



**Некоммерческое партнерство  
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ  
Единой энергетической системы»**

109044 г.Москва, Воронцовский пер., дом 2  
Тел. (495) 912-1078, 912-5799, факс (495) 632-7285  
E-mail: [dtv@nts-ees.ru](mailto:dtv@nts-ees.ru), <http://www.nts-ees.ru/>  
ИНН 7717150757

**УТВЕРЖДАЮ**

Председатель Научно-технической  
коллегии НП «НТС ЕЭС»,  
член-корреспондент РАН,  
д.т.н., профессор

**А.Ф. Дьяков**

**«26» мая 2015 г.**

**Протокол**

заседания секции «Электротехническое оборудование» НП «НТС ЕЭС» по  
теме: «О возможности применения компактных управляемых линий  
электропередачи переменного тока на объектах единой национальной  
электрической сети»

г. Москва

№ 2

18.05.2015

**Присутствовали:**

**От ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»:**

Дементьев Ю.А. – заместитель генерального директора – главный  
инженер;

Шакарян Ю.Г. – научный руководитель, председатель секции  
«Электротехническое оборудование» НП «НТС ЕЭС»;

Тимашева Л.В. – начальник Центра электротехнического  
оборудования;

Хренников А.Ю. – начальник отдела научно-технической информации,  
ученый секретарь секции «Электротехническое  
оборудование» НП «НТС ЕЭС»;

**От ОАО «ФСК ЕЭС»:**

Дикой В.П. – заместитель Председателя Правления – главный  
инженер;

Епифанов А.М. – заместитель главного инженера по эксплуатации  
основного оборудования;

Пелымский В.Л. – заместитель главного инженера – главный  
диспетчер;

Агапкин К.А. – начальник Департамента оперативно-технологического  
управления;

Загоскин Р.И. – начальник Департамента подстанций;

Калиновский И.Н. – начальник Департамента воздушных линий;

Шамонов Р.Г. – заместитель начальника Департамента оперативно-

технологического управления;  
Левандовский А.В. – начальник отдела оперативно-технологических систем Департамента оперативно-технологического управления;  
Лянзберг А.В. – начальник отдела электрических режимов Департамента оперативно-технологического управления;  
Горюшин Ю.А. – главный эксперт Департамента инновационного развития;  
Кривцов А.Н. – главный эксперт Департамента подстанций;  
Пугаченко З.Е. – главный эксперт Департамента подстанций;  
Першин В.О. – ведущий эксперт Департамента подстанций

**СЛУШАЛИ:**

Информацию Шакаряна Ю.Г. и Тимашовой Л.В. об итогах выполнения ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» совместно с Институтом энергетики Академии наук Молдовы НИОКР по заказу ОАО «ФСК ЕЭС» «Исследование обоснования применения в ЕЭС линий электропередачи повышенной пропускной способности в сочетании с устройствами FACTS» (договор №И-11-6/09 от 26.03.2009.

С докладом «**О возможности применения компактных управляемых линий электропередачи переменного тока на объектах единой национальной электрической сети**» выступил начальник лаборатории Института энергетики Молдавской Академии наук В.М. Постолатий.

В докладе отмечены следующие основные вопросы:

В настоящее время в странах СНГ и за рубежом ведутся интенсивные работы по модернизации электроэнергетических систем и поиску новых технологий для решения задач дальнейшего повышения эффективности энергосистем, улучшения экологических показателей, снижения затрат на строительство и эксплуатацию электросетевых объектов, повышения надежности энергоснабжения и энергетической безопасности.

На современном этапе и с учетом перспектив развития электроэнергетических систем все более актуальными становятся вопросы создания новых эффективных средств транспорта, распределения электроэнергии и управления режимами энергосистем.

Следует выделить три главные проблемы:

- повышение пропускной способности и управляемости магистральных и распределительных линий электропередачи и систем в целом;
- повышение экономических показателей электроэнергетических систем;
- уменьшение отчуждаемых площадей под строительство линий электропередачи и выполнение всех требований по ограничению экологического влияния ВЛ и энергетического оборудования.

