

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО ПЕРЕДАЧЕ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ»
(ОАО «НИИПТ»)

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор,

 А.С. Гирфанов
_____.____.2016

М.П.

Краткая техническая информация по теме

«КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И ВСТАВОК ПОСТОЯННОГО
ТОКА В ЕЭС РОССИИ»

Заведующая отделом Постоянного тока,
заместитель генерального директора,
научный руководитель ОАО "НИИПТ",
к.т.н.



Н.Г. Лозинова

Заведующий отделом Техники высоких
напряжений, руководитель
Испытательного центра ОАО «НИИПТ»,
к.т.н.



Л.Л. Владимирский

Ведущий научный сотрудник,
руководитель подкомитета В4
«Элетропередачи постоянным током и
силовая электроника» РНК СИГРЭ, к.т.н.

 О.В. Суслова

Санкт-Петербург
2016

Оглавление

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
1. РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПОСТОЯННОГО ТОКА ЗА РУБЕЖОМ.....	5
2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И ВСТАВОК ПОСТОЯННОГО ТОКА	6
2.1 Сравнительные затраты на передачу киловатт·часа.....	6
2.2 Системные эффекты при использовании ППТ	8
2.3 Создание управляемых «разрывов» в сетях переменного тока как альтернатива секционированию с целью уменьшения токов короткого замыкания	10
2.4 Экологические особенности и преимущества ППТ	11
2.5 Использование ППТ для интеграции нетрадиционных источников энергии.....	11
2.6 Электроснабжение островных и полуостровных территорий, автономных нагрузок и оффшорных платформ.....	12
2.7 Перевод воздушных линий переменного тока на постоянный ток с целью увеличения их пропускной способности.....	12
2.8 Присоединение изолированных энергосистем к Единой энергосистеме	14
2.9 Обобщенные технико-экономические показатели объектов постоянного тока высокого напряжения	14
2.10 Учитываемые факторы при выполнении экономической оценки ППТ и ВПТ	16
3. АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ЕЭС РОССИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РОССИИ 18	
4. ПЕРЕЧЕНЬ АКТУАЛЬНЫХ ТЕМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОЕКТНЫХ РАЗРАБОТОК, НАПРАВЛЕННЫХ НА РЕАЛИЗАЦИЮ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ ППТ И ВПТ В ЕЭС РОССИИ	19
4.1 Разработка общих технических решений по многоузловым вставкам постоянного тока для повышения качества управления режимами и снижения токов короткого замыкания в сетях мегаполисов.....	19
4.2 Разработка и обоснование принципиальных технических решений по объектам постоянного тока для энергоснабжения изолированных энергосетям и районов Дальнего Востока.....	20
4.3 Разработка и обоснование принципиальных технических решений по объектам постоянного тока для энергоснабжения островных и полуостровных территорий, автономных нагрузок и оффшорных платформ	20
4.4 Разработка и обоснование принципиальных технических решений по объектам постоянного тока для присоединения ВИЭ к ЕЭС и к локальным энергосистемам.....	20
4.5 Разработка и исследование объектов постоянного тока на основе модульных многоуровневых преобразователей напряжения	21
4.6 Разработка и обоснование принципиальных технических решений по объектам постоянного тока для экспортных электропередач	22
4.7 Разработка и обоснование принципиальных технических решений по объектам постоянного тока для электропередач ультравысокого напряжения	22
5. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ ЛЭП ПОСТОЯННОГО ТОКА В РОССИИ	23
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	26

Введение

Рекордным достижением в области электросетевого строительства в 20 веке было создание в СССР проекта, разработка основных технических решений, строительство и включение под напряжение первой в мире воздушной линии (ВЛ) переменного тока напряжением 1150 кВ и завершение строительством (без включения под напряжение) ВЛ постоянного тока напряжением ± 750 кВ. Проекты этих электроустановок выполнялись на основе большой программы экспериментов и расчетов. Выполненные более 30 лет назад эти разработки показали принципиальную возможность создания мощных сверхдальних линий электропередачи ультравысокого напряжения (УВН) с целью передачи большого количества электроэнергии, повышения маневренности и надежности крупных государственных энергетических систем.

Более широкое практическое воплощение в жизнь технологии передачи электроэнергии с использованием ВЛ УВН получила в 21 веке в Китае. Так, начиная с 2009 года в Китае введены в эксплуатацию несколько ВЛ переменного тока напряжением 1000 кВ и постоянного тока напряжением ± 800 кВ. Исследования в области ВЛ УВН в настоящее время ведутся во всех странах БРИКС (Бразилия, Индия, Китай, ЮАР), кроме России, усилия этих стран направлены на создание разветвленных электрических сетей, где основное значение уделяется сетям ультравысокого напряжения, которые позволяют найти компромисс между центрами генерации электроэнергии и районами ее максимального потребления.

Создание мощных электрических сетей является стратегическим приоритетом освоения новых источников энергии, развития промышленности, а также оказывает большое влияние на геополитическую стратегию в совокупности с такими линейными объектами как протяженные железные дороги, автомобильные трассы, магистральные нефте- и газопроводы.

На рассматриваемую перспективу наиболее высоким классом напряжения в ЕЭС России остается 1000 кВ для сетей переменного тока, а также освоенные и сооружаемые в настоящее время за рубежом ВЛ постоянного тока классов напряжения ± 500 , ± 600 и ± 800 и ± 1000 кВ. Основная роль этих электропередач будет заключаться в создании электрических мостов по нескольким направлениям (северное, центральное, южное).

Современные технологии в преобразовательной технике на основе силовой электроники, снижение стоимости, повышение надежности и пропускной способности, обеспечение высокой управляемости, существенное сокращение полосы отчуждения под трассу воздушной линии, что дает значительный экономический эффект по сравнению с территорией, занимаемой несколькими ВЛ переменного тока, позволяют прогнозировать на среднюю (5 лет) и отдаленную перспективу существенное развитие воздушных линий электропередачи постоянного тока при рассмотрении различных вариантов транспорта электроэнергии на обширной территории РФ.

Сравнительные характеристики ВЛ постоянного и переменного тока хорошо известны и нашли отражение в большом количестве монографий,

статей, докладов на конференциях как в России, так и за рубежом, в том числе в рамках СИГРЭ. В целом можно отметить, что для транспорта электроэнергии на большие расстояния (более 1000 км), что характерно для стран БРИКС, однозначно преимущество имеют передачи постоянного тока. Такие передачи дешевле примерно на 30 %, а на 30% у них меньше потери по сравнению с передачей такого же количества электроэнергии по ВЛ переменного тока.

В предлагаемой информации рассматриваются различные варианты преимуществ технологии передачи и распределения электроэнергии на постоянном токе, которые в ближайшей и среднесрочной перспективе могут быть востребованы при создании передач постоянного тока при более низких напряжениях и коротких расстояниях по сравнению с дальними передачами УВН.

1. Развитие электропередач постоянного тока за рубежом

Передачи электрической мощности постоянным током высокого напряжения развиваются и реализовываются в промышленных масштабах с начала 50-х годов прошлого столетия. В последние годы число проектов передач и вставок постоянного тока (ППТ и ВПТ) в мировой энергетике значительно возросло. По приблизительным подсчётам за пять десятилетий с начала 50-х по конец 90-х годов прошлого века в мире введено в эксплуатацию около 100 объектов постоянного тока на напряжение выше 50 кВ, за десятилетие 2000 – 2010 гг. – около 40, начиная с 2010 года и на перспективу до 2020 года строится и запланировано к строительству более 80 объектов постоянного тока (рис 1.). Если в XX столетии почти все вводимые в Европе передачи реализовывались на переменном токе, то в период с 2010 по 2030 гг. на электропередачи постоянного тока придется от 22 до 25 % общей пропускной способности введенных в эксплуатацию, строящихся и планируемых к строительству в Европе электропередач.

