

ДАЛЬНИЕ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКА И ИХ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Бушуев В.В., докт. техн. наук
Красильникова Т.Г., канд. техн. наук
Самородов Г.И., докт. техн. наук

Дана характеристика традиционных и нетрадиционных дальних электропередач переменного тока, а также передач постоянного тока. Определена критическая длина линии, при которой экономия затрат в линию постоянного тока по сравнению с линиями переменного тока компенсирует более высокие затраты в преобразовательные подстанции. Проведен сопоставительный анализ схем выдачи мощности Эвенкинской ГЭС в Тюменскую энергосистему на переменном и постоянном токе. Рассмотрена перспектива формирования на базе электропередач переменного и постоянного тока трансконтинентальной электрической сети для создания ЕЭС на Евразийском континенте.

Ключевые слова: дальние линии электропередачи; постоянный ток; переменный ток; сравнительный анализ

Общая характеристика дальних электропередач переменного и постоянного тока. Формирование Единых национальных энергосистем в мире происходит на базе мощных дальних электропередач (ДЭП) сверхвысокого напряжения (СВН), образующих в совокупности основную электрическую сеть, на которую возлагается задача обеспечения экономичного и надежного функционирования всего энергообъединения.

Используемые в настоящее время в мире и рекомендуемые к применению ДЭП подразделяются

Traditional and alternative extensive power transmission lines of alternating and direct current are characterized. Line critical length, up to which the saving of direct current versus alternating current compensates higher investment in converting substations, is found. Comparative analysis of schemes of Evenki hydroelectric power plant power output to Tyumen power supply system based on alternating and direct current is carried out. A prospect of development of transcontinental grid for United Energy System in Euro-Asian continent on the basis of electricity transmissions alternating and direct current is considered.

Keywords: extensive power transmission lines; direct current; alternating current; comparative analysis

(рис.1) на 3-фазные ЭП (ТЭП) и нетрадиционные ЭП переменного тока, а также передачи постоянного тока (ППТ). ДЭП включают в свой состав в общем случае три структурных элемента: подстанции (ПС), воздушные линии (ВЛ) и устройства реактивной мощности (УРМ).

Совершенствование ДЭП связано с повышением таких показателей, как пропускная способность, экономическая эффективность, надежность, управляемость, ремонтпригодность и снижение экологического влияния.

Радикальным решением для повышения пропускной способности ДЭП является использование сверхвысоких (до 1000 кВ) и ультравысоких (свыше 1000 кВ) напряжений. Создание в последней четверти прошлого века в бывшем СССР ТЭП 1150 кВ Сибирь – Казахстан – Урал, к сожалению, закончилось переводом ее на работу при напряжении 500 кВ, на котором она работает до сих пор. Передовые позиции в освоении ТЭП в ультравысоком диапазоне в настоящее время занимает Китай, где в 2009 году была пущена в эксплуатацию ТЭП Северный – Центральный Китая напряжением 1000 кВ.

Повысить показатели ДЭП можно путем нововведений в отдельные ее элементы и путем разработки новых типов ЭП.



Рис. 1. Классификация дальних электропередач

Инновации в области трехфазных электропередач. В последние десятилетия заметный научно-технический прогресс наблюдался в области разработки компактных ВЛ [1, 2]. Более рациональная конструкция позволяет увеличить натуральную мощность компактной ВЛ на 40-50% по сравнению с обычной ВЛ. Однако низкий уровень надежности 3-фазных ВЛ, которые отключаются полностью при наиболее вероятных однофазных повреждениях, делает проблематичным использование одноцепных компактных ВЛ, имеющих повышенную пропускную способность.

Радикальным путем решения проблемы надежности является применение одноцепных ВЛ с резервной фазой линии (РФЛ) [3], что существенно повышает надежность схемы, улучшает ремонтно-пригодность линейной части схемы за счет возможности проведения пофазных ремонтов и снижает вредное экологическое влияние.