Для решения этих проблем целесообразным представляется развитие существующих электрических сетей 220–500 кВ на базе современных

технических решений, как в области конструкций линий электропередачи, так и силового и регулирующего оборудования и систем управления, реализующих идеи активно-адаптивных электрических сетей.

В мировой практике нашли применение ВЛ с уменьшенными расстояниями между фазами (компактные линии) в одноцепном и многоцепном исполнении, а также с расположением на одной опоре цепей различных классов напряжения.

Создание компактных ВЛ, оснащенных устройствами FACTS, в том числе средствами фазового управления и продольно-поперечной компенсации – компактных управляемых ВЛ – является одним из наиболее эффективных средств транспорта электроэнергии. Компактные ВЛ, с улучшенными по сравнению с ВЛ традиционной конструкции технико-экономическими показателями, позволяют снизить затраты на транспорт электрической энергии в расчете на единицу передаваемой мощности за счет повышения пропускной способности электрической сети, эффективного использования устройств регулирования, сокращения площадей отчуждаемых земель.

Компактные ВЛ обеспечивают возможность регулирования электрических параметров линий за счёт изменения параметров электромагнитного поля в междуфазном и окружающем линию пространстве. Усиление электромагнитного поля внутри линии путём сближения фаз позволяет увеличить пропускную способность и улучшить электрические и технические параметры ВЛ. Ослабление электромагнитного поля во внешнем пространстве приводит к улучшению экологической обстановки вдоль трассы ВЛ. Электрические параметры компактных ВЛ при работе в нормальных симметричных режимах сохраняются неизменными. Выравнивание электрических параметров фаз цепей осуществляется за счёт транспозиции фаз внутри каждой цепи.

Применение на компактных ВЛ различных устройств поперечной или продольной компенсации приводит к изменению эквивалентных параметров электропередачи в целом, собственные параметры линии (индуктивное сопротивление, ёмкостная проводимость, волновое сопротивление) не изменяются.

Компактные двухцепные ВЛ могут быть выполнены таким образом, чтобы осуществлялось не только внешнее регулирование параметров, но и внутреннее регулирование параметров линии в целом (самокомпенсация эквивалентных параметров), что достигается путем изменения взаимного электромагнитного влияния сближенных цепей. Линии электропередачи, обладающие такими свойствами, получили название управляемых самокомпенсирующихся воздушных линий (УСВЛ).

При угловом сдвиге  $\theta = 0^\circ$  УСВЛ обладает минимальной пропускной способностью, а при  $\theta = 120^\circ$  ( $180^\circ$ ) – максимальной, которая превышает пропускную способность ВЛ традиционной конструкции того же класса напряжения в диапазоне 1,3–1,6 раза.

Компактные управляемые ВЛ по сравнению с ВЛ традиционной конструкции обеспечивают:

- увеличение пропускной способности в 1,2–1,6 раза;
- снижение суммарных затрат на 10–20% в расчете на единицу передаваемой мощности;
- осуществление в энергосистемах принудительного перераспределения потоков активной и реактивной мощности;
- повышение эффективности использования устройств регулирования реактивной мощности;
- уменьшение суммарной мощности и стоимости устройств регулирования реактивной мощности и напряжения;
- снижение суммарных потерь электроэнергии в энергосистеме;
- повышение механической устойчивости ВЛ при воздействии неблагоприятных атмосферных факторов;
- сокращение при передаче одинаковой мощности в 1,5–2 раза площади земельных угодий, отчуждаемых под воздушные линии;
- обеспечение управления величиной и направлением потоков мощности в электрических сетях.

Создание компактных ВЛ должно обеспечить экономическую и надежную передачу электрической энергии заданной мощности, как между системами, так и внутри энергосистем. Применение компактных линий электропередачи способствуют выполнению требований Федерального Закона РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...».

