

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

АВТОРЫ:

А.С. ГЕРАСИМОВ,
К.Т.Н.,
АО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

Л.А. КОЩЕЕВ,
Д.Т.Н.,
АО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

А.А. ЛИСИЦЫН,
К.Т.Н.,
АО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

Зал выпрямительного оборудования передачи постоянного тока между Францией и Испанией. Мощность 1000 МВт на основе IGBT

В последние годы в энергосистемах разных стран для решения сложных задач энергопередачи все чаще используется техника передачи энергии постоянным током. В этом направлении достигнуты значительные резуль-

таты в части решения проблем увеличения единичной мощности преобразователей, повышения предельного уровня напряжения, снижения потерь при преобразовании и передаче электроэнергии, создания электрической сети постоянного тока и др.

Ключевые слова: постоянный ток; электропередачи; электроснабжение; эффективность; управление режимами энергосистем.



ВВЕДЕНИЕ

Исторически техника передачи посредством постоянного тока развивалась параллельно с техникой передачи посредством переменного тока. К настоящему времени передача и распределение электроэнергии осуществляется, главным образом, на переменном токе, что обусловлено очевидными преимуществами переменного тока при производстве электроэнергии, трансформации напряжения, коммутировании и ряде других процессов.

В то же время известен целый ряд условий, при которых технически и экономически целесообразно применение постоянного тока — передача на дальние расстояния, кабельные, прежде всего подводные, передачи, объединение энергосистем с разными условиями регулирования частоты и др.

Учитывая большие капитальные вложения в энергетические объекты, необходимость снижения эксплуатационных затрат, экологические требования, в практике построения больших энергосистем используются преимущества постоянного тока и, несмотря на сравнительно небольшую долю объектов постоянного тока, мировые производители оборудования уделяют большое внимание разработке и совершенствованию техники постоянного тока, а при планировании развития энергосистем используются все условия эффективного применения постоянного тока.

При этом интерес к этой области энергетики и электротехники не снижается, напротив, появляются все новые сообщения о расширении области использования постоянного тока и успехах в совершенствовании техники передачи электроэнергии постоянным током.

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ТЕХНИКИ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В ряде докладов, представленных на сессии СИГРЭ 2014 г., отмечается заметный прогресс в развитии техники электропередачи постоянным током [1, 2, 3]. В значительной мере это связано с достижениями в области совершенствования преобразователей напряжения на базе так называемых полностью управляемых вентильных элементов.

Известно, что, в отличие от преобразователей тока, преобразователи напряжения требуют существенно меньшей мощности фильтрокомпенсирующих устройств на преобразовательных подстанциях, занимают меньшую площадь, не имеют

ограничений по соотношению мощностей инверторной подстанции и примыкающей энергосистемы, обеспечивают возможность «слепого пуска» и обладают рядом других преимуществ.

За счет совершенствования принципов преобразования и элементов преобразовательных устройств постепенно изживаются известные недостатки преобразователей напряжения — ограничение единичной мощности, повышенные потери, трудности отключения линии постоянного тока при коротком замыкании.

Совершенствуются и ППТ с использованием традиционных преобразователей тока на базе тиристоров.

Среди достижений последних лет в представленных докладах выделяются:

- ППТ на напряжение ± 800 кВ как полностью освоенный элемент энергосистемы и реальная заявка на напряжение ± 1100 кВ;

