЭП переменного тока.



Эффективность ЭПТВН привела к их массовому строительству:

- на 2018 год в мире с 60-х годов построено более 150 ЭПТВН в т.ч:
- в КНР эксплуатируется порядка 50 ЭПТВН с протяженностью ЛЭП до 1–3 тыс. км (в том числе 15 передач на напряжение более ± 500 кВ);
- в Европе активно применяются ППТ ВН на базе как преобразователей тока, так и преобразователей напряжения для выдачи мощности от шельфовых ВЭС и для питания нефтяных платформ с суши;
- в РФ было построено 4 объекта, из них в настоящее время эксплуатируются 2 – ВПТ ПС Выборгская и ПС Могоча.

Передачи постоянного тока	<ul style="list-style-type: none">• передача электроэнергии на большие расстояния• передача электроэнергии через водные преграды по подводным кабелям на большие расстояния• глубокие вводы электроэнергии в мегаполисах• схемы выдачи мощности электростанций на базе возобновляемых источников энергии• электроснабжение островов и удаленных регионов со слабыми электрическими системами или без собственных источников электроэнергии
Вставки постоянного тока	<ul style="list-style-type: none">• межсистемные связи• ограничение токов КЗ в мощных энергосистемах и мегаполисах путем разделения отдельных частей энергосистемы через ВПТ.

Краткая историческая справка об отечественных проектах ЭПТВН и ВПТ



Проект	Краткие сведения	Назначение
ЭПТВН Кашира-Москва	Введена в 1950 г. Кабельная ЭПТВН ± 100 кВ, 30 МВт, 120 км	Первая в мире опытно-промышленная ЭПТВН
ЭПТВН Волгоград- Донбасс	Введена в 1962 г. Воздушная ЭПТВН ± 400 кВ, 720 МВт, 473 км	Связь двух энергосистем
ЭПТВН Экибастуз-Центр	Не была введена в эксплуатацию (строительство 1987-1990 г.г.) Воздушная ЭПТВН ± 750 кВ, 6000 МВт, 2414 км	Передача электроэнергии на большие расстояния. Первый в мире комплекс электрооборудова- ния для ЭПТВН напряжением ± 750 кВ
ВПТ Выборгская	Введена в 1981 г., модернизирована в 2002 г. ± 85 кВ, 1400 МВт (4х КВПУ по 350 МВт)	Первая в мире ВПТ мощностью свыше 1000 МВт. Несинхронная связь энергосистем СССР (РФ) и Финляндии
ВПТ Могоча	Введена в опытную эксплуатацию в 2016 г. 68 кВ, 200 МВт	Несинхронная связь энергосистем ОЭС Сибири и ОЭС Востока

Современное состояние работ в области ЭПТВН в России



Россия – единственная крупная промышленная страна в мире, в которой **практически не ведутся работы по созданию** электропередач постоянного тока высокого напряжения. После развала Советского Союза передовые позиции страны в мире в областях электроэнергетики, электротехники и силовой электроники были утеряны и до сих пор не восстановлены.

Задачи, решаемые с помощью ППТ и ВПТ	Потребность в РФ
Передача электроэнергии на большие расстояния (магистральные сети ЕНЭС)	Фактически отсутствует (развитость сетей переменного тока и сбалансированность ОЭС; избыток генерирующих мощностей; низкий рост промышленного потребления)
Выдача мощности морских ветропарков	Фактически отсутствует (нет мощных морских ветропарков)
Несинхронные связи между энергосистемами и странами	ИМЕЕТСЯ (ОГРАНИЧЕННО) (планируется развитие ВПТ Выборгская, связей ОЭС Сибири и ОЭС Востока – ПС Могоча и ПС Хани; обсуждаются проекты экспорта энергии в сопредельные государства)
Передача сравнительно небольшой мощности на большие расстояния и через водные преграды (в т. ч. снабжение островов)	ИМЕЕТСЯ (развитие удаленных территорий - Арктика, Дальний Восток, СевМорПуть , в рамках выполнения Указа Президента России от 7 мая 2018 года №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»)