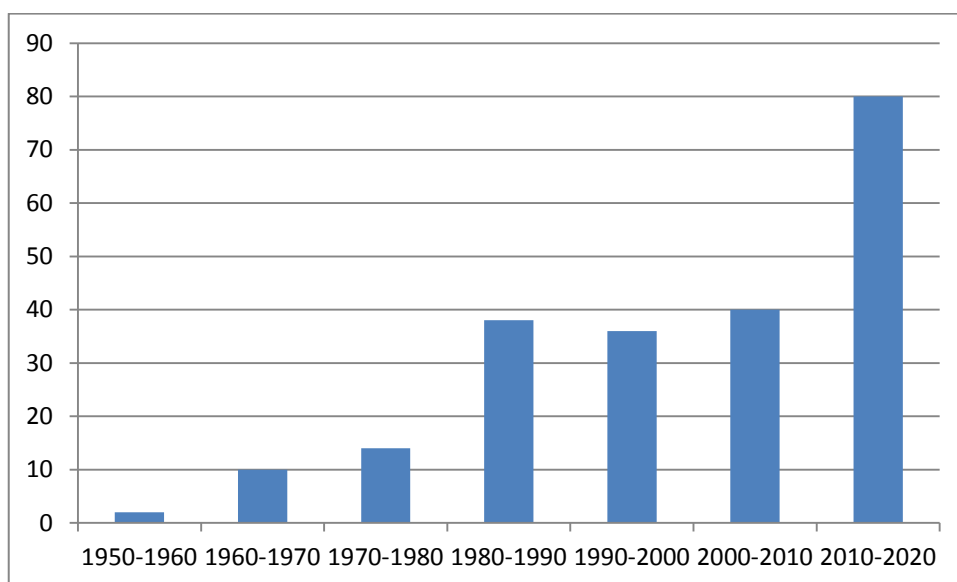


Рис.1. Количество введенных в эксплуатацию и планируемых к строительству объектов постоянного тока по десятилетиям

Общая пропускная способность ППТ и ВПТ, введенных в эксплуатацию за последние 40 лет в мире, достигла 100 ГВт, за следующую декаду планируется ввести в эксплуатацию ППТ и ВПТ общей пропускной способностью 250 ГВт. Мировой рынок объектов постоянного тока удвоился за последние пять лет, составив около 6 млрд. евро в год по отношению к объёму 3 млрд. евро в 2010 году.

2. Техничко-экономические характеристики и области применения электропередач и вставок постоянного тока

Тенденция к активному использованию объектов постоянного тока в мировой энергетике объясняется рядом их технологических, интеллектуальных, экологических преимуществ.

2.1 Сравнительные затраты на передачу киловатт·часа

Передача постоянного тока имеет меньшие по сравнению с ВЛ переменного тока затраты на передачу киловатт часа электроэнергии при равных условиях надежности в случае превышения некоторой длины линии.

Эта характеристика наглядно выражается зависимостями капитальных затрат от длины биполярной линии постоянного тока и двухцепной линии переменного тока, а также кабельной линии постоянного тока. Критическое значение длины линии, при котором вложения в ВЛ переменного тока и ППТ становятся равными, составляет 400-700 км (рис.2).

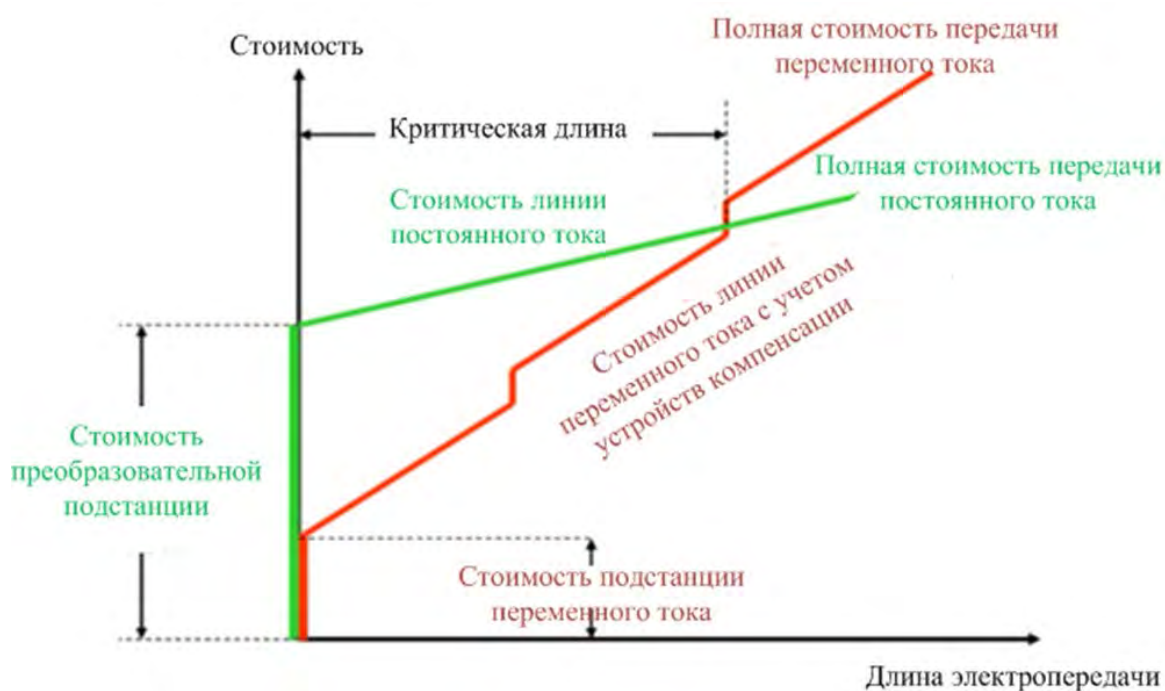


Рис.2. Определение критической длины ЛЭП

Стоимость преобразовательной подстанции постоянного тока выше стоимости преобразовательной подстанции линии переменного тока для одинаковых классов напряжения приблизительно в 3 раза за счет наличия оборудования силовой электроники, систем управления, охлаждения и др. В то же время стоимость самой линии постоянного тока в пересчете на километр меньше стоимости линии переменного тока **в 2 – 2,7 раза**. Величина критической длины на сегодня составляет 400 – 700 км. При расчете стоимости линий учитываются такие основные факторы как стоимость отводимой земли, материалов, рабочей силы, потерь в линии, стоимость средств компенсации реактивной мощности.

При расчете критической длины нужно учитывать, что по надежности показателям биполярная передача постоянного тока соответствует двухцепной передаче переменного тока.

Ширина санитарно-защитной зоны для линии переменного тока **на 70%** больше, чем для линии постоянного тока при эквивалентной пропускной способности. Передача постоянного тока требует меньшего количества проводов: у биполярной ППТ два провода – в случае возврата через землю, три - при металлическом возврате. Для обеспечения эквивалентной надежности нужна двухцепная передача переменного тока с шестью проводами.

На рис. 3 приведен анализ стоимостных показателей электропередач постоянного и переменного тока напряжением 500 кВ с воздушной и кабельной линией длиной 600 км. Стоимости показаны в долларах США на МВт передаваемой мощности.