Необходимо отметить большой прогресс в продвижении управляемых ЭП переменного тока [4], известных за рубежом как FACTS. Структурным элементом таких ЭП, изменяющим их свойства и показатели, являются регулируемые УРМ различного типа. Создание ТЭП с использованием регулируемых УРМ является прогрессивным направлением в области дальней передачи электроэнергии.

Передачи постоянного тока. Повышенная надежность и управляемость ППТ по сравнению с обычными ТЭП поставила их в ряд рекомендуемых вариантов, когда речь идет о передаче значительных потоков мощности на дальние расстояния. В ППТ применяется 12-фазная схема выпрямления, представляющая преобразовательный блок, являющийся самостоятельным элементом преобразовательной ПС (ППС). Каждый полюс ППТ может состоять из одного или двух параллельно включенных преобразовательных блоков.

К основным достоинствам ППТ, помимо упрощения конструкции линии, относятся хорошая управляемость и повышенная надежность за счет возможности работы в униполярном режиме. Недостатками ППТ являются сложность и значительная капиталоемкость ППС, а также проблематичность осуществления отбора мощности. Все созданные и проектируемые ППТ рассчитаны на передачу мощности между двумя подстанциями [5].

В отечественной литературе имеются противоречивые данные по стоимости ППС. Рабочей груп-

пой СИГРЭ 14.20 в 2001 г. выпущен доклад [6], на основании которого в табл.1 приведены стоимостные показатели ППС.

Нетрадиционные электропередачи переменного тока. К нетрадиционным ЭП, предложенным в последние десятилетия, относятся 6-фазные ЭП (ШЭП), ЭП с управляемыми самокомпенсирующимися ВЛ (УСВЛ) и 4-фазные ЭП (ЧЭП).

Шестифазные электропередачи. Рассмотрение двухцепных ВЛ навело американских специалистов на идею о создании ШЭП [7]. Суть идеи состоит в том, что вместо двух 3-фазных систем с фазовым сдвигом 120° создается 6-фазная система с фазовым сдвигом 60° . Для получения 6-фазной системы требуются фазопреобразующие трансформаторы для преобразования 3-фазной системы переменного тока в 6-фазную и обратно. Компактная конструкция 6-фазной линии повышает ее натуральную мощность на одну цепь на 40-50% по сравнению с обычной 3-фазной ВЛ. Слабой стороной ШЭП является ее пониженная надежность по сравнению с двухцепной ЭП с 3-фазными ВЛ на разных опорах. Поэтому применение ШЭП СВН является проблематичным.

Электропередачи с управляемыми самокомпенсирующимися ВЛ. УСВЛ, подобно рассмотренной выше 6-фазной ВЛ, является еще одной модификацией двухцепной 3-фазной линии [8]. Физическая сущность таких линий состоит в том, что у них сближены между собой фазы разных цепей на расстоянии, минимально допустимые по электрической прочности воздушных промежутков фаза-фаза. Фазы в пролетах фиксируются друг относительно друга с помощью изоляционных стяжек. Между напряжениями разных цепей создается фазовый сдвиг, что требует разработки фазорегулирующих трансформаторов с большим диапазоном регулирования. Натуральная мощность УСВЛ на одну цепь при угле сдвига 180° увеличивается на 50-70% по сравнению с обычной линией. Слабой стороной ЭП с УСВЛ является ее пониженная надежность по сравнению с двухцепной ЭП с 3-фазными ВЛ на разных опорах.

Четырехфазные электропередачи. Анализ различных типов ЭП (ТЭП с компактными линиями, ШЭП, ЭП с УСВЛ, ППТ) позволяет сделать общий вывод о том, что во всех рассмотренных решениях два важнейших показателя (экономическая эффективность и надежность) находятся в противоречивом соотношении: увеличение экономичности варианта на переменном токе приводит к снижению его надежности, а повышение надежности ППТ снижает ее экономичность. ЧЭП представляет удачное решение [9], которое приводит в согласие категории экономической эффективности и надежности, т.е. повышение экономичности варианта сопровождается повышением его надежности.

