ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГЛОБАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ (ПО ИТОГАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ТЕХНОЛОГИИ ГЛОБАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ»)

АВТОРЫ:

Т.В. РЯБИН,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Д.В. СОРОКИН,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

В Парижском Дворце Конгрессов 29 августа 2018 г. прошла конференция «Технологии глобальных энергетических сетей», организованная Ассоциацией больших проектов (AGP'21) при поддержке CIGRE, JICABLE (Международная конференция по кабельным линиям) и SEE (Сообщество по электрической энергии, электронике, информационным технологиям и коммуникациям).

Ключевые слова: электрические сети; повышение пропускной способности; сети постоянного тока; сверхпроводящий кабель; Smart Grid.

Вариант общемировой глобальной электрической сети

ВВЕДЕНИЕ

На конференции «Технологии глобальных энергетических сетей» было заслушано 17 докладов в 7 секциях.

1. Технико-экономическое обоснование глобальной электрической сети, презентация результатов рабочей группы СИГРЭ C1.35. Джеральд Санчис, RTE (Франция)

В докладе представлены результаты исследований рабочей группы СИГРЭ C1.35, посвященных возможности и целесообразности создания глобальной (общемировой) электрической сети, соединяющей Южную и Северную Америки, Европу, Азию, Африку и Австралию. Ключевой идеей формирования такой сети является оптимальное использование возобновляемых источников энергии (в первую очередь источников солнечной и ветровой энергии). Возобновляемые источники энергии расположены в электроэнергетических системах мира неравномерно и в различных временных поясах. Это создает предпосылки применения ресурсов возобновляемых источников для покрытия дефицитов мощности разных стран (например, в период сезонных колебаний потребления). Рабочей группой были проанализированы прогнозы балансов электрической энергии и мощности в период до 2050 г. (организации World Energy Council), а также высокоточные климатические данные, подготовленные Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA). На рис. 1 представлены электрические связи, соединяющие электроэнергетические системы различных стран в единую глобальную электрическую сеть. Для создания глобальной сети требуется не менее 20 таких связей суммарной протяженностью порядка 49 тыс. км. Практически все связи предлагается выполнить в виде передач постоянного тока: воздушных линий постоянного тока через подводные и кабельные линии. Рабочей группой было рассмотрено девять вариантов сочетания различных факторов, влияющих на технико-экономические показатели формирования глобальной электрической сети (таких как стоимость сооружения межсистемных электрических связей, изменения баланса и стоимости возобновляемых источников энергии и др.). По результатам исследования сделан вывод о целесообразности создания глобальной электрической сети, что позволит снизить стоимость электрической энергии (примерно на 10 %) и приведет к значительному уменьшению эмиссии углекислого газа (примерно на 50 %).

Рис. 1

2. Ключевые технологии передач постоянного тока для электрических сетей. Марцио Шехтман, CEPEL (Бразилия)

В докладе рассмотрены ключевые особенности и современные тренды развития передач постоянного тока. Дано краткое сравнение передач постоянного тока на преобразователях тока (Line Commutated Converter, LCC) и преобразователях напряжения (Voltage Source Converter, VSC). Отмечено, что передачи на основе преобразователей тока обеспечивают лучшие условия для ликвидации токов короткого замыкания (на линиях постоянного тока). Передачи постоянного тока на основе преобразователей напряжения, в свою очередь, позволяют обеспечить регулирование реактивной мощности, реверс потока активной мощности, а также они предпочтительнее для многотерминальных схем. В качестве примеров современных передач постоянного тока (ППТ) приведены две передачи, сооружаемые в Китае:

1. ППТ 800 кВ Yunnan — Guangdong мощностью 8 ГВт и протяженностью 1300 км. Особенностью ППТ является гибридная и трехтерминальная схема построения, когда две из трех преобразовательных подстанций построены на базе преобразователей напряжения

(VSC), а одна — на базе преобразователя тока (LCC).

2. ППТ 1100 кВ Changji — Guquan мощностью 12 ГВт и протяженностью 3300 км. ППТ является первой в мире передачей постоянного тока напряжением 1100 кВ. Для передачи постоянного тока компаниями ABB и Siemens разработаны уникальные трансформаторы мощностью 587 МВА.

Новым трендом в развитии и применении передач постоянного тока в докладе названо применение сети постоянного тока «поверх» сети переменного тока (в терминологии авторов доклада — «наложение» сетей, overlaying grids). В качестве примера приведены планы по развитию сетей постоянного тока в Северной Америке, а также идея создания энергообъединения стран Азии (рис. 2).