СХЕМА БИПОЛЯРНОЙ ППТ НА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ТОКА

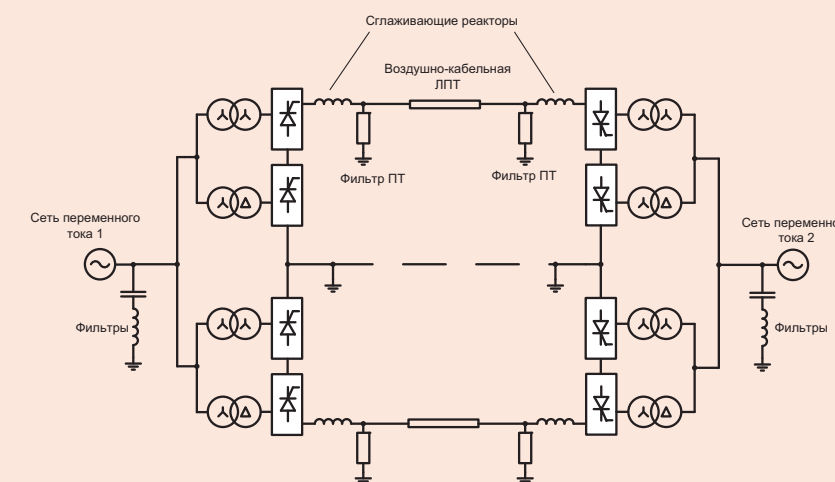


Рис. 1

- промышленное освоение многоподстанционных ППТ с подстанциями на основе преобразователей напряжения;
- увеличение единичной мощности преобразователя напряжения до 1000 МВт;
- создание эффективного выключателя постоянного тока, в том числе с механическим коммутатором;
- широкое использование СТАТКОМов вместо СТК в качестве средств управления напряжением и реактивной мощностью в сетях переменного тока.

На повестке дня — стандартизация и унификация оборудования для передач и вставок постоянного тока.

За время, прошедшее с предыдущей сессии СИГРЭ, в эксплуатацию переданы несколько новых объектов постоянного тока, ряд объектов находятся на разных стадиях проектирования и сооружения.

Особенно интенсивно расширяется использование ППТ в странах с большой территорией — в Китае, Индии, Бразилии, США и Канаде. Учитывая многообразие условий для использования ППТ в России, этому направлению уделяется явно недостаточно внимания.

Можно перечислить значительное количество объектов для эффективного использования техники передачи постоянным током.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ РАЗВИТИИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В качестве примера можно привести вариант решения проблемы независимого электроснабжения Крымского полуострова с применением

линий электропередачи постоянного тока.

Согласно принятому решению [4], проблему электроснабжения Крымского полуострова предполагается решать поэтапно. На первом этапе, который практически реализован, через Керченский пролив сооружены две кабельные линии переменного тока 220 кВ с их присоединением воздушными линиями 220 кВ к ПС 220 кВ Кафа и ПС 220 кВ Камыш — Бурунская. В рамках реализации второго этапа сооружены еще две цепи кабельной линии 220 кВ через Керченский пролив, производится реконструкция ПС 500 кВ Тамань, сооружается ВЛ 500 кВ Кубань — Тамань и ВЛ 500 кВ Кафа — Симферопольская. На третьем этапе планируется строительство ВЛ 500 кВ Ростовская — Андреевская — Тамань и ВЛ 330 кВ Западно-Крымская — Севастопольская. Кроме того, сооружаются Севастопольская и Симферопольская ПГУ-ТЭС установленной мощностью по 470 МВт, расширяется газотранспортная сеть и сооружается магистральный газопровод Краснодарский край — Крым.

В общей сложности капитальные вложения на реализацию всех запланированных мероприятий по обеспечению надежного электроснабжения Крыма ориентировочно оцениваются на уровне 70 млрд руб. [5]. При реализации указанных мероприятий с учетом имеющихся в Крыму объемов генерации, в том числе ветровых и солнечных генерирующих установок, обеспечивается надежное электроснабжение Крыма вне зависимости от наличия или отсутствия связи с энергосистемой Украины.

Однако могут быть предложены различные варианты внешнего электроснабжения (от электростанций ОЭС Юга), при реализации