В основе ЧЭП лежит 4-фазная уравновешенная симметричная система переменного тока с

Таблица 1
Стоимость ППС (в ценах 2000 г., на оба конца)

Напряжение, кВ	Мощность, МВт	Удельная стоимость, долл./кВт	
		Один преобразовательный блок на полюс	Два в параллель преобразовательных блока на полюс
±500	1000	170	200
	2000	145	175
	3000	135	160
±600	3000	150	180

фазовым сдвигом 90° . Основные отличительные особенности ЧЭП состоят в том, что она снабжена фазопреобразующими трансформаторами для преобразования 3-фазной системы в 4-фазную и обратно; фазы 4-фазной ВЛ образуют две независимые симметричные 2-фазные системы, в каждой из которых токи и напряжения находятся в противофазе, что повышает натуральную мощность линии и снижает экологическое влияние; при возникновении наиболее вероятных однофазных повреждений на линии и для проведения пофазных ремонтов линии предусматривается перевод ЧЭП на 3-фазный режим работы с передачей не менее 75% номинальной мощности.

Фазопреобразующие трансформаторы, которые одновременно осуществляют повышение напряжения на линии до экономически необходимого уровня, являются новым оборудованием для ЧЭП. Все остальное оборудование в силу однофазного исполнения идентично для 3-фазных и 4-фазных ЭП и отличается лишь количеством фазных элементов. В настоящее время разработаны схемы фазопреобразующих трансформаторов, предусматривающие переход от 4-фазного к 3-фазному режиму работы, и предложены конструкции 4-фазных ВЛ, позволяющие увеличить ее натуральную мощность на 50 - 100% по сравнению с обычной 3-фазной линией.

Критическая длина, определяющая равноэкономичность ППТ и электропередач переменного тока. Поскольку ППТ могут работать в униполярном режиме, то при технико-экономических сопоставлениях одноцепные ППТ сравниваются как минимум с двухцепными ТЭП. Однако при ориентации на ТЭП с РФЛ и на ЧЭП, для которых проблема надежности решена кардинальным образом, их при сопоставлении следует рассматривать в одноцепном исполнении. Наиболее общим критерием равноэкономичности ППТ и ЭП переменного тока является равенство удельных приведенных затрат на единицу полезно переданной энергии. В том случае, когда варианты характеризуются равенством годовых потерь электроэнергии, критерием может служить равенство капиталовложений.

При сравнении ЭП на постоянном и переменном токе используется понятие критической длины линии, при которой экономия затрат в линию постоянного тока по сравнению с линией переменного тока компенсирует более высокие затраты в преобразовательные подстанции. Из равенства капиталовложений в сравниваемые варианты вытекает выражение для критической длины линии

$$L_{кр} = \frac{(1 - \xi_{ПС}) P_{ЭП}}{\alpha \xi (\xi_{ВЛ} - 1) + \xi_{УРМ} \beta P_w},$$

где $\xi_{ВЛ} = \bar{K}_{ВЛ} / \bar{K}_{ВЛ}$, $\xi_{ПС} = \bar{K}_{ПС} / \bar{K}_{ПС}$ – соотношение удельных стоимостей для ВЛ постоянного и переменного тока и для ПС; $\xi_{УРМ} = \bar{K}_{УРМ} / \bar{K}_{ПС}$ – соотношение удельных стоимостей УРМ и ПС постоянного тока;