По результатам исследования делается вывод, что ППТ являются наиболее подходящей технологией для создания протяженных линий электропередачи, в том числе межсистемных связей, соединяющих электрические сети различных стран. Наиболее перспективным (особенно для формирования однонаправленных потоков мощности) представляется применение гибридных передач постоянного тока, совмещающих достоинства преобразователей как тока, так и напряжения.

3. Европейская глобальная электрическая сеть (Supergrid) к 2050 г. Спирос Чатзивасилеадис, DTU (Дания)

Доклад посвящен созданию Европейской глобальной электрической сети (Supergrid), а точнее полностью управляемой электрической сети с использованием более 80 % мощности возобновляемых источников энергии. В докладе представлены результаты исследований двух европейский проектов — Best Paths и IRENE-40. В рамках проекта Best Paths предполагается интеграция возобновляемых источников энергии в энергосистемы Европы. В рамках проекта IRENE-40 разработана база данных современных технологий и устройств для передачи электрической энергии. При создании Supergrid рекомендуется использовать технологии для увеличения пропускной способности электрических сетей, для сетей переменного тока — это применение динамического изменения максимальной токовой загрузки линий электропередачи (DLR) и высокотемпературных проводов с малой стрелой провеса (HTLS), для сетей постоянного тока — применение многотерминальных ППТ и сверхпроводящих линий электропередачи постоянного тока. Для выполнения исследований были разработаны математические модели Supergrid. Модель для расчета электрических режимов Supergrid содержит около 8000 узлов. В итоге была найдена оптимальная топология и параметры Supergrid, позволяющие снизить эксплуатационные затраты на величину около 6 млрд евро/год (по сравнению с альтернативными вариантами).

ИДЕЯ ЭНЕРГООБЪЕДИНЕНИЯ СТРАН АЗИИ

Рис. 2

4. Объединение энергетических систем стран Африки. Белек Табу Леонард и др., Демократическая Республика Конго

В докладе описаны планы по развитию гидротехнического потенциала реки Конго, протекающей главным образом по территории Демократической Республики Конго (частично протекает по границам с Республикой Конго и Анголой). По оценке авторов доклада, на реке Конго возможно сооружение гидроэлектростанций суммарной мощностью 80 ГВт. В настоящее время на реке Конго построены и функционируют две гидроэлектростанции (Инга-1 и Инга-2) суммарной мощностью 1775 МВт. Планируется сооружение еще шести ГЭС суммарной мощностью 42 ГВт. На примере третьей очереди ГЭС (Инга-3 мощностью 7800 МВт) авторы доклада отмечают, что влияние строительства гидроэлектростанций на реке Конго на окружающую среду является одним из самых минимальных в мире (по сравнению с сооружением ГЭС в других странах). Для обеспечения выдачи мощности ГЭС Инга согласовано сооружение межсистемных связей с энергосистемами южной, центральной и северной частей Африки (рис. 3). В основном предполагается строительство передач постоянного тока. Существуют также планы по дальнейшему развитию межсистемных электрических связей по европейскому направлению (через Марокко) и на Ближний Восток (через Египет). Авторы доклада отмечают, что около ГЭС Инга возможно размещение производства водорода методом электролиза.

ОБЪЕДИНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СТРАН АФРИКИ

Designation	Transport	Countries concerned
1. Inga - Kolwezi - Merensky (RSA)	Mixed DC/AC	DRC, Zambia, Zimbabwe, (Botswana), RSA
2. Inga - Cape Town (RSA)	DC	DRC, Angola, Namibia, RSA
3. Inga - Le Caire (Egypte)	DC	DRC, CAR, (South Sudan), Sudan, Egypt
4. Inga - Calabar (Nigeria)	DC	DRC, Congo, Gabon, (Guinea Eq.), Cameroon, Nigeria

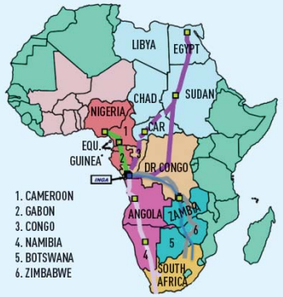

Рис. 3

5. Проект Sahara Wind для создания доступа к потенциалу североатлантических ветров. Халид Бенхамо, Sahara Wind (Марокко)

