

УДК 621.316

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛПТ И ЛИНИЙ КЛАССА 1150 КВ В ОЭС СИБИРИ

Артюх И.С., студент гр. ЭРб-141 (КузГТУ)

Епанешников В.В., студент гр. ЭПб-141 (КузГТУ)

Научный руководитель: Непша Ф.С., старший преподаватель каф. ЭГиПП  
(КузГТУ)

В настоящее время большая часть электроэнергии передается по воздушным и кабельным линиям переменного напряжения. Однако распространение также получают линии постоянного тока (ЛПТ). Это стало возможным с развитием технологий в области силовой электроники, и как следствие, снижением стоимости и повышением надежности силовой электроники. Необходимость в строительстве ЛПТ связана с рядом достоинств по сравнению с линиями переменного тока. Основным достоинством ЛПТ являются меньшие затраты при строительстве подводных линий связи, а также возможность объединять несинхронно работающие энергосистемы. Поэтому ЛПТ получили распространение с 60-х гг. XX века, где их применение было ограничено реализацией подводных линий связи между Европейскими энергосистемами. Наиболее мощная подводная КЛ с пропускной способностью 2,0 ГВт, протяженностью 70 км более 30 лет связывает энергосистемы Франции и Великобритании через пролив Ла-Манш. За время эксплуатации подводные ЛПТ хорошо себя зарекомендовали, что стало толчком к их распространению в мире. Наряду с экономичностью при реализации подводных КЛ, следует выделить следующие достоинства ЛПТ, которые делают целесообразным строительство ЛПТ на суше:

1. В отличие от линии переменного тока *предел передаваемой мощности не зависит от длины линии*. Предел передаваемой мощности линии переменного тока определяется по формуле:

$$P_{\max} = \frac{E_g \cdot U_c}{X}, \quad (1)$$

где,  $X$  – сопротивление линии,  $U_c$  – напряжение системы,  $E_g$  – ЭДС генератора.

Таким образом, с увеличением длины линии переменного тока, приходится увеличивать сечение проводов для обеспечения необходимого предела передаваемой мощности по условию сохранения устойчивости. В то время как по условию нагрева провода способны пропустить передаваемую мощность. Это вызывает дополнительные затраты на строительство линии электропередач, которых можно избежать при использовании постоянного тока.

2. ЛПТ позволяют связывать между собой несинхронные части энергосистем, а также энергосистемы, работающие на разных частотах. В

данном случае линии постоянного тока не имеют альтернативы и широко применяются для реализации межсистемных связей несинхронного работающих энергосистем.

3. Для функционирования ЛПТ, достаточно использовать один провод. Тем не менее, строительство биполярных ЛПТ целесообразнее, т.к. позволяет выводить в ремонт каждый полюс ЛПТ без существенной потери пропускной способности.

4. Обладают преимуществом по надежности, так как вероятность отключения обоих полюсов ЛПТ (при использовании биполярных ЛПТ) ниже, чем вероятность отключения трехфазной линии переменного тока.

5. Трасса ЛПТ занимает существенно меньшую площадь по сравнению с линиями переменного тока, что особенно важно в условиях значительных затрат на эксплуатацию протяжённых линий.

Однако наряду с достоинствами необходимо выделить недостатки, которые воспрепятствовали широкому распространению линий постоянного тока в мире:

1. Необходимость разработки сооружений конечных подстанций, которые снабжены большим количеством оборудования. Выпрямители и инверторы значительно изменяют форму кривой напряжения на стороне переменного тока. Следовательно, приходится устанавливать мощные сглаживающие устройства, что значительно уменьшает надежность.

2. Отвод мощности от основной линии значительно затруднен.

3. Для функционирования линии необходимо выполнять условие включения линии и полярность, и напряжение, было идентичным с обеих сторон.

В СССР велись активные разработки в области сооружения ЛПТ. В 1970-е годы было принято решение о сооружении ЛПТ Экибастуз-Центр 1500 кВ на высоковольтных тиристорных вентилях, в ВЭИ было создано отделение высоковольтной преобразовательной техники.

Самыми важными и значимыми работами в период 1970 – 1980 гг. явились разработки комплексов электрооборудования для ультравысоковольтных ЛЭП переменного тока напряжением 1150 кВ и постоянного тока 1500 кВ ( $\pm 750$  кВ). Практическая реализация проектов ультравысоковольтных ЛЭП постоянного тока напряжением 1500 кВ и переменного тока напряжением 1150 кВ началась с Постановления Центрального Комитета Коммунистической партии Советского Союза и Совета Министров СССР от 30.04.1981 № 412.

Для обеспечения строительства ЛЭП 1150 и 1500 кВ и производства для них необходимого электрооборудования были привлечены Госплан СССР, Госнаб СССР, Академия наук СССР, Государственный комитет СССР по науке и технике, предприятия практически всех Министерств Советского Союза.

Ввод ЛПТ в эксплуатацию предполагалось осуществить в 1992 -1995 гг. На преобразовательных подстанциях был начат монтаж

электрооборудования, построена воздушная ЛЭП длиной почти 1000 км, но в связи с распадом СССР все работы были прекращены, электрооборудование, поставленное на преобразовательные подстанции, было уничтожено, ЛЭП демонтирована и сдана на металлолом.