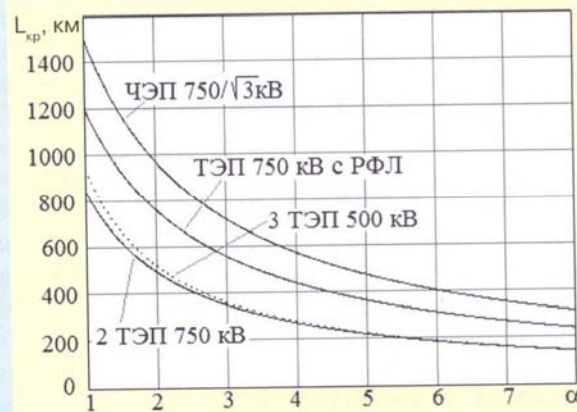


Рис.2. Критическая длина линии для ППТ ± 500 кВ, 3000 МВт

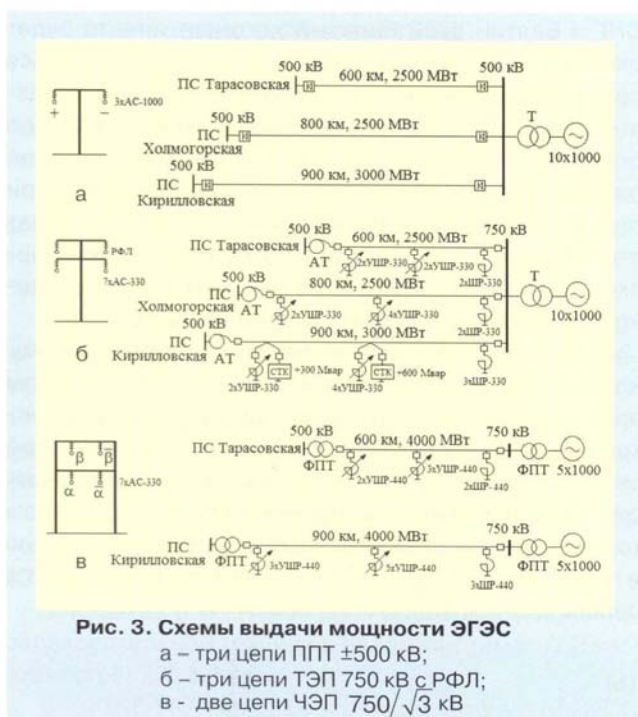
$\xi = \bar{K}_{ВЛ} / \bar{K}_{ПС}$ – стоимостный параметр для ППТ; $P_{ЭП}$ – пропускная способность ЭП; P_w – натуральная мощность линии; β – коэффициент фазы линии, равный $1,08 \cdot 10^{-3}$ рад/км при частоте 50 Гц; α – стоимостный коэффициент линии, учитывающий изменение стоимости ВЛ в различных регионах мира по отношению к некоторой базисной величине

Проведем анализ критической длины применительно к типовой ППТ напряжением ± 500 кВ и пропускной способностью 3000 МВт. В качестве ДЭП на переменном токе рассматривались 3-цепная ТЭП 500 кВ, 2-цепная ТЭП 750 кВ, ТЭП 750 кВ с РФЛ и ЧЭП $750/\sqrt{3}$ кВ. На рис. 2 приведены зависимости критической длины от стоимостного коэффициента линии. Для российских условий $\alpha = 1$, а для условий Западной Европы $\alpha \geq 5$.

Как видно из рис. 2, использование продвинутых ЭП переменного тока (ТЭП с РФЛ, ЧЭП) сужает область использования ППТ для дальнего транспорта электроэнергии. Следует заметить, что при рассмотрении проблемы транспорта на сверхдальние расстояния (2500-3500 км) ППТ предпочтительнее компенсированных ЭП, но уступают по экономической эффективности полуволновым ЭП, для работы которых не требуется УРМ [10].

Сопоставительный анализ схем выдачи мощности Эвенкийской ГЭС в Тюменскую энергосистему. Проведем сравнительный анализ схем выдачи мощности Эвенкийской ГЭС (ЭГЭС), создание которой рассматривается в перспективе с установленной мощностью 10 ГВт и располагаемой мощностью 8 ГВт. При среднемноголетней выработке 46,5 млрд кВт·ч число часов использования располагаемой мощности составит 5800.

Московским Энергосетьпроектом была выполнена работа, в которой, в частности, рассматривались варианты выдачи 8000 МВт в три узла Тюменской энергосистемы на постоянном и переменном токе. Вариант постоянного тока (рис. 3,а) включает в свой состав три ППТ ± 500 кВ и передаваемой мощностью соответственно 2500, 2500 и 3000 МВт.