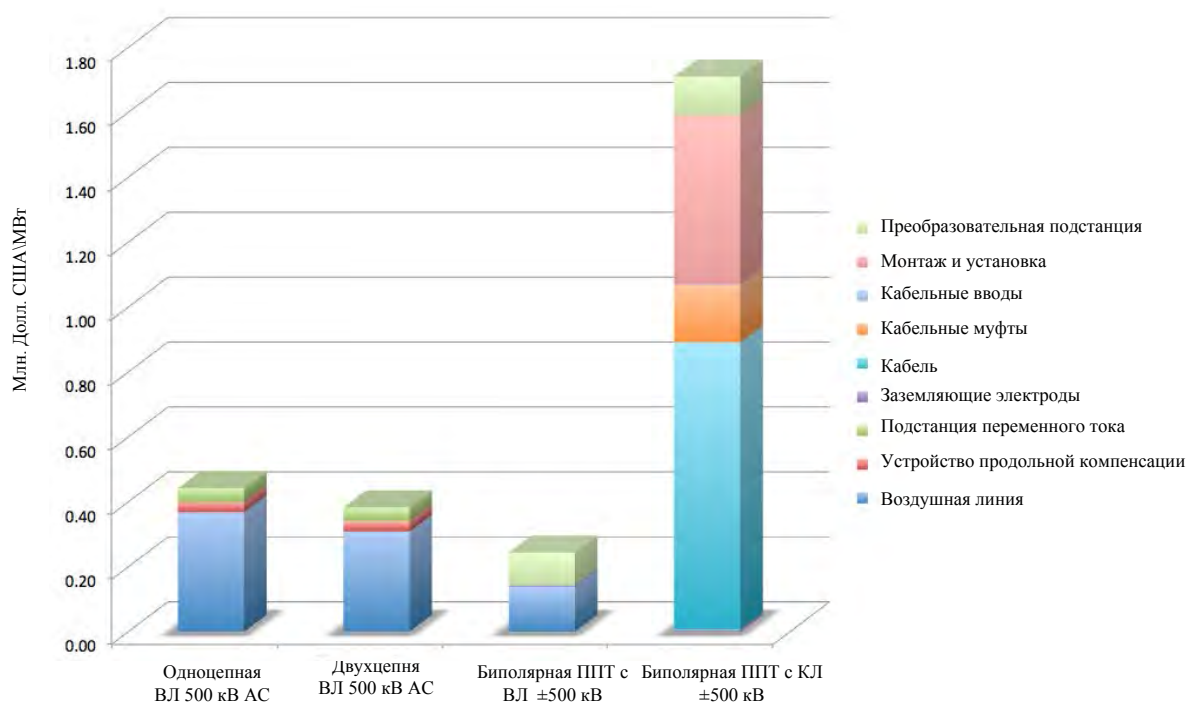


Рис.3. Сравнительный анализ стоимостей электропередач постоянного и переменного тока напряжением 500 кВ

Потери электроэнергии в линии ПТ меньше, чем в линии переменного тока при одинаковой пропускной способности для одинаковых классов напряжения примерно **на 30-40%**.

Таким образом, ППТ по воздушной линии экономически эффективна при передаче электроэнергии большой мощности на дальние расстояния (свыше 400 – 700 км).

Передача постоянного тока имеет меньшие по сравнению с кабельной линией (КЛ) переменного тока затраты на передачу киловатт часа электроэнергии при равных условиях надежности в случае превышения некоторой длины линии.

Кабельная линия постоянного тока становится дешевле эквивалентной кабельной линии переменного тока при критической длине более 30-50 км. Выигрыш в стоимости для кабельной линии постоянного тока получается за счет меньшего количества кабелей для ППТ и необходимости использования устройств компенсации реактивной мощности по концам кабельной передачи переменного тока особенно при значительных длинах.

Для кабельной передачи постоянного тока потери передаваемой электрической мощности составят приблизительно **0.3 - 0.4 %** на 100 км кабеля, для КЛ переменного тока – **8 – 10 %** на 100 км кабеля.

Таким образом, при передаче электроэнергии через широкие водные преграды (более 50 км), применение ППТ с подводным кабелем не имеет альтернативы.

2.2 Системные эффекты при использовании ППТ

В мировой практике применение почти всех ВПТ и большей части ППТ обосновывается получением тех или иных системных эффектов, непосредственная экономическая оценка которых при обосновании объектов постоянного тока весьма затруднена.

Практически все эти эффекты в той или иной, а в ряде случаев - в большей, чем в других энергосистемах, мере могут быть реализованы в ЕЭС России. Эти эффекты могут выражаться в следующем.

Повышение управляемости энергосистемы за счет управления технологическими режимами работы объектов постоянного тока.

Использование этого свойства позволяет оптимизировать режим в определенной части энергосистемы, например, по условиям минимизации потерь за счет принудительного распределения мощности между параллельными связями разных классов напряжения. Более того, в некоторых кольцевых структурах только включение «развязывающего» элемента, каковым может быть ППТ или ВПТ, позволяет избежать необоснованных перегрузок отдельных элементов кольца, недопустимых колебаний напряжения в узловых точках и, в результате, значительного снижения пропускной способности.

Возможность замыкания межсистемной связи относительно малой мощности между сколь угодно мощными энергосистемами. При этом не только исключаются нерегулярные колебания по данной связи, но и снижается уровень таких колебаний на связях внутри объединяемых энергосистем, что в конечном счете повышает их пропускную способность или предотвращает ее снижение.

Снижение уровня слабозатухающих низкочастотных периодических колебаний, присущих протяженным энергосистемам.

Возможность несинхронного объединения энергосистем, имеющих различные технологические режимы работы.

Примерами могут служить связи ЕЭС России с энергосистемами других государств, а также связи ОЭС Сибири с ОЭС Европейской части и ОЭС Дальнего Востока.

Повышение уровня устойчивости систем переменного тока и уменьшение объема управляющих воздействий типа САОН и ОГ за счет использования противоаварийного воздействия через системы управления ППТ (ВПТ). Эффективность использования этой возможности была показана на примере ППТ Экибастуз-Центр и аналогичные решения могут быть реализованы практически во всех случаях параллельных связей переменного и постоянного тока. Дозированное управление мощностью объекта постоянного тока, связывающего несинхронно работающие части, также может способствовать устойчивости при возникновении дефицита (избытка) мощности в одной из частей энергообъединения.

Реализованные на многих зарубежных ППТ системы демпфирования колебаний на связях переменного тока за счет соответствующего регулирования мощности ППТ могли бы быть реализованы и на любом объекте постоянного тока в ЕЭС России.

Повышение уровня надежности передачи и энергосистемы благодаря автономности полюсов ППТ и возможности форсирования остающегося в работе полюса позволяет максимально снижать наброс мощности на параллельные связи и дефицит в приемной части энергосистемы. В конечном счете, это позволяет минимизировать объем требуемых управляющих воздействий, снизить частоту и глубину их использования.

На примере сопоставления применения ВЛ 1150 кВ и ППТ на связи Сибирь-Урал выявлено, что годовой объем использования САОН в Европейской части при применении ППТ снижается более, чем в 2 раза по сравнению со случаем применения ВЛ 1150 кВ.

Повышение живучести энергосистемы за счет несинхронных связей постоянного тока, которые предотвращают распространение аварии на смежные части энергообъединения.

Пример: во время тяжелой системной аварии в NORDEL со снижением частоты в энергосистеме Финляндии до 46 Гц не только не отмечалось какого-либо аварийного воздействия в ЕЭС, но и передаваемая мощность по связи Россия - Финляндия сохранилась на уровне, определенном графиком (в то время не было предусмотрено аварийной взаимопомощи).

Положительное влияние на живучесть энергосистемы ППТ могут оказывать и в составе синхронно работающего энергообъединения, так как они в значительно большей мере, чем связи переменного тока, противостоят каскадному развитию аварии.