Территории северной части Западной Африки (территории государств Марокко, Мавритании и Сенегала) имеют высокий потенциал развития ветровой генерации, обусловленный протеканием по указанной территории североатлантических пассатов. В настоящее время в Марокко функционирует около 1 ГВт мощности ветровых электростанций. К 2020 г. планируется увеличить эту мощность до 2,2 ГВт. В Мавритании используется около 4 МВт мощности ветровых электростанций. Технический потенциал ветровой энергии на этих территориях оценивается ориентировочно в 1000 ГВт. Районы Западной Африки имеют высокие перспективы для роста промышленности, который невозможен без роста энергопотребления. На территории Марокко расположен 71 % мировых запасов фосфатов. Страна занимает первое место в мире по их производству. На экспорт идет фосфатная руда, фосфорная кислота, фосфорные удобрения. К 2025 г. планируется увеличить производство фосфатов примерно на 50 %. На территории Мавритании развиваются горно-перерабатывающая и сталелитейная промышленности. Для удовлетворения растущего спроса на электроэнергию, а также для обеспечения возможности экспорта электроэнергии в смежные электроэнергетические системы реализуется проект Sahara Wind, который является глобальным многоэтапным проектом и предусматривает сооружение ветропарков, воздушных линий переменного тока, а также передач постоянного тока (в том числе подводного кабеля). На первом этапе планируется сооружение ветропарка мощностью 400–500 МВт на побережье Атлантического океана около г. Тарфая (Марокко). На следующих этапах планируется сооружение ППТ 500 кВ мощностью 5 ГВт. Это обеспечит передачу мощности к центрам нагрузки, находящимся в северных районах Африки. Протяженность ППТ — около 1300 км. Далее предполагается сооружение подводного кабеля постоянного тока для передачи мощности в южные районы Европы. На рис. 4 на с. 68 показана ориентировочная трасса ППТ 500 кВ Sahara Wind.

6. Генеральный план Med-TSO по развитию электроэнергетической инфраструктуры в Средиземноморском регионе. Антонио Илисето, TERNA (Италия) и др.

Med-TSO — организация, включающая в себя 20 участников (операторов передачи электрической энергии) из 18 стран Средиземноморского региона. Генеральный план Med-TSO представляет собой план развития объединений электроэнергетических систем (участников Med-TSO) до 2030 г. В докладе дано описание методов исследований, использованных при разработке Генерального плана Med-TSO, а также представлены краткие результаты выполненных исследований. В процессе исследований учтены четыре возможных сценария изменения прогнозных значений генерации и потребления регионов к 2030 г. Исследования включали в себя расчеты электрических режимов объединений

электроэнергетических систем, моделирование изменения рыночных условий поставки электрической энергии и мощности, оценку затрат на реализацию энергообъединений. Генеральный план Med-TSO учитывает возможность реализации 14 проектов по объединению электроэнергетических систем разных стран (рис. 5). Энергообъединения планируется выполнить с помощью линий передачи как переменного, так и постоянного тока. В ряде случаев для реализации энергообъединений требуется модернизация существующей сетевой инфраструктуры. Ориентировочная оценка суммарных затрат на реализацию объединения электроэнергетических систем — 16 млрд евро.

7. Технологии для глобальных энергетических сетей. Мингли Фу, EPRI (Китай)

Автор представил сводный доклад, посвященный различным темам. Первая из них — использование возобновляемых источников энергии. Южная электросетевая компания планирует сооружение 23 оффшорных ветропарков суммарной мощностью около 67 ГВт к 2030 г. Ветропарки будут размещены в Южно-Китайском море. Ориентировочные затраты на реализацию проекта — 80 млрд долл. США. В рамках проекта будут выбраны оптимальные топология и параметры электрической схемы соединений ветропарков. При исследованиях должны быть оценены экологические последствия от применения подводной кабельной линии постоянного тока, а также возможное влияние этого кабеля на корабельные комплексы связи. Особой опасностью для расположенных в открытом море оффшорных ветропарков являются удары молний. Ввиду сложности эксплуатации и обслуживания оффшорных ветропарков, их строительство и использование могут привести к значительным экономическим потерям.

ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ ТРАССА ППТ 500 кВ SAHARA WIND

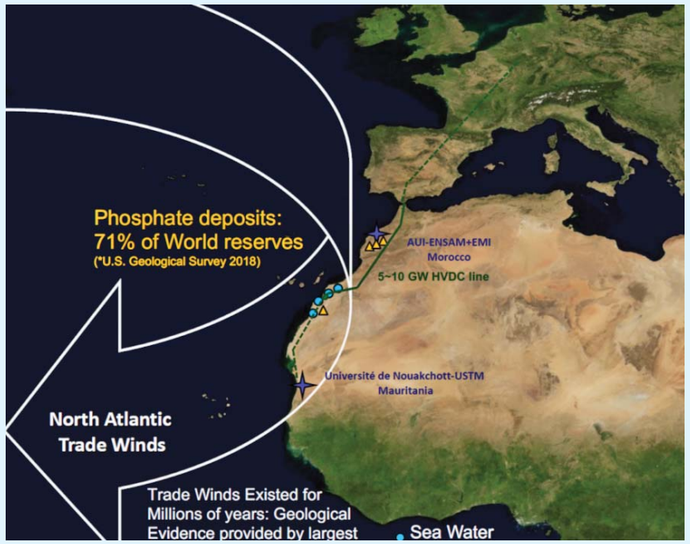

Рис. 4

В докладе отмечается, что для кабельных линий постоянного тока актуальна проблема накопления пространственного заряда, который может привести к повреждению кабельной линии. Накопление заряда обусловлено возникновением градиента температур в изоляции. Автор доклада приводит различные экспериментальные зависимости, полученные в результаты исследований накопления заряда на физической установке.

Заключительная часть доклада посвящена развитию газоизолированных линий (ГИЛ) электропередачи. В ГИЛ используется элегаз, который является сильнейшим парниковым газом. В связи с этим необходимо найти альтернативный газ, обладающий свойствами элегаза (или максимально приближенного к нему), но не являющийся парниковым. Таким газом может быть C_3F_7CN (heptafluoroisobutyronitrile). В докладе приводятся результаты исследований влияния различной концентрации C_3F_7CN в смеси с CO_2 на электрическую прочность изоляции. Показано, что при 8 %-й концентрации C_3F_7CN пробой изоляции наступает при напряжении на 25 % меньше, чем при использовании «чистого» элегаза. После пробоя в смеси C_3F_7CN появляются различные остаточные компоненты, также обладающие диэлектрическими свойствами. C_3F_7CN имеет хорошую совместимость с алюминием (выявлена только физическая абсорбция газа металлом). При контакте с медью выявлена незначительная химическая абсорбция. Однако требуется дальнейшее изучение свойств C_3F_7CN в целях применения в качестве изоляции для электротехнического оборудования.

8. Сверхпроводящие кабельные линии: текущее состояние и драйверы для внедрения. Джон-Максим Саугрейн, Nexans (Франция)

Предпосылкой открытия сверхпроводимости стало получение в 1893 г. жидкого гелия. В течение XX в. была создана технология сверхпроводимости, исследованы низкотемпературные сверхпроводники (охлаждаемые жидким гелием или водородом), получены высокотемпературные сверхпроводящие (ВТСП) материалы (охлаждаемые жидким азотом), разработаны ВТСП-материалы второго поколения. В настоящее время происходит внедрение технологии сверхпроводимости в практику. Причиной применения сверхпроводящих проводников в электроэнергетике является малое (или нулевое при постоянном токе) сопротивление сверхпроводящих проводников. Это позволяет передавать очень большую мощность при малом сечении проводника (относительно существующих линий электропередачи и кабельных линий). В ВТСП-кабелях 1-го поколения сверхпроводящие жилы заключены в матрицу из серебра или сплава на его основе. В ВТСП-кабелях 2-го поколения обычно применяют ленты-подложки (как правило, из сплавов на основе никеля), а ВТСП-жила представляет собой тонкое покрытие на поверхности ленты. Для кабелей могут применяться «закрытые» и «открытые» (требующие дозаправки жидким азотом) системы криогенного охлаждения.

Преимущества применения сверхпроводящих кабелей переменного тока таковы:

1. Передача большой мощности на низком (генераторном) напряжении.
2. Нет негативного влияния на окружающую среду (практически отсутствуют магнитные поля вне кабеля, нет теплового воздействия, нет необходимости отвода тепла от кабеля).
3. Компактность кабеля (нет минимального расстояния между кабелями, кабели минимального сечения).
4. Низкое сопротивление кабеля.

Драйверами внедрения сверхпроводящих кабелей являются:

1. Возможность передачи большой мощности в центры мегаполисов (для питания станций подзарядки электротранспорта, центров обработки данных и т. д.).
2. «Переполненность» городских кабельных каналов, траншей и тоннелей.
3. Высокая стоимость земельных участков в городской черте.
4. Экологические требования (к отсутствию воздействия магнитного поля, нагрева почвы и т. д.).
5. Замена воздушных линий электропередачи в мегаполисах.