Климатические, природные, демографические и экономические условия арктического побережья и островов – влияние на стоимость строительства ЭПТВН



Условия строительства воздушных ЛЭП

- вечная мерзлота – практически невозможно надежно укрепить опоры воздушной ЛЭП без специальных технических средств
- отсутствие дорог – подвоз сотен и тысяч тонн металлоконструкций, изоляторов и других деталей – по воздуху вертолетом или по зимнику
- строительство ЛЭП – зимой (метели, сильные ветры, короткий день, низкая производительность, длительные сроки)
- стоимости всех материалов и конструкций возрастают в разы за счет стоимости перевозки по морю, разгрузки, хранения, доставки на место монтажа и условий строительства
- строительство подстанций – создание инфраструктуры – дороги, жилье, транспорт, отопление, электро- и водоснабжение, подъемные и монтажные механизмы

Преимущества ЭПТВН

- меньший объем и масса металлоконструкций, изоляторов, проводов и других деталей значительно удешевляют строительство ЛЭП и подстанций
- уменьшается критическая длина ЛЭП
- кабельная линия может оказаться дешевле воздушной

Типизация схемотехнических решений – ключ к масштабированию мощности ЭПТВН их технико-экономической эффективности

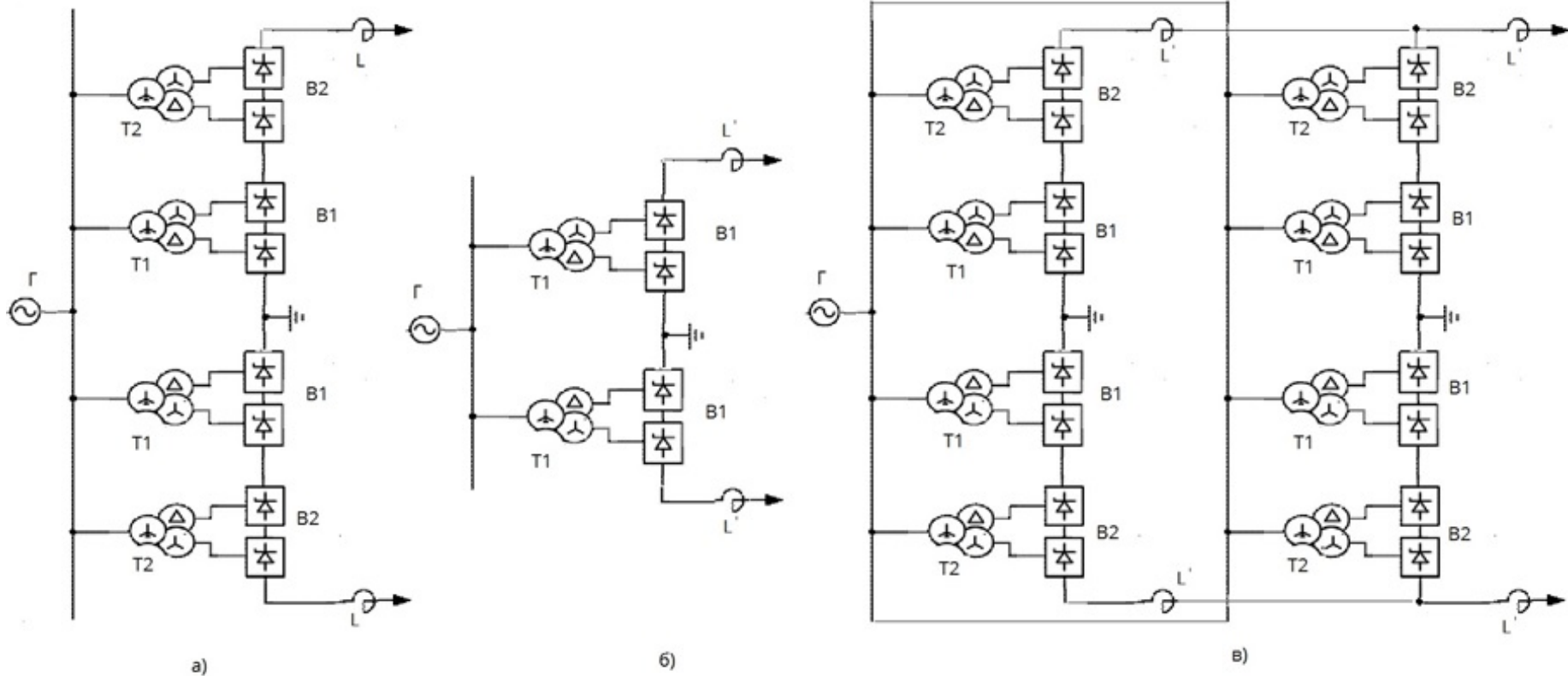


Параметры ЭПТВН

- анализ состояния систем электроснабжения в различных районах Арктики показал, что в ближайшие годы генерирующие мощности и нагрузки в большинстве случаев не будут превышать 100 МВт
- типовая ЭПТВН – 100 МВт, ± 100 кВ, 500 А, воздушная, кабельная или комбинированная линия, длина не ограничена
- на базе комплекса электрооборудования для типового проекта ЭПТВН 100 МВт возможно строительство ЭПТВН мощностью 50, 100 и 200 МВт, что увеличивает число потенциальных потребителей
- поэтому НИР по разработке схемных решений типового проекта ЭПТВН можно начинать немедленно, не дожидаясь окончательного выбора и согласования пилотного проекта.

Преимущества типовой ЭПТВН