При необходимости отключения фазы одной из цепей УСВЛ в режиме  $\theta=120^\circ$ , ряд работ может быть выполнен без отключения второй фазы, но большинство работ требуют отключения пары сближенных фаз, принадлежащих разным цепям. При этом оставшиеся под напряжением две пары фаз обеспечат четырехфазный режим УСВЛ. Выполнение ремонтных работ на отключённой паре фаз может проводиться аналогично работам на отключенной ВЛ при соблюдении соответствующих мер безопасности, так как остальные 4 фазы УСВЛ будут под напряжением.

Преимущества УСВЛ при выполнении ремонтных работ под напряжением необходимо принимать во внимание при технико-экономических обоснованиях выбора того или иного типа ВЛ.

Применение ФПУ (ФРТ) на УСВЛ совместно с другими устройствами FACTS обеспечивает заданные параметры ВЛ, высокую управляемость электрических сетей и позволяет достичь существенной экономии капитальных и эксплуатационных затрат по энергосистеме в целом по сравнению с вариантами традиционных решений.

В заключение следует отметить, что выполненные к настоящему времени технические и проектные проработки, а также накопленный опыт позволяют сделать вывод об экономической целесообразности применения компактных управляемых ВЛ, в том числе управляемых

самокомпенсирующихя, оснащенных фазорегулирующими устройствами, для увеличения пропускной способности и управления потоками мощности в соответствии с заданными режимами.

Компактные управляемые одноцепные и двухцепные ВЛ 500 кВ, в том числе двухцепные УСВЛ 500 кВ, могут быть рекомендованы для осуществления объединения на синхронную параллельную работу энергосистем, в частности ОЭС Сибири и Востока.

**В обсуждении приняли участие:**

Дикой В.П., Пелымский В.Л., Епифанов А.М., Дементьев Ю.А.

Заслушав доклад, замечания и предложения выступавших в дискуссии **заседание секции отмечает:**

1. ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» в 2009-2010 гг. совместно с ИЭ АИМ выполнен НИОКР «Исследование обоснования применения в ЕЭС линий электропередачи повышенной пропускной способности в сочетании с устройствами FACTS». В рамках НИОКР выполнены исследования и разработки ряда конкретных вариантов создания управляемых компактных ВЛ 220-500 кВ для ЕНЭС. Было показано, что компактные управляемые ВЛ переменного тока по сравнению с ВЛ традиционной конструкции обеспечивают следующие преимущества: позволяют снизить затраты на передачу мощности за счет более эффективного использования устройств регулирования, сокращения площадей отчуждаемых земель, улучшение экологической обстановки и уменьшения затрат на строительство ВЛ в расчете на один мегаватт натуральной мощности.

2. Компактные ВЛ в сочетании с устройствами FACTS по сравнению с ВЛ традиционной конструкции позволяют:

- сократить в 1,5-2 раза площади земельных угодий, отчуждаемых под воздушные линии при передаче одинаковой мощности;
- снизить уровень электромагнитных полей во внешнем пространстве, таким образом уменьшить воздействие ВЛ на окружающую среду и население;
- увеличить пропускную способность в 1,2-1,6 раза;
- снизить суммарные затраты в расчете на единицу передаваемой мощности на 10–20%;
- обеспечить управление величиной и направлением потоков мощности в электрических сетях;
- повысить эффективность использования устройств регулирования реактивной мощности;
- снизить суммарные потери электроэнергии в энергосистеме;
- повысить устойчивость ВЛ при воздействии неблагоприятных атмосферных факторов.
- обеспечить экономию капитальных вложений для ВЛ 220 кВ до 37% и для ВЛ 500 кВ до 33%;

– сократить площадь земельных угодий, отчуждаемых под воздушные линии, до 36% для ВЛ 220 кВ и до 42% для ВЛ 500 кВ.