Существующий уровень развития технологий создания и применения сверхпроводящих кабелей позволяет обеспечить их внедрение в эксплуатацию в электроэнергетические системы.

ПЛАНИРУЕМЫЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

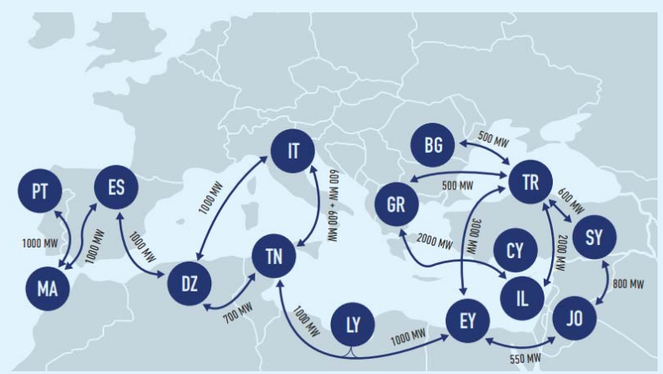

Рис. 5

9. Уровень развития и новые технологии кабельных систем переменного и постоянного тока и кабелей. Стефано Котуньо, Prysmian PPL (Италия)

В зависимости от различных параметров (в первую очередь, от напряжения, длины и мощности электропередачи) могут применяться различные кабельные линии (рис. 6 на с. 70). Для кабельных линий переменного тока в основном применяется экструдированная изоляция (из сшитого полиэтилена — XLPE). Для кабельных линий постоянного тока может применяться минеральная изоляция (MI), изоляция MI-PPL (слоистая бумажно-полипропиленовая изоляция) либо экструдированная (XLPE). Компания Prysmian предлагает инновационные кабели P-Laser с изоляцией из термопластичных материалов (HPTE). Кабели P-Laser обеспечивают (по сравнению с XLPE) повы-

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

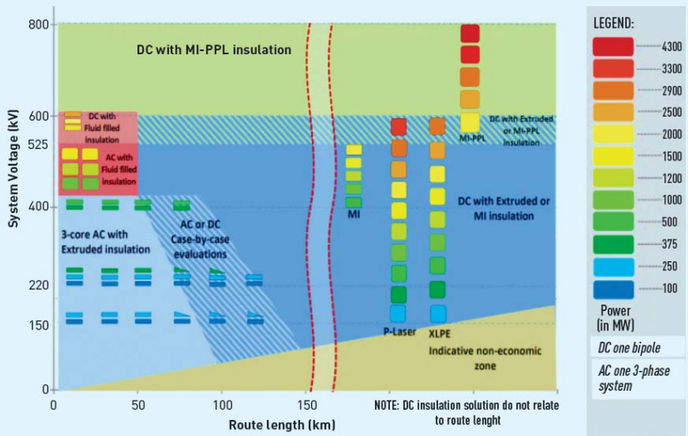

Рис. 6

шение эффективности и экологичности производства. Для подводных кабелей наряду с XLPE может применяться изоляция из этиленпропилен резины (ERP).

Основными трендами развития кабельной промышленности являются: увеличение пропускной способности кабельной линии с уменьшением капитальных затрат; более высокие напряжения и эксплуатационные температуры кабельных линий; снижение операционных (эксплуатационных) затрат; повышение надежности (ужесточение требований к испытаниям кабелей, применение систем мониторинга); увеличение длин кабелей, а также глубины прокладки подводных кабелей. Приводится пример, что до 2000-х гг. средняя глубина прокладки подводного кабеля не превышала 600 м. Самый глубоководный кабель введен в эксплуатацию в 2008–2011 гг. в рамках проекта SAPEI по сооружению передачи постоянного тока, соединяющей остров Сардиния с континентальной частью Италии, глубина залегания кабеля составляет 1600 м.