В качестве альтернативного варианта принималась схема на переменном токе, включающая 6-8 цепей на напряжении 500 кВ. Вариант переменного тока с экономических позиций оказался предпочтительнее варианта на постоянном токе, требуя капитальных затрат примерно на 20% меньше. Однако с экологических позиций многоцепной вариант на напряжении 500 кВ уступает варианту на постоянном токе.

Известно, что при рассматриваемой мощности и дальности ее передачи наиболее эффективно использовать ТЭП 750 кВ [11]. В этом случае можно было бы ограничиться тремя цепями. Слабость такого варианта состоит в более низкой надежности по сравнению с вариантом ППТ. Этот недостаток устраняется в варианте ТЭП 750 кВ с РФЛ (рис. 3, б). Радикальное улучшение экономических и экологических характеристик схемы выдачи мощности ЭГЭС при высоком уровне надежности дает использование двух цепей ЧЭП $750/\sqrt{3}$ кВ (рис. 3, в).

Как следует из проведенных расчетов (табл. 2), вариант на переменном токе с использованием трех цепей ТЭП 750 кВ с РФЛ имеет капитальные затраты примерно на треть меньше. Еще более впечатляющими показателями обладает вариант с двумя цепями ЧЭП $750/\sqrt{3}$ кВ, который характеризуется напо-

ловину меньшими капиталовложениями по сравнению с вариантом ППТ.

Варианты на переменном токе, кроме превосходства в экономической части, обладают и более высокой надежностью. Когда говорят о надежности ППТ, то обычно акцентируют внимание на ее способности работать по униполярной схеме. В тени остается вопрос о параметре потока отказов, который для полюса с одним преобразовательным блоком составляет не менее 3 отк/год. Тогда вся схема, состоящая из трех ППТ, будет характеризоваться потоком отказов отдельного полюса, равным 36 отк/год. Параметр потока отказов, связанный с однополюсными повреждениями на линии, оценивается для всей схемы выдачи величиной, почти на порядок меньшей. Что касается вариантов на переменном токе, то параметр потока отказов определяется в основном однофазными повреждениями на линии, последствия которых полностью исключаются в схеме выдачи с РФЛ. В варианте с ЧЭП осуществляется переход на 3-фазный режим работы с соответствующим снижением передаваемой мощности.

Значительная аварийность ППС приводит к заметному снижению надежности схемы выдачи мощности ЭГЭС на постоянном токе. Для обеспечения равной балансовой надежности в вариантах переменного и постоянного тока для последнего варианта должен быть предусмотрен в ОЭС Урала дополнительный резерв мощности, который оценивается в 150 МВт. При оценке режимной надежности следует иметь в виду, что аварийные отказы элементов в схеме выдачи мощности ЭГЭС приводят к возникновению дефицитов мощности в Тюменской энергосистеме, что с некоторой (малой) вероятностью может инициировать нарушение электроснабжения. Проведенная оценка показывает, что для варианта с ППТ вероятность нарушения электроснабжения примерно в 5 раз выше, чем в вариантах на переменном токе. Для того, чтобы выровнять показатели надежности схем выдачи мощности ЭГЭС на постоянном и переменном токе, необходимо комплектовать полюса подстанций из двух параллельных блоков, что увеличивает стоимость ППС на 20% (см. табл. 2).

Трансконтинентальная электрическая сеть для создания ЕЭС Евразийского континента. Проблемы энергетической кооперации на Евразийском континенте становятся все более актуальными. Создание ЕЭС Евразийского континента будет способствовать снижению стоимости электроэнергии для потребителей, повысит надежность электроснабжения, а также облегчит решение экологических проблем. Объединение энергосистем на Евразийском континенте станет технологической основой для более тесного взаимовыгодного сотрудничества стран этого региона мира.