При отключении параллельных связей ППТ принимают на себя лишь дозированный наброс мощности в соответствии с заданным управляющим воздействием, а также, как правило, сохраняют в отличие от связи переменного тока работоспособность при возникновении асинхронного хода на параллельных связях.

Сохранение уровня токов короткого замыкания при вводе в энергосистему элементов постоянного тока в ряде случаев исключает необходимость замены коммутирующей аппаратуры, которая могла бы возникнуть при вво-

де линии переменного тока. Это обстоятельство может оказаться весьма существенным при сооружении мощных связей.

Исключение «растекания» мощности по сетям третьих стран при создании «энергомостов» постоянного тока.

Использование ППТ не только упрощает систему взаиморасчетов, но и сокращает потери, в том числе и по причине несанкционированных отборов мощности, исключает непредвиденные перегрузки отдельных участков «чужой» сети, например, в ремонтных схемах и тем самым возможные ограничения плановых перетоков. Для реализации экспортных возможностей ЕЭС России, особенно в направлении Западной Европы, использование этой характеристики ППТ весьма существенно, имея в виду географическое положение России после распада СССР.

Поддержание уровня напряжения и регулирование реактивной мощности в точке присоединения преобразовательной подстанции.

2.3 Создание управляемых «разрывов» в сетях переменного тока как альтернатива секционированию с целью уменьшения токов короткого замыкания

Проблема глубокого ограничения уровней токов короткого замыкания в крупных густонаселенных промышленных регионах приобретает в настоящее время острый характер. Это обусловлено высокой плотностью генерации и нагрузки потребителей, сложнотамкнутой структурой электрических сетей 110-220 кВ, а также значительным ростом уровня электропотребления в обозримом будущем. Задача ограничения токов короткого замыкания (КЗ) требует глобального решения, основанного на системном подходе с учетом непрерывного развития сети и координации с параметрами оборудования, в частности, с отключающей способностью выключателей.

В настоящее время наиболее распространенные способы уменьшения токов короткого замыкания в мегаполисах – секционирование сети и установка токоограничивающих реакторов.

Анализ уровней токов короткого замыкания в мегаполисе на примере Московской и Санкт-Петербургской энергосистем показал, несмотря на значительное количество точек секционирования, расчетные значения токов короткого замыкания в некоторых узлах остаются больше, чем максимальная отключающая способность выключателей. Секционирование снижает надежность работы сети. Тупиковая ситуация при стационарном делении сети наблюдается при вводе новых линий, когда часть этих линий преднамеренно выводится из работы, т.е. происходит «замораживание» капиталовложений. Включение токоограничивающих реакторов в линии электропередачи в сложнотамкнутых сетях, характеризующихся наличием коротких линий электропередачи, малоэффективно.

Для управления перетоками активной мощности возможно применение вставок постоянного тока. Вставка постоянного тока является разрывом для протекания токов короткого замыкания, т.е. исключает «подпитку» аварийного узла. Однако вставка постоянного тока обеспечивает выполнение одно-

го разрыва и, соответственно, одну управляемую связь для потоков активной мощности.

ОАО «НИИПТ» в 2009 году предложило для ограничения токов короткого замыкания и повышения управляемости мегаполисов использовать специфические объекты постоянного тока – многоузловые вставки (МВПТ), обеспечивающие формирование несинхронных связей, количество которых существенно превышает количество преобразовательных модулей. В частности, четырехмодульная МВПТ формирует 6 связей, пятимодульная – 10, шестимодульная – 16.

Повышение надежности электроснабжения за счет использования МВПТ заключается в том, что при введении такого устройства в энергосистему мегаполиса между узлами сети создаются управляемые связи, при этом через МВПТ отсутствует подпитка места короткого замыкания на одной из линий какого-либо узла токами от линий связи с другими узлами. Существенный эффект ограничения токов короткого замыкания наблюдается при установке МВПТ на подстанциях, имеющих наибольшее число связей с электростанциями.

Экономический эффект может быть получен за счет снятия ограничений на развитие сетей мегаполиса, связанных с ограничением токов короткого замыкания, снижение затрат на замену выключателей, снижение числа разрывов в сети мегаполиса, сохранения связности энергосистемы системы, повышение управляемости перетоками активной мощности.

2.4 Экологические особенности и преимущества ППТ

Ширина ВЛ постоянного тока примерно в 1,5 раза меньше ширины ВЛ переменного тока той же пропускной способности, что очень важно для густонаселенных и лесных регионов.

ВЛ СВН и УВН постоянного тока оказывают значительно меньше негативных воздействий на окружающую среду, чем ВЛ переменного тока, по целому ряду параметров (электромагнитное воздействие, вибрации, звуковое воздействие и шумы, коронирование проводов, сопровождающееся выделением озона и окислов азота из окружающего провод воздуха, др.).

2.5 Использование ППТ для интеграции нетрадиционных источников энергии

ППТ предпочтительны для присоединения к энергосистемам генераторов с нестабильным уровнем генерации, зависящим от условий окружающей среды (ветропарки, солнечные, приливные и другие установки генераторов).

В прибрежных зонах России имеются несколько акваторий, пригодных для сооружения приливных гидроэлектростанций (ПГЭС). Возможные ПГЭС могут быть расположены в отдаленных районах Дальнего Востока и Европейского Севера России, и для выдачи мощности от них потребуются сооружение соответствующих линий электропередачи. Передача электроэнергии от ГЭС и ПГЭС будет проходить через малонаселенные и, в значительной части, труднодоступные территории по магистральным воздушным линиям

без присоединений, что характерно для передачи постоянного тока. При этом, учитывая большую протяженность и передаваемую мощность, должны использоваться линии максимально доступного класса напряжения.

Ветроэлектрические установки, расположенные в открытом море, присоединяются к энергосистеме при помощи кабельных ППТ.

Экономический эффект может быть получен за счет обеспечения стабильного и надежного энергоснабжения от альтернативных источников генерации, применения экономичных ППТ для передачи электроэнергии.

2.6 Электроснабжение островных и полуостровных территорий, автономных нагрузок и оффшорных платформ

Для энергоснабжения инфраструктуры островов и территорий, удаленных от центральных электрических сетей, а также оффшорных платформ обычно используют газовые или дизельные электростанции. Этот способ электроснабжения имеет ряд недостатков.

Такие электроустановки имеют низкий коэффициент полезного действия (20-25 %), выбрасывают в атмосферу значительное количество CO_2 , электроэнергия, вырабатываемая с их помощью, имеет высокую себестоимость. В Российской Федерации себестоимость электроэнергии, полученной от дизельных электростанций, составляет 25 – 100 руб. за 1 кВт/ч.

Для исключения этих недостатков, а также для обеспечения надежного электроснабжения потребителей рассматривают возможность их присоединения к единой электрической сети.

В случаях, когда изолированные потребители и островные территории расположены на небольшом расстоянии от подстанций единой энергосистемы, такое присоединение возможно осуществить, используя кабель переменного тока.

При больших расстояниях (более чем 50 км) экономически выгоднее становится применение кабельных передач постоянного тока на традиционных преобразователях тока и на основе преобразователей напряжения.

Основные технико-экономические эффекты могут быть получены за счет отказа от необоснованного применения газовых или дизельных электростанций, выброса в атмосферу CO_2 , применения кабеля постоянного тока, более дешёвого по сравнению с кабелем переменного тока при равной пропускной способности и уменьшении потерь при передаче электрической мощности.