10. Сверхпроводящие кабельные линии на основе MgB_2. Кристиан-Эрик Брузек, Nexans (Франция)

Европейский проект Best Paths посвящен разработке технологий и оборудования для современных электроэнергетических систем. Для передачи электрической энергии на большие расстояния целесообразно применение передач постоянного тока. Однако использование опор для линий электропередачи постоянного тока может быть неприемлемо в городской среде. Кабельные линии требуют широких траншей (кабельных каналов) для прокладки кабелей, организация которых в условиях мегаполисов также может быть затруднена. Преимуществом применения передач постоянного тока с использованием сверхпроводящих кабельных линий является возможность передачи большой мощности без потерь электрической энергии на большие расстояния. При этом требуется кабельный канал (траншея) значительно меньших размеров (рис. 7). В рамках проекта Best Paths разработана конструкция сверхпроводящего кабеля постоянного тока на напряжение 320 кВ и максимальный ток 10 кА. Кабель способен передавать около 3 ГВт мощности. Основной сверхпроводящий материал для проводника — дибромид магния MgB_2 с критической температурой 20 К (–253 °С).

ПРИМЕР УМЕНЬШЕНИЯ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ В СЛУЧАЕ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КАБЕЛЕЙ (ПО СРАВНЕНИЮ С XLPE)

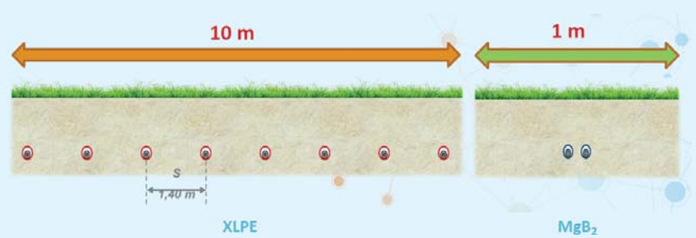

Рис. 7

В настоящее время выполняются испытания кабеля длиной 120 м. Разработана специальная изоляция, сохраняющая диэлектрические свойства при температурах достижения сверхпроводимости кабельной линии.

11. Сверхпроводящие линии электропередачи. Тимофей Рябин, АО «НТЦ ФСК ЕЭС» (Россия).

Доклад посвящен практическим вопросам разработки и внедрения технологий на базе высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) на примере двух реализуемых проектов:

1. ППТ 20 кВ мощностью 50 МВА и протяженностью 2500 м (г. Санкт-Петербург);
2. ППТ Ishikari (Япония) мощностью 50 МВА протяженностью 1000 м.

Высокотемпературная сверхпроводимость — сверхпроводимость, достигаемая при температуре кипения азота (–196 °С). Применение ВТСП-технологий перспективно для производства кабелей, токоограничивающих реакторов, ветрогенераторов и др. Преимущества применения ППТ с ВТСП кабельной линией таковы: возможность передачи большой мощности на генераторном напряжении; снижение площади зон отчуждения для прокладки кабельных линий; уменьшение потерь мощности (в кабельной линии); повышение управляемости электрической сети; ограничение токов короткого замыкания; резервирование электроснабжения потребителей. Сооружаемая г. Санкт-Петербурге ППТ с ВТСП кабельной линией (рис. 8) будет соединять две подстанции разного класса напряжения (220 кВ и 330 кВ). Трасса ППТ будет проходить по центральной части города. Особенность проекта Ishikari заключается в использовании криостата новой конструкции, применение которого позволяет значительно сократить потери тепла (в криостате). Объединение технологий обоих проектов обеспечит возможность передачи большой мощности (более 10 ГВт) на большие расстояния (сотни километров) с очень низкими потерями мощности (порядка 3 %). Успешная реализация проекта по сооружению ППТ с ВТСП кабельной линией в г. Санкт-Петербурге является основой для полномасштабного внедрения технологий высокотемпературной сверхпроводимости в электроэнергетические системы.

КОНСТРУКЦИЯ ВТСП КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА (ПРОЕКТ В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ)

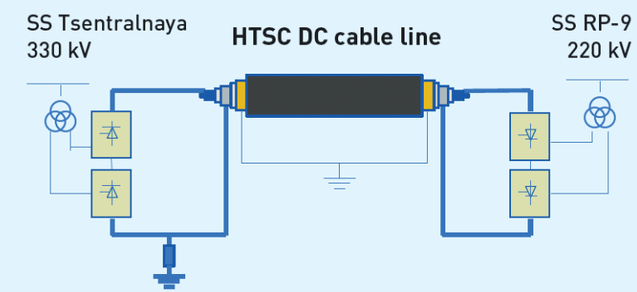

Рис. 8

12. Уровень развития и инновации воздушных линий электропередачи. Карлос Александр М. до Начименто, CEMIG (Бразилия)