- Создание комплекса электрооборудования арктического исполнения для типовой гибридной ЭПТВН 100 МВт, ± 100 кВ, 500 А, с возможностью масштабирования передаваемой мощности от 50 до 200 МВт позволит реализовать любой из возможных пилотных проектов на арктическом побережье.



Варианты выпрямительных подстанций с тиристорными преобразователями тока ППТВН мощностью 100 МВт (а), 50 МВт (б) и 200 МВт (в)

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ)

- в системе ГК «Росатом» действует бизнес «Ветроэнергетические установки». Ведущая организация – «НоваВинд».
- в системе ГК «Росатом» также действует бизнес «Накопители электрической энергии». Ведущая организация – АО «ТВЭЛ».
- целесообразно организовать сотрудничество ВЭИ, связанных с ним предприятий, с организациями ГК «Росатом» - «НоваВинд» и АО «ТВЭЛ» для проведения НИОКР и организации производства ветроэнергетических установок в комплекте с накопителями энергии и преобразователями для автономных электрических систем

Ожидаемый результат

- внедрения в арктических регионах России, полярных островах и шельфе дополнительных генерирующих установок для электроснабжения различных автономных объектов и населенных пунктов.

Количественная оценка технических и экономических эффектов применения ЭПТВН



Проект «Строительство двух одноцепных ВЛ 110 кВ Певек-Билибино» предусматривает:

- демонтаж старой ВЛ 110 кВ
- строительство двух одноцепных ВЛ 110 кВ №1 (2019) и №2 (2021) протяженностью 490 км (каждая).

Согласно мировой практике для электропередачи такой протяженности предпочтительно применение ЭПТВН.

Параметр	ВЛ 110 кВ переменного тока (проект Премьер Энерго)	ЭПТВН ±150 кВ постоянного тока (экспертная оценка)
Стоимость строительства, млн. руб.		
•ВЛ №1	10 704	12 000
•ВЛ №2	10 922	—
•подстанции (реконструкция + новое строительство)	2 539	6 150
•ИТОГО	24 165	18 150
Потери электроэнергии при передаче:		
•в % от передаваемой мощности	~12 %	~6 %
•ежегодная стоимость потерь (по тарифу 8,20 руб./кВт*ч)	430 млн. руб.	215 млн. руб.