На рис. 4 приведена схема будущей ЕЭС Евразийского континента, включающая в свой состав национальные энергосистемы (НЭС) Японии, Китая, Индии, ЕЭС Среднеазиатских стран, а также Восточ-

Таблица 2
Технико-экономические показатели схем выдачи мощности ЭГЭС (в ценах 2010 г.).

Показатели	Варианты		
	3 цепи ППТ ± 500 кВ	3 цепи ТЭП 750 кВ с РФЛ	2 цепи ЧЭП $750/\sqrt{3}$ кВ
КПД по энергии, %	95,6	95,8	95,6
Капитальные затраты	млрд руб.	234	156
	%	100	66,7
			50,4



ную (ЕЭС/ОЭС), Западную (UCTE) и Северную (NORDEL) синхронные зоны. Восточная синхронная зона является наибольшей по охвату территории и включает в свой состав НЭС России и ОЭС других стран

СНГ и Балтии. ЕЭС Евразийского континента будет охватывать 10 часовых поясов и характеризоваться сезонными различиями в электропотреблении разных стран, что создает уникальные возможности по реализации межсистемного эффекта от совместной работы такого глобального энергообъединения. При этом НЭС России, учитывая ее ресурсный и инфраструктурный потенциал и занимаемое географическое положение, будет являться центральным звеном трансконтинентального энергообъединения.

Для осуществления оптимального обмена мощностью и электроэнергией на всем Евразийском пространстве должна быть сформирована трансконтинентальная электрическая сеть. В основе этой сети будут лежать ДЭП сверхвысокого и ультравысокого напряжения на переменном и постоянном токе, что позволит обеспечить экономичную, гибкую и надежную работу ЕЭС Евразийского континента в целом.

ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ различных типов дальних электропередач показал, что во всех рассмотренных решениях, исключая 4-фазные электропередачи (ЧЭП), два важнейших показателя – экономическая эффективность и надежность – находятся в противоречивом соотношении: увеличение экономической эффективности вариантов на переменном токе сопровождается снижением их надежности, и повышение надежности вариантов на постоянном токе приводит к снижению их экономичности. Для ЧЭП категории экономической эффективности и надежности находятся в согласии, т.е. повышение экономичности варианта сопровождается повышением его надежности.

2. Так называемая критическая длина линии, при которой экономия затрат в линию постоянного тока компенсирует более высокие затраты в преобразовательные подстанции, составляет для российских условий при использовании обычных 3-фазных электропередач 800-900 км. При ориентации на продвинутое электропередачи переменного тока (3-фазные ЭП с резервной фазой линии, ЧЭП) критическая длина линии увеличивается до 1200-1500 км.

3. Сравнительный анализ схем выдачи 8000 МВт Эвенкийской ГЭС в три узла Тюменской энергосистемы на постоянном и переменном токе показал:

- Три цепи ППТ ± 500 кВ в экономическом плане уступают схеме выдачи на переменном токе, включающей 6-8 цепей 500 кВ и требующей капитальных затрат на 20% меньше. Однако с экологических позиций многоцепный вариант на переменном токе при напряжении 500 кВ уступает варианту на постоянном токе.
- Более эффективным с экологической и экономической позиций на переменном токе является переход на напряжение 750 кВ с ис-

пользованием трех цепей. Уровень надежности, превышающий таковой в варианте постоянного тока, обеспечивается за счет использования линий с резервной фазой. Данный вариант требует капиталовложений на треть меньше, чем схема на постоянном токе.

- Радикальное улучшение экономических и экологических характеристик схемы выдачи мощности Эвенкийской ГЭС при высоком уровне надежности дает использование двух цепей ЧЭП напряжением $750/\sqrt{3}$ кВ, что снижает капитальные затраты наполовину по сравнению с вариантом на постоянном токе.