Одной из актуальных проблем электросетевого комплекса является увеличение пропускной способности линий электропередачи. Один из способов решения этой проблемы — применение компактных воздушных линий электропередачи повышенной пропускной способности (HSIL). Это линии электропередачи специальной конструкции, позволяющей оптимизировать электрическое поле проводников линии электропередачи и уменьшить таким образом сопротивление линии. В докладе показано, что применение такой технологии позволяет увеличить пропускную способность линии электропередачи 500 кВ на 60 % (с 1 ГВт до 1,6 ГВт), при этом сократив количество цепей линии с пяти до трех. Ключевыми инновационными направлениями в развитии воздушных линий электропередачи являются: применение новых материалов (изоляции, покрытий, проводников, в том числе сверхпроводящих); автоматизация (роботы, квадрокоптеры); совмещение функций оборудования (например, воздушные линии с волоконно-оптическим кабелем); интеллектуальные сети (Smart Grid); повышение эффективности электропередачи; децентрализованное управление (в том числе на базе блокчейна); обучение персонала. Перспективным является применение высокотемпературных линий электропередачи с малой стрелой подвеса (HTLS), а также силовых линий электропередачи, совмещенных с волоконно-оптическим кабелем (OPPC). Автор

отмечает, что необходима разработка новых систем передачи мощности на основе синергии различных технологических инноваций.

13. Факторы для обоснования применения ГИЛ. Герман Кох, Siemens (Германия)

В докладе представлены результаты исследований рабочей группы СИГРЭ B3/B1.27 «Экономические факторы, влияющие на применение газоизолированных линий». В докладе представлена методика сравнения ГИЛ с кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена (XLPE). Отмечены основные факторы, которые необходимо учитывать: номинальное напряжение; токи; радиус сгибания линий электропередачи; эксплуатационные температуры; транспортировка; строительные работы; влияние на окружающую среду; пожаробезопасность; ремонтопригодность и др. Представлена методика, которая позволяет сравнить стоимости ГИЛ и XLPE-кабелей в одинаковых условиях (с учетом различных технических характеристик линий). Результаты исследований оформлены в виде технической брошюры СИГРЭ TB 639.

14. Сверхпроводимость на базе применения жидкого водорода. Кристиан-Эрик Брузек, Nexans (Франция)

Применение водорода — перспективный способ хранения и транспортировки энергии. Станции для производства водорода обычно располагаются на удалении от потребителей, и актуальным является вопрос транспортировки водорода. Один из вариантов применения жидкого водорода — охлаждение сверхпроводящих кабельных линий. Таким образом, станции по сжижению водорода могут одновременно выполнять несколько функций (хранение и транспортировка энергии, охлаждение кабелей). В докладе

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

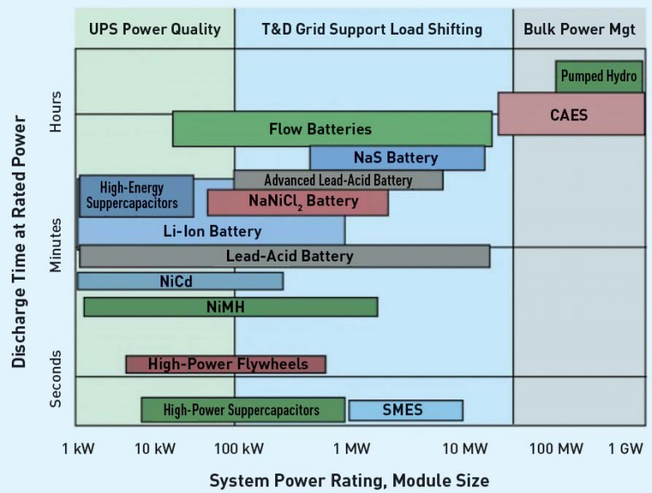

Рис. 9

представлено несколько конструкций сверхпроводящих кабелей на основе H_2. Отмечено, что водород обладает диэлектрическими свойствами и может быть использован как изоляционный материал. По сравнению с ВТСП кабельными линиями применение водородной сверхпроводимости позволяет увеличить пропускную способность в 5 раз (при том же напряжении). В качестве сверхпроводника может быть использован дибромид магния MgB_2. Исследование сверхпроводников на основе дибромида магния было выполнено в рамках европейского проекта Best Paths.