3. Рассмотрены различные конфигурации ВЛ 220 и 500 кВ с варьированием числа проводов в фазе, радиуса расщепления, междуфазных расстояний и расположения фаз друг относительно друга и относительно земли. По результатам исследований определены наиболее эффективные варианты компактных управляемых ВЛ 220 и 500 кВ, обеспечивающие наилучшие технико-экономические показатели при одновременной минимизации воздействия на окружающую среду. Проведено их сопоставление с ВЛ традиционной конструкции. Пропускная способность компактных ВЛ, оснащенных устройствами FACTS, близка к пропускной способности ВЛ традиционной конструкции более высокого класса напряжения.

4. Целесообразность применения компактных ВЛ на класс напряжения 110 кВ и выше возникает также в случае, если пропускная способность ВЛ традиционного исполнения ограничена статической устойчивостью электропередачи или связана с ограничением токовой нагрузки на провода по предельно допустимой величине падения напряжения в линии.

5. ОАО «ФСК ЕЭС» выражает заинтересованность в использовании в электросетевом строительстве новых разработок и полученных результатов в области компактных управляемых ВЛ, как одного из перспективных направлений повышения эффективности энергосистем при осуществлении планов перспективного развития электрических сетей напряжением 110-500 кВ.

6. Требует дополнительного изучения вопрос об условиях работы линейных выключателей с учетом того, что изменение соотношений емкостной и индуктивной составляющих поперечного реактивного сопротивления компактной ВЛ (с учетом установки СКРМ) по отношению к ВЛ традиционного исполнения, возможно, приведет к возникновению увеличенных значений апериодической составляющей в токе включения ВЛ и, следовательно, длительной задержке перехода тока в фазах линейных выключателей через ноль, для относительно коротких ВЛ (до 100 км).

7. К настоящему времени разработаны конструкции опор для двухцепных компактных ВЛ напряжением 220-500 кВ. Однако с учетом новых номенклатур линейной арматуры и подвесной изоляции требуется дополнительное уточнение элементов конструкции ВЛ(узлы крепления распорок. Схема их расстановки в пролетах, типы распорок. Дополнительные нагрузки на опоры и их влияние на стрелы провеса в пролетах. Вопросы, связанные с поведением проводов в пролетах компактных ВЛ требуют конкретного рассмотрения применительно к выбранным вариантам компактных ВЛ с учетом климатических условий и атмосферных факторов.

8. Следует рассмотреть вопрос, связанный с пропускной способностью двухцепной компактной ВЛ как в нормальном режиме (в

случае, если обе цепи ВЛ идут не на всем протяжении от одной подстанции до другой), так и в послеаварийном режиме выхода из работы одной из цепей.

**Заседание секции решило:**

1. ОАО «ФСК ЕЭС» (В.Л. Пелымский совместно с А.М. Епифановым), основываясь на данных актуальной инвестиционной программы ОАО «ФСК ЕЭС» предложить объект (ВЛ класса напряжения 220 кВ и выше), на котором целесообразно применение компактной ВЛ. Соответствующее обращение об использовании на выбранном объекте компактной управляемой ВЛ направить в адрес ОАО «СО ЕЭС».

Срок: 26.06.2015г.

2. ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» совместно с ИЭ АНМ выполнить технико-экономическое обоснование применения компактной ВЛ для выбранного объекта. Срок: 01.07.2015 г.

3. ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» совместно с ИЭ АНМ сформировать дополнительные требования, которые должны быть учтены при проектировании компактных ВЛ. Срок: 01.07.2015 г.

4. По результатам выполнения п.1-п.4 провести повторное совещание под руководством заместителя Председателя Правления – главного инженера В.П. Дикого.

Первый заместитель Председателя  
Научно-технической коллегии  
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор

Молодюк В.В. Молодюк

Ученый секретарь Научно-  
технической коллегии НП «НТС  
ЕЭС», к.т.н.

Исамухамедов Я.Н. Исамухамедов

Председатель секции:  
«Электротехническое оборудование»  
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор,

Шакарян Ю.Г. Шакарян

Ученый секретарь секции  
«Электротехническое оборудование»  
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор

Хренников А.Ю. Хренников