- Варианты на переменном токе, помимо превосходства в экономической части, обладают и более высокой надежностью, что в значительной степени объясняется высокой аварийностью преобразовательных подстанций ± 500 кВ, полюса которых состоят из одного преобразовательного блока. Для того, чтобы выровнять показатели надежности схем выдачи мощности Эвенкийской ГЭС на постоянном и переменном токе, необходимо комплектовать полюса подстанций из двух параллельных блоков, что увеличивает стоимость подстанций на 20%.

4. Дальние электропередачи сверхвысокого и ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока позволяют в перспективе сформировать трансконтинентальную электрическую сеть для создания ЕЭС на Евразийском континенте, включающую в свой состав энергосистемы Японии, Китая, Индии, России и Европейского Союза и обеспечивающую оптимальный обмен мощностью и электроэнергией на всем 10-часовом пояском пространстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Г.Н. Воздушные линии электропередачи повышенной натуральной мощности // Электричество. 1981. № 7.

2. Лысков Ю.И., Курносоев А.И., Тиходеев Н.Н. Компактные линии электропередачи 330 - 750 кВ с опорами "охватывающего" типа // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1984. № 4.

3. Самородов Г.И., Красильникова Т.Г., Зильберман С.М., Яценко Р.А. Нетрадиционные электропередачи переменного тока повышенной надежности для передачи электроэнергии на дальние и сверхдальние расстояния // Энергетическая политика. 2003. Вып. 1.

4. Horowitz S.H., Phadke A.G. and Renz B.A. The Future of Power Transmission//IEEE Power and Energy, 2010, volume 8, № 2.

5. Худяков В.В. Новая роль высоковольтной преобразовательной техники в энергосистемах // Электричество. 2009. № 9.

6. CIGRE WG 14.20. Economic Assessment of HVDC Links, 2001, 71pp.

7. Stewart J.R., Grant I.S. High Phase Order - Ready for Application. IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-101, No.6, 1982.

8. Постолатий В.М., Быкова Е.В. Эффективность применения управляемых самокомпенсирующихся

высоковольтных линий электропередачи и фазорегулирующих устройств трансформаторного типа // Электричество. 2010. № 2.

9. Самородов Г.И. Четырехфазные электропередачи // Изв. РАН «Энергетика». 1995. № 6.

10. Бушуев В.В., Самородов Г.И., Путилова А.Т. Сверхдальние электропередачи полуволнового типа // Изв. РАН «Энергетика». 1995. № 6.

11. Справочник по проектированию электроэнергетических сетей; под. ред. Д.Л. Файбисовича. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2009.

Бушуев Виталий Васильевич – докт. техн. наук, профессор, Генеральный директор Института энергетических стратегий (ГУ ИЭС)
(495) 6985234 ies2@umail.ru

Красильникова Татьяна Германовна - канд. техн. наук, доцент, Новосибирский государственный технический университет
+7 (913) 0112266 tatka552005@yandex.ru

Самородов Герман Иванович - докт. техн. наук, профессор, научный руководитель отдела новых технологий, ОАО «НТЦ Электроэнергетики» - СибНИИ
(383) 2034918 +7 (960) 7831688
german-samorodov@yandex.ru



ТРАВЭК

Международная Ассоциация
производителей высоковольтного
электротехнического оборудования

XIII Международная научно-техническая конференция

«Силовые и распределительные трансформаторы, реакторы. Системы диагностики»

19 - 20 июня 2012 г.

Место проведения:
гостиница «Холидей Инн Сокольники» г. Москва

Конференция проводится при поддержке Российской академии наук, Академии электротехнических наук РФ, Министерства энергетики РФ, ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «Холдинг МРСК».

В конференции примут участие представители основных компаний-потребителей высоковольтного электротехнического оборудования, представители научно-исследовательских и проектных организаций, вузов, ведущих предприятий-изготовителей электроэнергетического оборудования из России, СНГ и зарубежных стран.

Оргкомитет
конференции

Адрес: 107023, г. Москва, Электрозаводская ул., 21
Тел./факс: +7 (495) 777-82-85, 777-82-00 (доб. 27-93, 26-43)
E-mail: travek@elektrozavod.ru, www.travek.elektrozavod.ru