2.7 Перевод воздушных линий переменного тока на постоянный ток с целью увеличения их пропускной способности

В ЕЭС России имеются ограничения по допустимому перетоку мощности в контролируемых сечениях, которые учитываются на всех этапах от долгосрочного планирования до ведения режима в реальном времени с целью обеспечения статической устойчивости. В ряде случаев контролируемые сечения имеют ВЛ напряжением 110-330 кВ, накладывающие наибольшие ограничения на переток мощности в сечении. Строительство новых ВЛ требует отчуждения дополнительных территорий, что в ряде случаев может

быть проблематично, особенно в центральной части России. Реконструкция существующих ВЛ переменного тока с целью повышения пропускной способности за счет повышения номинального напряжения или токовой нагрузки особенно при большой длине линии имеет существенное ограничение как по электрической, так и по механической прочности. Техническим решением в этом случае может быть перевод ВЛ переменного тока на передачу постоянного тока, что с технической точки зрения вполне осуществимо. Свойства передач постоянного тока позволяют обеспечить:

- повышение пропускной способности;
- повышение управляемости энергосистемы;
- плавку гололеда на работающей ВЛ, то есть без перерыва передачи электроэнергии потребителям;
- сокращение потерь в сетях.

Расчет экономического эффекта производится путем сравнения стоимости строительства новой линии переменного тока (без учета реконструкции подстанций) и стоимости перевода существующей линии переменного тока на постоянное напряжение. Оба мероприятия выполняются с целью увеличения надежности энергоснабжения и пропускной способности электрической сети. При проведении сравнения учитываем, что по надежностным показателям и пропускной способности биполярная передача постоянного тока соответствует двухцепной передаче переменного тока.

Таблица 1

Параметр	Вариант 1 (AC)	Вариант 2 (DC)
Напряжение, кВ	330	±300
Тип	Двухцепная	Биполярная
Пропускная способность, МВт	600 – 800	750
Стоимость строительства линии электропередачи, млн. руб/км	26,7	-
Стоимость строительства преобразовательных подстанций, млрд. руб.	-	4,9

Таким образом, перевод ВЛ на постоянное напряжение будет экономически выгоднее, чем строительство новой ВЛ 330 кВ при длине линии свыше 200 – 250 км.

Например, при длине ВЛ 330 кВ 250 км экономический эффект составит: $6,675 - 4,9 = 1,775$ млрд. руб.

Необходимо отметить, что ширина санитарно-защитной зоны для линии переменного тока на 70% больше, чем для линии постоянного тока при эквивалентной пропускной способности, таким образом, стоимость землеотвода при строительстве новой линии переменного тока будет выше.

2.8 Присоединение изолированных энергосистем к Единой энергосистеме

В настоящее время разрабатываются варианты обеспечения надежности функционирования ряда изолированных энергосистем на территории РФ. Дефицит электроэнергии в этих энергорайонах, недостаточная надежность функционирования их энергосистем могут являться препятствием для развития инфраструктуры и ввода производственных мощностей. Рассматриваются варианты сооружения дополнительных генерирующих мощностей тепловых электростанций на газовом топливе, а также присоединение к единой национальной электрической сети, в том числе с помощью передач и вставок постоянного тока.

Экономический эффект может быть получен за счет отказа от необоснованного применения газовых или дизельных электростанций, обеспечения надежного энергоснабжения при присоединении изолированной ЭС к ЕЭС, обеспечения гибкой и экономичной передачи мощности при помощи ППТ.

2.9 Обобщенные технико-экономические показатели объектов постоянного тока высокого напряжения

В преобразовательной части объектов постоянного тока используются два-три типа преобразователей: преобразователь тока и преобразователь напряжения. Они отличаются элементной базой, техническими характеристиками областями применения, ценовыми характеристиками.

Обобщенные технические характеристики объектов постоянного тока различного типа представлены в табл. 2 и 3.

ПТТ с применением преобразователей тока

Вид передачи	Воздушная линия	Кабельная линия
Напряжение	до ± 800 кВ	до ± 500 кВ
Номинальная мощность	до 8 ГВт	до 700 МВт
Длина линии	до 2500 км	до 435 км
Площадь преобразовательной подстанции	225×120×20 м (500 МВт)	
Возможности по регулированию активной мощности	Непрерывное регулирование, минимум 10% от номинальной пропускной способности	
Потребление реактивной мощности	50-60% от номинальной мощности преобразователя, средства компенсации – ФКУ и шунтовые конденсаторные батареи	
Регулирование напряжения на стороне переменного тока	Медленное, изменением положения отпаек трансформатора	
Реверс	Изменение полярности напряжения	
Примыкающая сеть	$OK3 > 2 \times P_{ном}$ передачи	
Питание автономной нагрузки, «black start»	Нет	
Среднее значение потерь в преобразовательной подстанции при номинальной мощности	0, 85%	

ППТ с применением преобразователей напряжения

Вид преобразователя	Двухуровневый, трехуровневый	ММС
Напряжение	до ± 200 кВ	до ± 300 кВ (± 525 кВ – на стадии строительства)
Номинальная мощность	до 500 МВт	до 750 МВт
Длина линии	450 км (730 км – на стадии строительства)	
Площадь преобразовательной подстанции	180×115×24 м (500 МВт)	165×95×15 м (500 МВт)
Возможности по регулированию активной мощности	Непрерывное быстродействующее регулирование	
Потребление реактивной мощности	Может потреблять и выдавать реактивную мощность в заданном диапазоне	
Регулирование напряжения на стороне переменного тока	Быстрое регулирование, время регулирования <100 мс	
Реверс	Изменение направления тока	
Примыкающая сеть	ОКЗ < $1 \times P_{\text{ном}}$	
Питание автономной нагрузки, «black start»	Да	
Среднее значение потерь в преобразовательных подстанциях при номинальной мощности	1,4 – 2,2	0,98

2.10 Учитываемые факторы при выполнении экономической оценки ППТ и ВПТ

При выполнении экономических оценок электропередач постоянного тока на преобразователях тока основной экономический эффект будет получен за счет возможности передачи электроэнергии большой мощности на дальние расстояния при помощи воздушной ЛЭП ПТ. Эффект может быть получен за счет значительно меньшей стоимости воздушной ЛЭП ПТ по сравнению с ЛЭП переменного тока, а также за счет снижения потерь при передаче электроэнергии на **30-40%**. Эффект может быть получен за счет разницы тарифов на электроэнергию в соединяемых энергосистемах. При использовании кабельной линии экономический эффект будет получен за счет значительно более дешевой кабельной системы постоянного тока по сравнению с переменным, а также за счет снижения потерь при передаче электро-

энергии **более чем в 10 раз**. Также необходимо учитывать такие факторы как:

- Возможность быстрого регулирования активной мощности (эффект может быть выражен в уменьшении объема управляющих воздействий противоаварийной автоматики), повышение уровня устойчивости системы.
- Уменьшение нагрузки на окружающую среду (кабельная линия – минимум воздействия, нет территории санитарно-защитной зоны по сравнению с ВЛ переменного тока или ТЭЦ, у ВЛ постоянного тока ширина санитарно-защитной зоны **на 70% меньше**, чем для линии переменного тока при эквивалентной пропускной способности).