Современное состояние работ в области ППТВН в России



1. После развала Советского Союза передовые позиции страны в мире в областях электроэнергетики, электротехники и силовой электроники были утеряны и до сих пор не восстановлены.
 - отсутствие спроса на проекты ППТВН и ВПТ (развитость сетей переменного тока и сбалансированность ОЭС; низкий рост промышленного потребления)
 - недооценка технико-экономических преимуществ применения электропередач и вставок постоянного тока в электрических системах России;
 - снижение компетенции исследователей, разработчиков, испытателей в оставшихся НИИ и специалистов на промышленных предприятиях по всей стране в результате постепенного ухода старых кадров и дефициту молодых специалистов в этой области.
2. Для выполнения проектов государственного значения необходима единая мощная кооперация, способная объединить усилия разрозненных действующих исследовательских, конструкторских, проектных организаций и производственных предприятий.
3. В России имеется существенный задел для дальнейшего развития силовой электроники для электрических систем. Объединенные ресурсы российских НИИ и производственных предприятий достаточны для разработки и изготовления комплексов электрооборудования для электропередач и вставок постоянного тока на отечественной элементной базе.



1. ВЭИ – филиал РФЯЦ-ВНИИТФ проводит работу по объединению предприятий и организаций России, включая предприятия ГК Росатом, в консорциум с целью обеспечения разработки и производства полного комплекса отечественного электротехнического оборудования ЭПТВН (с последующим его продвижением на отечественном и зарубежных рынках).
2. На текущий момент заключены соглашения о намерениях по созданию консорциума со следующими организациями и предприятиями
 - ОАО «Электрозавод», Москва (Преобразовательные трансформаторы, сглаживающие реакторы, реакторы фильтров);
 - ЗАО «ЭЛСИЭЛ», Москва (Силовая электроника);
 - ООО «Усть-Каменогорский конденсатор» (Конденсаторы, статические компенсаторы реактивной мощности (СТК));
 - ООО «НПП ЛМ Инвертор», Москва (Силовая электроника);
 - ЗАО «Протон-Электротекс», Орел (Силовые полупроводниковые приборы);
 - ООО «ЛМ Электро», Москва (Ограничители перенапряжений);
 - ООО «Горизонт», Екатеринбург (Система управления, регулирования, защиты и автоматики);
 - АО «НПО ВЭИ Электроизоляция», Москва (Электрическая изоляция).
 - ОАО «НИИПТ», Санкт-Петербург (Исследования)
 - ООО «Русэлпром-Трансформатор», Москва (Преобразовательные трансформаторы, сглаживающие реакторы)
3. В настоящее время крупным, значимым и эффективным электроэнергетическим проектом в России может стать проект электрификации Арктического побережья и **островов**, который может быть реализован при использовании ЭПТВН.

Требуемые НИР по тематике ЭПТВН и ВПТ



РОСАТОМ

Наименование НИР	Основные результаты	Эффекты для ГК РА
<p>Разработка схемно-технических решений, принципов управления, регулирования и защиты для типовой гибридной ЭПТВН 100 МВт, ± 100 кВ, 500 А</p>	<p>Альбом основных технических решений ППТВН, с обосновывающими материалами, включающий:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Технические требования к основному оборудованию; • Схемы преобразовательных подстанций; • Алгоритмы управления, регулирования, защиты и автоматики. • Базовые конструктивные решения преобразователей на принципах блочно-модульного масштабирования 	<p>Повышенная готовность к выполнению проектов ППТ для Крайнего Севера с обоснованными ОТР по ИТТ, схемам, алгоритмам, конструкции, комплектующим. Сокращение сроков проектирования и уменьшение рисков</p>
<p>Разработка схем выдачи мощности новых АЭС разных номинальных мощностей на основе ЭПТВН</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Альбом схем выдачи мощности новых АЭС. • Рекомендации по применению типовых схем выдачи мощности АЭС с использованием ППТВН. • Условия возникновения субсинхронных колебаний на ТГ АЭС и других факторов неустойчивости. 	<p>Повышение коммерческой эффективности ТКП по АЭС Российского дизайна за счет расширения комплексности и проработанности предложений.</p>



POCATOM

Спасибо за внимание!