ФРАГМЕНТ КАРТЫ-СХЕМЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

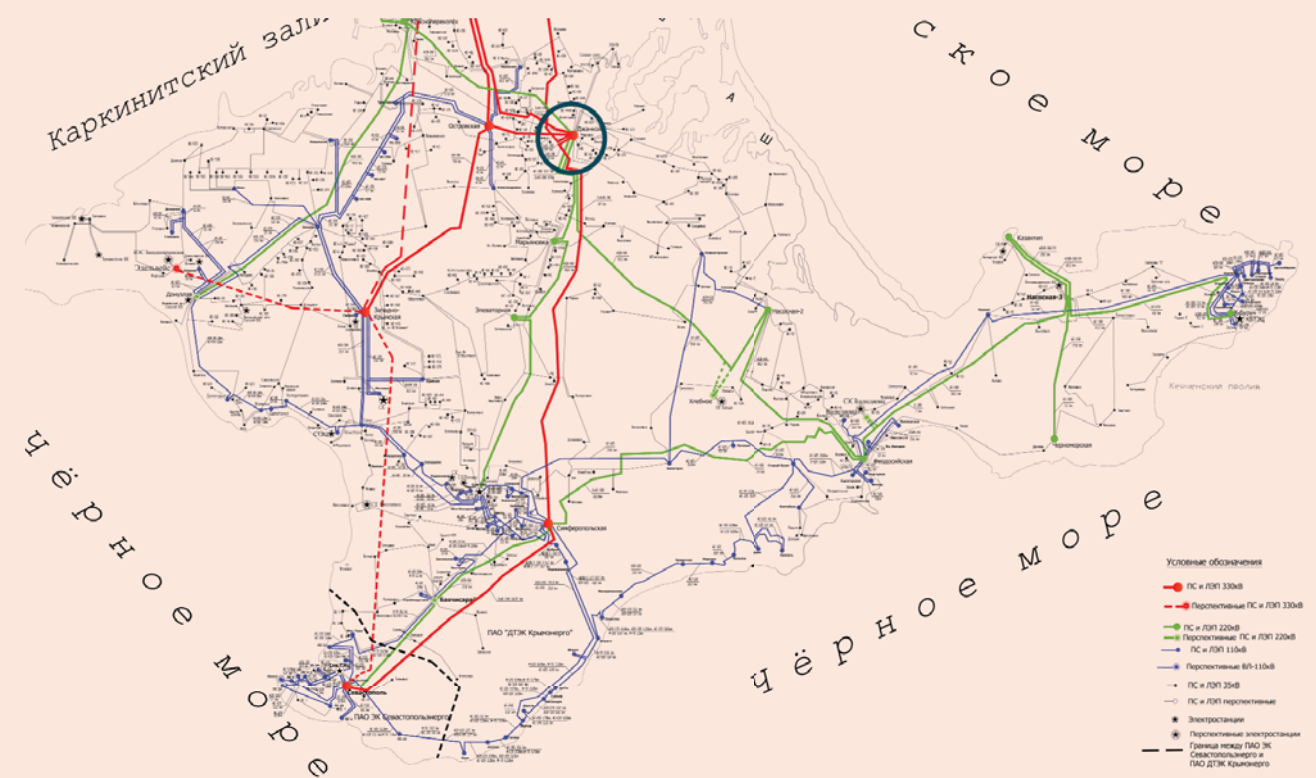


Рис. 3

которых снижается потребность в строительстве дополнительных электростанций на территории Крымского полуострова. В частности, вариант энергоснабжения Крымского полуострова с помощью воздушно-кабельных линий постоянного тока из района Ростовской АЭС, на которой в настоящее время введен в работу третий энергоблок мощностью 1000 МВт, и заканчивается строительство четвертого энергоблока мощностью 1000 МВт, пуск которого запланирован на 2018 г.

Основные преимущества внешнего электроснабжения Крыма с использованием воздушно-кабельных линий постоянного тока заключаются в следующем:

- уменьшаются объемы или полностью исключается необходимость сооружения дорогостоящих электростанций на Крымском полуострове и обеспечивается электроснабжение сравнительно дешевой электроэнергией от существующих и строящихся АЭС;
- затраты времени на сооружение электростанции кратно превышают затраты времени на сооружение кабельной электропередачи;
- при наличии регулируемой связи с мощной энергосистемой обеспечивается возможность наиболее эффективного использования электроэнергии от ветровых и солнечных электростанций;
- в максимальной мере обеспечи-