При выполнении экономических оценок электропередач постоянного тока на преобразователях напряжения основной экономический эффект будет получен за счет возможности передачи мощности по длинным подводным и подземным кабельным линиям. Эффект может быть получен за счет разницы тарифов на электроэнергию в соединяемых энергосистемах, за счет отказа от строительства новых электростанций на территориях, где это очень дорого или невозможно по экологическим соображениям, за счет значительно более дешевой кабельной системы постоянного тока по сравнению с переменным. Также необходимо учитывать такие факторы как:

- Возможность быстрого регулирования активной мощности (эффект может быть выражен в уменьшении объема управляющих воздействий противоаварийной автоматики).
- Возможность регулирования реактивной мощности (эффект выражается в отсутствии необходимости других средств компенсации, а также в возможности разгрузить сеть, увеличить ее пропускную способность и уменьшить потери).
- Возможность симметрирования напряжения по фазам (эффект заключается в уменьшении потерь электроэнергии, увеличении к.п.д. оборудования).
- Повышение уровня устойчивости энергосистемы.
- Снижение потерь в системе (например, при передаче электроэнергии к месту основного потребления, шунтируя сеть переменного тока, сокращении транзитного перетока).
- Возможность работы на сеть, не имеющей других источников энергии (автономную нагрузку), возможность «black start».
- Уменьшение нагрузки на окружающую среду (кабельная линия – минимум воздействия, нет территории санитарно-защитной зоны по сравнению с ВЛ переменного тока или ТЭЦ).

3. Актуальность развития технологий постоянного тока в ЕЭС России и технологически изолированных электроэнергетических системах России

Актуальность развития технологий постоянного тока высокого напряжения для отечественной электроэнергетики обусловлена как внутренними объективными условиями ее функционирования, особенностями ЕЭС России как крупнейшей электроэнергетической системы, а также особенностями работы технологически изолированных электроэнергетических систем России, так и внешними условиями, связанными с условиями функционирования сопредельных с Россией энергосистем зарубежных стран и государственных объединений.

Учитывая перечисленные характеристики объектов постоянного тока, перспективность их применения в ЕЭС России определяется такими объективными предпосылками, как:

- 1) большая протяженность территории страны;
- 2) удаленность объектов генерации и потребителей;
- 3) наличие крупных региональных объединений (ОЭС), связанных между собой сравнительно слабыми связями;
- 4) проблема ограничения токов короткого замыкания в мегаполисах;
- 5) проблема энергоснабжения нефтяных оффшорных платформ и территорий с доступом через водные преграды;
- 6) проблема подключения возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности, ветроэнергетических установок, к ЕЭС и к локальным энергосистемам.
- 7) значительный износ и старение существующего сетевого оборудования, условия эксплуатации которого не соответствуют современным нормам по ПУЭ-7;
- 8) проблема модернизация и развития ЕЭС с последовательным присоединением к ней объединенной энергосистемы Востока и ряда изолированных энергосистем;
- 9) большие потери при передаче электроэнергии в распределительных сетях.

Предпосылками к использованию техники постоянного тока для связи ЕЭС России с энергосистемами других государств являются:

- наличие избыточных энергоресурсов, обеспечивающих возможность создания значительного экспортного потенциала в электроэнергетической отрасли;
- значительные сложности объединения на переменном токе с крупными зарубежными энергообъединениями из-за различий в системах регулирования частоты и мощности, других систем автоматики, различий в системах оперативного управления, нормативной базы, рабочего языка и т.д.;
- большие расстояния, затрудняющие создание синхронных связей с энергосистемами стран, расположенных к югу от границ с Россией (энергообъединение Средне-Азиатских республик бывшего СССР, энергосистемы Китая, Кореи, Ирана, и др.);

- наличие водных преград (Япония);
- необходимость считаться с возможностью объединения пока небольших энергосистем азиатского региона в крупные энергопулы, что приведет к переходу связей между ними и ЕЭС России в категорию «слабых» и практически неработоспособных при использовании переменного тока, особенно в случае образования кольцевых структур;
- разные стандарты частоты (Северная Америка, Япония);
- сложности экономических взаиморасчетов при вовлечении в обменные перетоки мощности большого количества энергосистем других государств (связи с энергообъединениями Западной Европы через сети бывших республик СССР и Восточноевропейских государств, связи со странами Передней и Центральной Азии через сети энергосистем Закавказских и Средне-Азиатских республик бывшего СССР и т.д.).

4. Перечень актуальных тем научно-технических исследований и проектных разработок, направленных на реализацию программы развития ППТ и ВПТ в ЕЭС России

В качестве возможных первоочередных проектных и исследовательских работ для подготовки и реализации программы развития ППТ и ВПТ в ЕЭС России, можно рассматривать следующие.

4.1 Разработка общих технических решений по многоузловым вставкам постоянного тока для повышения качества управления режимами и снижения токов короткого замыкания в сетях мегаполисов

В настоящее время традиционным способом по поддержанию уровней токов короткого замыкания в допустимых пределах является секционирование сети, которое снижает надежности работы сети и ее управляемость. Применение ВПТ не только ограничивает подпитку токов короткого замыкания аварийного узла, но и дает возможность управлять перетоками мощности в энергосистеме.

Применение МВПТ более эффективно ограничивает токи короткого замыкания, повышает надежность, управляемость и связность сети. Экономический эффект работы состоит в снятии ограничений на развитие сетей мегаполиса, связанных с ограничением токов короткого замыкания, снижение затрат на замену выключателей, снижение числа разрывов в сети мегаполиса, в повышении управляемости сети.

Работа развивает технические идеи, предложенные ранее в рамках выполненных НИОКР:

- «Разработка рекомендаций по применению устройств FACTS для ограничения токов короткого замыкания в Московской энергосистеме», ОАО «НИИПТ», 2007 г;
- «Разработка стратегических направлений развития Московской энергосистемы с учетом роста уровня токов короткого замыкания» ОАО «Институт Энергосетьпроект», 2012 г.

4.2 Разработка и обоснование принципиальных технических решений по объектам постоянного тока для энергоснабжения изолированных энергосетям и районов Дальнего Востока

В качестве одной из отраслевых задач в Энергетической стратегии России на период до 2035 года предусмотрена модернизация и развитие ЭЭС с последовательным присоединением к ней объединенной энергосистемы Востока и ряда изолированных энергосистем (с учетом возможных технико-экономических последствий) при обеспечении эффективной надежности электроснабжения в сочетании с интеллектуализацией систем. При реализации этих проектов необходимо использовать все указанные в разделе 2 настоящего документа преимущества технологий постоянного тока.

4.3 Разработка и обоснование принципиальных технических решений по объектам постоянного тока для энергоснабжения островных и полуостровных территорий, автономных нагрузок и оффшорных платформ

В настоящее время обостряется проблема обеспечения надежного электроснабжения островных территорий, а также территорий, удаленных от центральных электрических сетей, не имеющих централизованного энергоснабжения. Дефицит электрической мощности тормозит развитие инфраструктуры этих районов. Традиционно энергоснабжение таких территорий осуществляется при помощи дизельных электроустановок. Недостатками таких установок являются низкий коэффициент полезного действия, высокая стоимость электроэнергии, существенная экологическая нагрузка на окружающую среду.

Обеспечение снабжения электроэнергией удаленных и островных территорий от единой электрической сети при помощи кабельной передачи постоянного тока позволит сократить суммарное потребление топлива на выработку электроэнергии (даже с учетом потерь в кабельной передаче), приведет к уменьшению выброса CO₂ в атмосферу, повысит надежность и понизит стоимость электроснабжения потребителей. Применение передач на преобразователях напряжения позволит решить проблему энергоснабжения автономного потребителя.

В связи с тем, что в настоящее время рассматриваются различные варианты повышения надежности электроснабжения удаленных районов Крайнего Севера и островных территорий, необходимо при принятии решений использовать преимущества энергоснабжения при помощи передач постоянного тока.

4.4 Разработка и обоснование принципиальных технических решений по объектам постоянного тока для присоединения ВИЭ к ЭЭС и к локальным энергосистемам

Энергетической стратегии России на период до 2035 года отмечается, что для сохранения конкурентоспособности российского ТЭК потребуются ускоренное освоение совокупности перспективных групп технологий, таких

как ВИЭ, водородная энергетика, накопители энергии и интеллектуальные сети.