15. Обзор технологий хранения электрической энергии. Роберт Б. Таннер, Nature and People First LLC (США)

Генерация от возобновляемых источников энергии (солнечная и ветровая) имеет вероятностный характер и плохо прогнозируется. Для сглаживания графика генерации требуется применение технологий для хранения энергии. Существуют различные системы хранения энергии (рис. 9). К механическим системам относятся: гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС); система хранения энергии на основе сжатого воздуха; супермаховик; гравитационные системы хранения энергии и др. Перспективными являются химические системы хранения энергии: аккумуляторные батареи (в первую очередь, литий-ионные), суперконденсаторы. Также существуют системы на базе сверхпроводящих магнитов. 95 % всех систем хранения энергии в мире — это ГАЭС. Крупнейшие ГАЭС располагаются в США, Китае, Японии, Франции и Великобритании. О начале разработки батареи емкостью около 1 ГВт·ч заявила компания Tesla. В случае успешного завершения это будет крупнейший

проект в мире по созданию системы хранения энергии на базе литий-ионных батарей. Прогнозируется, что спрос на системы хранения энергии будет возрастать в связи с тенденцией перехода на возобновляемые источники энергии. Все системы хранения имеют различные характеристики и сферы применения. Вероятно, оптимальным решением для будущих систем является комбинация различных технологий.

16. Возможности применения технологий хранения электрической энергии. Денни Юнгхун Ким, Hyosung Corporation UK (Великобритания)

Южная Корея — одна из наиболее активных стран, внедряющих в эксплуатацию системы хранения энергии, что связано с реализацией государственных программ в этой стране. На практике используются следующие функции систем хранения энергии: регулирование частоты; создание микросетей (micro grids); сглаживание графиков генерации возобновляемых источников энергии; снижение пиковых нагрузок. В Южной Корее эксплуатируется 376 МВт мощности систем хранения энергии. В докладе приводятся краткие технические характеристики реализованных проектов и делается вывод о том, что применение систем хранения энергии (в каждом рассмотренном случае) является эффективным. Автор доклада также отмечает, что у потребителей существует спрос на одно многофункциональное устройство, которое бы выполняло заданные функции, и промышленность должна удовлетворить этот спрос.

17. Финансовые и правовые аспекты мировой энергетической системы. Джон Коваль, Ex Medgrid and CIGRE (Франция)

В заключительном докладе конференции отмечалось, что создание общемировой энергетической системы имеет свои преимущества. Однако существует много проблем, включая проблемы: организации международного сотрудничества, которые могут быть решены только на уровне правительств стран; разработки детализированного технико-экономического обоснования; управления проектом; планирования развития и управления (диспетчеризации) общемировой энергетической системы; финансирования проекта; организации рынка электроэнергии и мощности; регулирования и правового обеспечения функционирования энергетической системы. В будущем все их предстоит решить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам анализа докладов конференции TGEG'18 можно сделать следующие выводы:

1. Основной технологией для создания объединений электроэнергетических систем являются передачи постоянного тока (ППТ). При этом используются гибридные многотерминальные ППТ. Существует тренд повышения номинального напряжения ППТ и применения в их составе сверхпроводящих кабельных линий.
2. Основными эффектами от создания глобальных электроэнергетических систем являются: снижение стоимости электрической энергии, эмиссии углекислого газа; повышение надежности функционирования энергосистем. Эти эффекты достигаются за счет развития ВИЭ и передачи получаемой от ВИЭ мощности в центры нагрузок (расположенные в других странах и на других континентах).
3. Развитие электросетевого комплекса сопряжено с ограничением пропускной способности электрических сетей. Для решения этой проблемы предлагается использовать новые технологии и решения (применение газоизолированных линий, сверхпроводящих кабелей, компактных линий электропередачи, сетей постоянного тока, элементов Smart Grid и др.).
4. Происходит развитие технологий накопления энергии и расширение областей применения накопителей в электроэнергетических системах.
5. Разрабатываемые новые технологии могут быть эффективны не только при создании глобальных электроэнергетических систем, но и в рамках отдельных (локальных) энергосистем и мегаполисов.

ИНФОРМАЦИЯ

Ассоциация «Большие проекты 21 века» («Grands Projets 21»), созданная во Франции в 2016 г., нацелена на обсуждение и анализ крупных технических и промышленныех междисциплинарных и многоотраслевых проектов, ориентированных на развитие мировой цивилизации.

Предполагается, что всестороннее обсуждение подобных проектов требует участия экспертов из самых разных областей знаний.

«Grands Projets 21» развивает себя как дискуссионная площадка, открытая для всех юридических и физических лиц, которые могут вносить предложения по различным общемировым проектам и участвовать в их развитии, реализации и продвижении.