- ваются экологические требования курортной зоны;
- как свидетельствует мировой опыт, уровень надежности подводных кабельных линий весьма высок. Внешнее электроснабжение по двум-трем таким линиям обеспечит надежность электроснабжения не ниже, чем от собственной электростанции. Если речь идет о кабельных линиях постоянного тока, то исключается и каскадное отключение из-за перегрузки кабелей;
- согласно мировому опыту, при длине кабеля более 40 км кабельная линия постоянного тока требует меньших капитальных вложений (с учетом дополнительных затрат на сооружение пре-

СХЕМА БИПОЛЯРНОЙ ППТ НА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ НАПРЯЖЕНИЯ

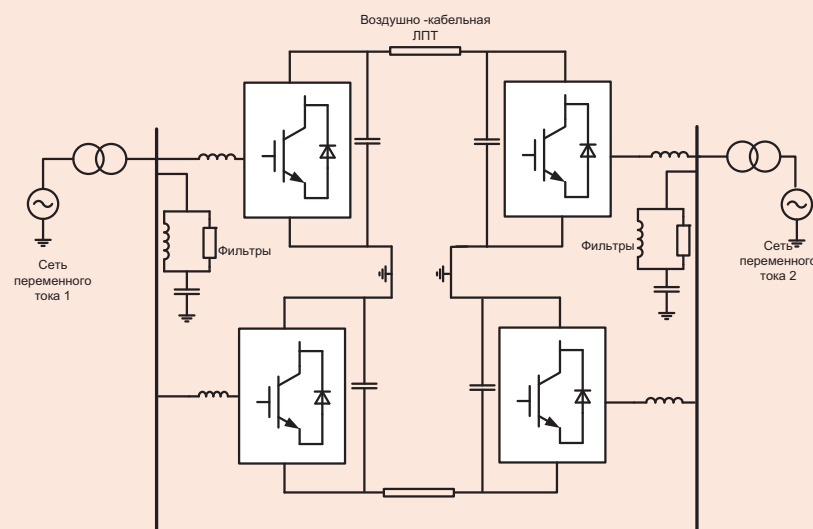


Рис. 2

- образовательных подстанций). На 20–30 % меньше и удельные капитальные затраты на километр воздушной линии;
- в нормальных режимах передача постоянного тока может в полной мере использоваться для регулирования частоты в изолированной энергосистеме при исключении опасности перегрузки линии. При наличии связи с энергосистемой Украины обеспечивается возможность независимого управления перетоками мощности по внешним связям;
- при возникновении аварийного небаланса в результате отключения генерации или разрыва кольца в случае параллельной работы с энергосистемой Украины исключается опасность недопустимого наброса мощности на линию при возможности

- максимального использования ее пропускной способности для компенсации небаланса;
- в аварийной ситуации асинхронный ход по связи переменного тока будет способствовать дальнейшему развитию аварии. По линии постоянного тока электроэнергия может поставляться в несинхронно работающую энергосистему Крыма, по крайней мере в объеме, соответствующем пропускной способности линии;
- линия постоянного тока в пределах своей пропускной способности может использоваться как одно из наиболее эффективных управляющих воздействий в системе противоаварийной автоматики.

Рассмотрим два варианта схемы связи на постоянном токе с ППТ: на базе традиционных тиристорных

преобразователей тока и на базе преобразователей напряжения.

В первом варианте предлагается схема (рис. 1 на с. 43) с двумя биполярными ППТ класса ± 500 кВ пропускной способностью 500 МВт каждая.

Возврат тока при отключении одной полупеи ППТ осуществляется по одной из известных схем — через землю или с использованием провода поврежденного полюса. В качестве средства резервирования мощности при отключении одной полупеи передачи можно использовать ГТУ суммарной мощностью 250 МВт. При наличии договоренности об аварийной взаимопомощи с украинской энергосистемой в использовании ГТУ для целей резервирования необходимости нет.

В варианте ППТ с преобразователями напряжения (рис. 2 на с. 44) предполагается использование двух ППТ и ГТУ 250 МВт или трех ППТ пропускной способностью 500 МВт каждая. Как известно, для этих ППТ не требуется специальных регулируемых средств компенсации реактивной мощности. Более того, преобразователи напряжения могут участвовать в регулировании напряжения и реактивной мощности в энергосистеме.