Также отмечается, что перспективной областью применения ВИЭ в России являются изолированные и удаленные энергорайоны, а также резервирование системы электроснабжения особо ответственных потребителей (повышенной категории надежности).

С учетом изложенного задачами развития ВИЭ являются:

- ввод новых генерирующих мощностей, функционирующих на основе ВИЭ, при условии их экономической эффективности;
- развитие отечественной научно-технической базы и освоение передовых технологий в области использования ВИЭ, наращивание производства на территории Российской Федерации основного генерирующего и вспомогательного оборудования для ВИЭ.

Одним из способов подключения ВИЭ к ЕЭС и к локальным энергосистемам является использование преобразовательной техники, передач постоянного тока. Работа является актуальной для реализации положений энергетической стратегии России.

4.5 Разработка и исследование объектов постоянного тока на основе модульных многоуровневых преобразователей напряжения

Преобразователи напряжения (ПН) постоянного тока характеризуются независимым управлением активной и реактивной мощностью, способностью выдавать реактивную мощность, поддерживать постоянство напряжения на стороне переменного тока, возможностью энергоснабжения слабых энергосистем и пассивных нагрузок, уменьшенным размером фильтров высших гармоник на стороне переменного тока. Эти свойства позволяют использовать их для решения широкого спектра задач электроэнергетики. На сегодняшний день за рубежом проводятся исследования в области многоподстанционных передач на преобразователях напряжения, разработки методических основ и стандартов для проектирования сетей постоянного тока на основе ПН.

В прошедшем десятилетии компанией Siemens была предложена модульная многоуровневая структура для преобразователя напряжения, которая является перспективным направлением развития преобразователей напряжения. Модульные многоуровневые преобразователи напряжения (ММПН) находят все более широкое применение в электроэнергетике благодаря следующим преимуществам:

- модульность, заключающаяся в возможности использования недорогих стандартных низковольтных электронных компонентов, обеспечивающая максимальную экономическую эффективность;
- высокая надежность;
- низкий уровень гармонических искажений выходного напряжения благодаря высокой эквивалентной частоте модуляции (в некоторых случаях даже не требуется фильтров на стороне переменного тока);

-низкие потери (по некоторым данным КПД преобразователя оценивается на уровне 98.98%).

Благодаря перечисленным свойствам, являясь регулируемым элементом электропередач, ММПН повышают их управляемость, энергоэффективность, надежность электроснабжения потребителей.

Среди возможных сфер применения ММПН: ветроэлектрические установки, кабельные ППТ, многоподстанционные ППТ, сети постоянного тока, где ММПН может заменить традиционный трехуровневый преобразователь напряжения по технологии HVDC Light.

4.6 Разработка и обоснование принципиальных технических решений по объектам постоянного тока для экспортных электропередач

В качестве одной из отраслевых задач в Энергетической стратегии России на период до 2035 года предусмотрена интеграция электроэнергетики в Едином экономическом пространстве ЕАЭС и увеличение экспорта электрической энергии и мощности, прежде всего на востоке страны.

Российская Федерация активно реализует планы по расширению экспортных поставок электроэнергии за рубеж, в том числе в Западную Европу, Китай, Корею, Японию и другие страны.

Так, например, в 2012 г. Россия заключила долгосрочный контракт на поставку 100 млрд кВт·ч электроэнергии в КНР до 2036 года. Базой поставок станут как существующие электростанции Сибири и Дальнего Востока, так и планируемые к реализации проекты строительства новой генерации. В рамках реализации проекта «Строительство 4-й очереди Сахалинской ГРЭС-2» обсуждаются вопросы экспорта электроэнергии в Японию. Разрабатывается проект «Печенгский энергомоет», предусматривающий экспорт электроэнергии в Норвегию в объеме 200 МВт.

В Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2020 года с перспективой до 2030 года основное наращивание экспорта электроэнергии намечено в китайском направлении с использованием экспортных электропередач от Олонь-Шибирской ТЭС, Харанорской ТЭС-2 и Ерковецкой ТЭС.

В силу обстоятельств, указанных в разделе 2 настоящего документа, применение техники постоянного тока предпочтительно для связи ЕЭС России с энергосистемами других государств с целью реализации экспорта и импорта электроэнергии.

4.7 Разработка и обоснование принципиальных технических решений по объектам постоянного тока для электропередач ультравысокого напряжения

В Энергетической стратегии России на период до 2035 новые технические средства для эффективной передачи электроэнергии на дальние расстояния, включая перспективное электротехническое оборудование для ЛЭП переменного и постоянного тока на ультравысокие параметры отнесены к приоритетным технологиям и материалам.

В соответствии Генеральной схемой размещения объектов электроэнергетики на период до 2020 г. с учетом перспективы до 2030 г. в 2025 году планируется сооружение ППТ ± 750 кВ пропускной способностью 3000 МВт, протяженностью 1850 км для увеличения пропускной способности межсистемных сечений по направлению Урал – Средняя Волга – Центр и обеспечения режимных перетоков мощности. В период 2021-2030 гг. намечается сооружение ППТ ± 500 кВ Сибирь – Тюмень пропускной способностью 2000 МВт и протяженностью 900 км.

Также в Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики на период до 2020 г. с учетом перспективы до 2030 г. (скорректированная редакция 2010 года) в разделе «Основные проблемы функционирования и развития электроэнергетики» отмечается такая проблема как незавершенность формирования ЕЭС России. Отсутствие широтной передачи «Сибирь - Урал – Центр» с достаточной пропускной способностью не позволяет в полном объеме реализовывать межсистемные эффекты, в том числе привлекать свободную мощность сибирских ГЭС к регулированию графика нагрузки в Европе.

В разделе «Основные задачи и ключевые проблемы» указывается, что в период до 2015 г. должны быть освоены на стадии демонстрационных проектов и подготовлены к серийному внедрению на последующих этапах следующие технологии и оборудование, в частности, в электрических сетях:

- системообразующие сети постоянного тока и оснащённые устройствами векторного регулирования сети переменного тока;
- электрический транзит ультравысокого напряжения 1500 кВ (± 750 кВ) постоянного тока «Сибирь-Урал-Европейская часть России».

В Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2020 года с перспективой до 2030 года основное наращивание экспорта электроэнергии намечено в китайском направлении с использованием экспортных электропередач от Олонь-Шибирской ТЭС, Харанорской ТЭС-2 и Ерковецкой ТЭС. Все эти передачи предполагается выполнить на постоянном токе с использованием напряжения ± 800 кВ.

В связи с этим работы, связанные с разработкой и обоснованием принципиальных технических решений по объектам постоянного тока для электропередач ультравысокого напряжения являются актуальными.

5. Основные задачи создания ЛЭП постоянного тока в России

К настоящему времени быстро развивающиеся экономику страны (Китай, Индия, ЮАР) построили несколько мощных дальних ППТ ± 500 кВ (в Бразилии ± 600 кВ) и ± 800 кВ в Китае.

В России с её расстояниями необходимость ППТ такого класса напряжения также экономически выгодна.