Выбор точек примыкания преобразовательных подстанций к электрической сети энергосистемы Крыма нуждается в специальных исследованиях. Для сопоставительной оценки примем вариант примыкания передачи постоянного тока в районе ПС «Джанкой» (рис. 3 на с. 45). Условно трассы линий показаны на рис. 4.

Соотношение длин воздушной и подводной частей линии ППТ также нуждается в оптимизации. В данном случае принимается максимальная протяженность кабельного участка линии.

Заметим, что удельные капитальные затраты на сооружение подводного кабеля сравнительно мало зависят от протяженности, так как значительную часть затрат составляет разработка и организация производства конкретного кабеля, а также организация его доставки и прокладки.

Приблизительно трасса до ПС «Джанкой» включает 390 км воздушной и 210 км кабельной линии.

Принимая известные по зарубежным данным удельные стоимости преобразовательных подстанций, воздушных и подводных линий ППТ [6], капитальные затраты для рассмотренного варианта, без учета стоимости ГТУ, составят: 59 млрд руб. для варианта с преобразователями тока, 62 млрд руб. для двух

ППТ с преобразователями напряжения и 92,5 млрд руб. для трех ППТ. Стоимость ГТУ мощностью 250 МВт, исходя из средней удельной стоимости в 1000 долл. США за кВт установленной мощности, составит 10 млрд руб. Необходимо отметить, что предлагаемый вариант строительства электропередачи постоянного тока в районе ПС «Джанкой» позволит избежать значительного сетевого строительства на территории Крымского полуострова, и, соответственно, дополнительного отчуждения территории.

Предлагаемый подход к сопоставлению вариантов и, тем более, количественные показатели в значительной степени условны. Однако видно, что по капитальным затратам рассматриваемые варианты близки. В то же время очевидно преимущество предлагаемого варианта внешнего электроснабжения по себестоимости используемой электроэнергии, скорости реализации проекта, экологическим соображениям и эффективности управления режимами энергосистемы.

Все это указывает на целесообразность рассмотрения вариантов использования передачи постоянного тока при решении проблемы, в которой имеются условия для эффективного использования этой техники.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

К сожалению, серьезные успехи в этой области относятся к прошлому. Это первая в мире опытно-промышленная ППТ Кашира — Москва, крупнейшая на тот момент ППТ Волгоград — Донбасс, вставка постоянного тока на связи Россия — Финляндия, нереализованная в полном объеме ППТ Экибастуз —

Центр. Проектирование и сооружение этих объектов осуществлялось под единым руководством. При этом были сконцентрированы все основные силы исследователей, проектировщиков и разработчиков оборудования (НИИПТ, Энергосетьпроект, ВЭИ). На стадии реализации проекта подключались соответствующие предприятия электропромышленности, строители, монтажные и наладочные организации. В настоящее время единственный объект, находящийся в стадии реализации, — вставка постоянного тока на подстанции 220 кВ Могоча.

В последние десятилетия разрабатывались несколько проектов межгосударственных ППТ (Россия — Германия, Россия — Япония и др.), а также проект ППТ ЛАЭС — Выборг [7] и другие внутрироссийские объекты постоянного тока небольшой мощности, ни один из которых не был доведен до реализации.

Разумеется, нельзя сбрасывать со счетов тот факт, что за последние 30 лет в значительной степени утрачены навыки проектирования и производственные возможности в области техники передачи электроэнергии постоянным током. Однако это не должно быть основанием к отказу или сокращению области использования этой техники, когда ее применение имеет достаточное технико-экономическое обоснование.

Возможно, на первых порах придется в той или иной мере использовать достижения зарубежных фирм, заняться изучением и освоением современных схемно-технических решений. Но не будем забывать, что у нас еще есть специалисты в этой области. В России выпускаются вентиляльные элементы, значительная часть которых идет на экспорт. Имеются новые, хорошо оснащенные заводы по производству трансформаторно-реакторного оборудования.

ТРАССА РАССМАТРИВАЕМЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПОСТОЯННОГО ТОКА

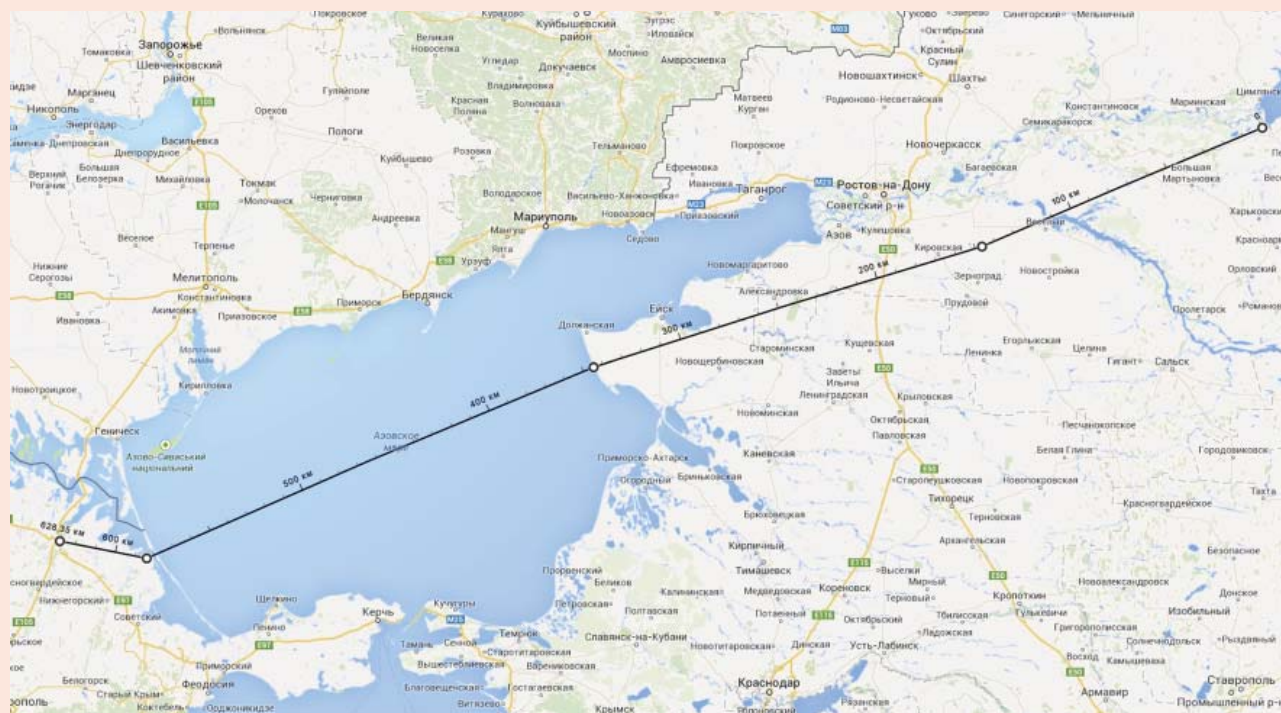


Рис. 4

ЛЭП ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЛЭП постоянного тока позволяет транспортировать электроэнергию между несинхронизированными энергосистемами переменного тока, а также помогает увеличить надежность работы, предотвращая каскадные сбои из-за рассинхронизации фазы между отдельными частями крупной энергосистемы. ЛЭП постоянного тока также позволяет передавать электроэнергию между энергосистемами переменного тока, работающими на разных частотах, например, 50 и 60 Гц. Такой способ передачи повышает стабильность работы энергосистем, так как в случае необходимости они могут использовать резервы энергии из несовместимых с ними энергосистем.

постоянного тока ± 800 кВ и ведутся работы по освоению следующего класса. Китайский опыт указывает и на целесообразность разумного сочетания развития собственного производства с привлечением зарубежного опыта.

Без успешной практической реализации одного-двух проектов вряд ли возможно эффективное продвижение по пути полномасштабной реанимации постоянного тока в России.

ППТ Экибастуз — Центр вписывалась в планы развития ЕЭС СССР, предусматривавшие переброску из восточных районов в Европейскую часть десятков гигаватт мощности ГЭС и угольных ТЭС. В России в ближайшее время ППТ такого класса вряд ли будут востребованы. Однако это не исключает возможности решения тех или иных задач с использованием преимущества техники постоянного тока, как это делается во всем мире.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы во многих энергосистемах, особенно в странах с большой территорией, все чаще для решения определенных задач используется техника передачи энергии постоянным током, что, в свою очередь, стимулирует интенсивное развитие этой техники. Значительный успех достигнут в увеличении единичной мощности преобразователей, повышении предельного уровня напряжения линий постоянного тока, снижении потерь при преобразовании и передаче электроэнергии, создании электрической сети постоянного тока и др.

В отечественной электроэнергетике утрачены ранее занимаемые позиции в данной области. Подчас не используются возможности

решения тех или иных задач с применением техники постоянного тока, что, в свою очередь, приводит к утрате навыков проектирования и создания оборудования для объектов постоянного тока.

Одним из примеров эффективного использования линий постоянного тока могло бы стать решение проблемы внешнего электроснабжения Крымского полуострова. При использовании ППТ эта проблема может быть решена при капитальных затратах, по крайней мере не превышающих затраты на реализацию принятого варианта, меньших эксплуатационных издержках, меньшем сроке реализации, более благоприятных экологических условиях и более эффективном управлении режимами энергосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. T. Sakai, Y. Makino, B. Siswanto, R. Sjamsuddin. The First HVDC Project in Indonesia: System Study and Basic Design of Java-Sumatra HVDC Link // CIGRE session 45, 2014.
2. O. Despouys, A.-M. Denis, D. Cirio, K. Bell, C. Moreira, C.C. Liu, W. Grieshaber, J.-P. Dupraz. Twenties: Conclusions of a major R&D Demonstration Project on Offshore DC Grids // CIGRE session 45, 2014.
3. L. Zehong, G. Liying, Yu Jun, Zhang Jin, Lu Licheng. Research Work of ± 1100 kV UHVDC Technology CIGRE Session 45, 2014.
4. Энергоснабжение Крымского полуострова. Министерство энергетики Российской Федерации, 2015 ([http://minenergo.gov.ru/sites/default/files/texts/Энергосистема %20Крыма_на %20сайт.pdf](http://minenergo.gov.ru/sites/default/files/texts/Энергосистема%20Крыма_на%20сайт.pdf)).
5. Целевая программа «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2020 года». Утв. постановлением Правительства РФ № 790 от 11.08.2014.
6. В 492. Voltage Source Converter (VSC) HVDC for Power Transmission — Economic Aspects and / Comparison with other AC and DC Technologies // CIGRE Working Group B4.46. April 2012.
7. Л.А. Кошечев, Н.Г. Шульгинов. Электропередача постоянного тока ЛАЭС — Выборг // Электрические станции. 2010. № 11.

RusCable.Ru

Энергетика. Электротехника. Связь.
Первое отраслевое электронное СМИ ЭЛ № ФС77-70160



/ruscable.ru



/ruscable



/ruscableru



/ruscableru



telegram

Вы точно нас читаете

Портал RusCable.Ru, ЭНЕРГОСМИ, дайджест RusCable Insider, ElektroPortal.Ru, 1EL, уникальные сервисы «Склад», «Тендеры», «Чеснок», калькуляторы, справочники, статьи, Форум, мобильные приложения и другие ресурсы **медиаходинга «РусКабель»**



реклама

Имеется несколько крупных предприятий по производству силовых кабелей, для которых освоение подводного кабеля постоянного тока вряд ли будет особо сложной задачей, тем более что конструктивно эти кабели проще кабелей переменного тока. Профессионально сложной является укладка кабеля по дну моря. Но, во-первых, укладка кабеля на о. Валаам проводилась российской организацией, а во-вторых, для решения столь ответственной задачи можно на первых порах привлечь одну из фирм, осуществляющих подобные работы.

В этой связи следует обратить внимание на Китай, где еще полтора десятилетия назад постоянный ток был экзотикой, а теперь играет важнейшую роль в решении задач создания и развития единой электроэнергетической системы. Именно в Китае внедрен высший класс напряжения для передачи