Для создания современных ВЛ постоянного тока $\pm(300-800)$ кВ целесообразно объем работ, выполненный 30 лет назад при проектировании передачи постоянного тока ± 750 кВ Экибастуз–Центр, дополнить новыми экс-

периментальными исследованиями и испытаниями при постоянном напряжении. Основные направления таких исследований:

- Исследование электрической прочности больших воздушных промежутков при воздействии рабочего напряжения, коммутационных и грозовых импульсов с учетом реальных размеров и формы металлических конструкций опор, проводов, высоты подвеса проводов над землей и т.п.;
- Измерения на опытной воздушной линии напряженности электрического поля, ионных токов, потерь на корону, радио- и телевизионных помех, акустических шумов, концентрации озона и аэроионов с непрерывной регистрацией параметров;
- Сравнительные исследования разрядных характеристик современных типов линейных изоляторов (тарельчатых, длинностержневых фарфоровых и полимерных) при постоянном напряжении и искусственном загрязнении;
- Проведение исследований для обоснования грозозащиты ВЛ постоянного тока УВН;
- Разработка и экспериментальная проверка безопасных методов работы под напряжением на ВЛ постоянного тока.
- Экспериментальная проверка эффективности проведения профилактических мероприятий (обмыв, гидрофобизация) линейной и опорной изоляции при постоянном напряжении;
- Испытание электрической прочности основного электрооборудования и аппаратов для ВЛ ППТ (разъединители, вводы, ОПН и др.).

Основные технические решения для проектного задания по воздушным линиям электропередачи $\pm(300-800)$ кВ постоянного тока будут включать:

- предложения в нормы проектирования;
- выбор проводов и тросов;
- выбор изоляции и габаритов линии;
- выбор опор;
- разработку системы грозозащиты;
- оценку влияния ВЛ на окружающую среду и оптимизация конструкции ВЛ для выполнения требований по экологической безопасности;
- разработку безопасных методов работы под напряжением на ВЛ.

Созданный около 30 лет назад испытательный комплекс НИИПТ морально и физически устарел. На нем нельзя провести весь объем испытаний, требуемый для создания современных ВЛ постоянного тока (ряд установок отсутствует, а некоторые не обладают требуемыми характеристиками).

Высоковольтный испытательный полигон в Белом Расте (под Москвой) в настоящее время практически не существует. Поэтому в настоящее время создается новый многопрофильный Федеральный испытательный центр (ФИЦ) для решения научных задач, связанных с созданием ВЛ постоянного тока напряжением $\pm(300-800)$ кВ. ФИЦ включает: опытную воздушную линию, открытую испытательную площадку, испытательный зал, лабораторию для исследования загрязненной изоляции, испытательную площадку для ис-

следования электромагнитных факторов для ВЛ постоянного тока, лабораторию для испытания ограничителей перенапряжений и лабораторию для испытания изоляторов и т.п. Испытательный центр будет оснащен современными высоковольтными установками для исследования различных вопросов, связанных с разработкой ВЛ постоянного тока напряжением до ± 1000 кВ.

Для проектирования и эксплуатации ВЛ постоянного тока необходимо разработать пакет научно-технических документов (НТД):

- Воздушные линии электропередачи постоянного тока напряжением $\pm(300-800)$ кВ. Условия создания. Нормы и требования.
- Воздушные линии электропередачи постоянного тока напряжением $\pm(300-800)$ кВ. Организация эксплуатации и техническое обслуживание. Нормы и требования.

Кроме того, необходимо разработать НТД по основным конструктивным элементам ВЛ постоянного тока (выбор гирлянд изоляторов, выбор изоляционных воздушных промежутков на опоре и габарита до земли, выбор проводов и оценка влияния ВЛ на окружающую среду, выбор системы грозозащиты, выбор конструкций опор).

Опоры являются базовым элементов воздушных линий. Для ВЛ переменного тока существует унифицированные конструкции опор на различные классы напряжения и в большинстве случаев при проектировании не требуется большое количество времени, чтобы выбрать требуемые для данного класса напряжения и климатических условий опоры.

Для ВЛ постоянного тока разработанных и общепринятых конструкций опор в отечественных нормативно-технических документах нет. Следует учитывать, что на разработку, изготовление, испытание и приемку опор требуется значительное количество времени, которого может не быть, когда будет принято решение о проектировании передачи постоянного тока. Например, при разработке основных технических решений по ВЛ ± 300 кВ ЛАЭС-2–Выборгская ОАО «НИИПТ» разработал новую конструкцию промежуточной опоры с расстоянием между полюсами 12,5 м, однако в связи с тем, что на изготовление и испытание этой конструкции не было достаточно запаса времени, то в проекте была принята унифицированная промежуточная опора (разработанная для ВЛ переменного тока) с расстоянием между полюсами (крайними фазами) 24,4 м, т.е. в 2 раза больше чем у специально разработанной для ВЛ постоянного тока опоры.

Одним из основных направлений технической политики ОАО «Россети» при проектировании строительстве ВЛ является сокращение площади отвода земель под ВЛ в постоянного пользование, создание компактных ВЛ, применение конструкций ВЛ, обеспечивающих минимальную ширину просеки.

Энергетическая стратегия России на период до 2035 года (основные положения) в области развития энергетики предусматривает комплексную модернизацию Единой электроэнергетической системы, использование «умных сетей», к которым безусловно относятся и передачи постоянного тока.

Одной из актуальных задач при принятии решения о применении передачи электроэнергии с использованием ВЛ постоянного тока является оценка технико-экономических показателей таких ВЛ. Для оценки технико-экономических показателей ВЛ постоянного тока в первую очередь необходимо определить стоимость конструктивной части самой ВЛ. Для оценки стоимости таких элементов как промежуточные и анкерно-угловые опоры, фундаменты, требуется выполнить проектную проработку, так как для ВЛ постоянного тока отсутствуют стандартные решения по этим вопросам. С этой целью, прежде всего, необходимо выполнить разработку опор для ВЛ постоянного тока с учетом современных конструкционных материалов и эстетических требований.

Отдельного рассмотрения требует вопрос создания кабельных линий постоянного тока, которые в мировой практике находят применение, прежде всего, при пересечении водных преград. Для практического решения проблемы сооружения на территории РФ КЛ постоянного тока необходимо:

- создать производство кабелей постоянного тока;
- создать испытательную базу для аттестации кабельной продукции;
- разработать пакет нормативно-технических документов;
- провести аттестационные испытания кабельной продукции;
- создать оборудование для прокладки кабельных линий электропередачи, в том числе при пересечении водных преград;
- подготовить персонал для эксплуатации КЛ постоянного тока.

Создание на территории РФ ЛЭП постоянного тока требует комплексной проработки, включающей решение следующих основных вопросов:

- создание оборудования, учитывающего специфику его работы при постоянном напряжении;
- разработку нормативно-технических документов;
- создание экспериментальной базы;
- проведение комплексных исследований элементов ВЛ и решение вопросов проектирования современных объектов постоянного тока;
- решение вопросов эксплуатации современных объектов постоянного тока.

Заключение

1. В мировой электроэнергетике отмечается все более широкое применение ППТ и ВПТ: в разных странах эксплуатируются более 140 ППТ и ВПТ, с настоящего момента до 2020 года строится и запланировано к строительству более 80 объектов постоянного тока. Общая пропускная способность электропередач постоянного тока реализованных в течение ближайших 10 лет составит 250 ГВт.

2. Тенденция к активному использованию ППТ и ВПТ в мировой энергетике объясняется рядом их технико-экономических, технологических, экологических преимуществ по сравнению с ВЛ переменного тока и рядом специфических характеристик.

3. Все приведенные особенности и преимущества ППТ и ВПТ могут быть реализованы в условиях ЕЭС России. Перечислены объективные предпосылки развития объектов постоянного тока в ЕЭС России. Предпосылки развития технологий постоянного тока в России заложены в Энергетическую стратегию России на период до 2035 года.

4. Предложен перечень первоочередных проектных и исследовательских работ, направленных на реализацию программы развития ППТ и ВПТ в ЕЭС России.

5. Для развития на территории России ППТ необходимо организовать производство оборудования, создать проектные, строительные и эксплуатационные организации, разработать научно-технические документы и провести необходимые исследования и испытания оборудования и элементов ВЛ.