Строительство ЛЭП 1150 кВ и 1500 кВ было необходимо для реализации угольных запасов в Канско-Ачинском угольном бассейне, которые оцениваются в 1220,3 млрд тонн. В 1979 г. началось строительство Березовского разреза и Березовской ГРЭС-1. Березовская ГРЭС-1 являлась первой из восьми однотипных тепловых электростанций, намечаемых к строительству. Однако в связи с распадом СССР реализация Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса (КАТЭК) не была доведена до конца, и в настоящее время нет необходимости в постановке транзита 1150 кВ на проектное напряжение.

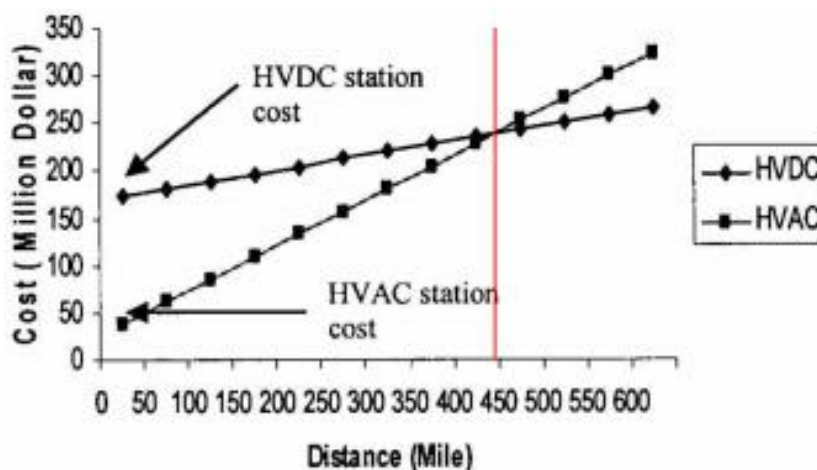


Рис. 1. Зависимость денежных затрат к длине линии, где HVAC – для переменного тока, HVDC – для постоянного тока

Важно отметить, что из-за больших затрат (рис.1) строительство ЛЭП постоянного тока становится экономически целесообразным только при расстояниях более 450 миль (750 км).

В настоящее время часто поднимается вопрос восстановления транзита 1150 кВ Итатская – Алтай – Экибастуз – Челябинск на проектное напряжение 1150 кВ. В статье [1] подробно анализируется этот вопрос, и приводятся данные, которые доказывают отсутствие необходимости в переводе транзита на проектный уровень напряжения 1150 кВ для передачи мощности 5500 МВт. Как было указано выше, транзит 1150 кВ строился для передачи мощности вырабатываемой ТЭС КАТЭК. Однако из всех планируемых к строительству ТЭС КАТЭК, была введена в работу только Березовская ГРЭС (2400 МВт вместо планируемых 6400 МВт).

Перевод линии на проектное напряжение не позволит передавать мощность в 5500 МВт. Для этого необходимо строительство еще одной ВЛ 1150 кВ или как минимум 6 ВЛ 500 кВ.

В качестве альтернативы строительству ВЛ 1150 кВ или шунтирующих ВЛ 500 кВ, авторы считают необходимым рассмотреть возможность строительства ЛПТ. Две ВЛ 500 кВ не могут по условию сохранения устойчивости передавать такую мощность, следовательно, для полного использования пропускной способности транзита 1150 кВ необходимо строительство не менее 6 шунтирующих ВЛ 500 кВ или одной ВЛ 1150 кВ. Так как в данный момент по сечению из трёх линий передаётся около 1800 МВт, она работает не на полную мощность и пропускная способность ВЛ 1150 кВ используется не полностью. В перспективных планах (при условии реализации КАТЭК) есть вероятность, что по линии будет передаваться проектная мощность 5500 МВт, так как подстанции транзита 1150 кВ возможно перевести на проектное напряжение. Данный транзит имеет возможность передачи заявленной мощности, но при аварийном отключении ВЛ 1150 кВ передаваемая мощность распределяется между оставшимися в работе двумя ВЛ 500 кВ. С технической точки зрения более рентабельно строительство одной биполярной ЛПТ 1500 кВ (два полюса по 750 кВ). Так как у ЛПТ нет предела мощности, следовательно, она способна выдержать нагрузку в 5500 МВт. Если одновременно произойдет повреждение ВЛ 1150 кВ и ЛПТ 1500 кВ, то при обрыве одного полюса ЛПТ, вся нагрузка перейдет на другой полюс 750 кВ, который выдержит нагрузку 5500 МВт. Длина транзита постоянного тока составит около 2000 км, и его строительство является целесообразным (см. рис. 1) с технико-экономической точки зрения, так как в качестве альтернативы рассматривается строительство 6 ВЛ 500 кВ. Строительство ЛПТ 1500 кВ для резервирования ВЛ 1150 кВ будет наиболее целесообразным вариантом по следующим причинам:

1. Повышение устойчивости системы без увеличения токов КЗ.
2. Уменьшение сечения проводов и количества опор для заданной пропускной способности ЛЭП, так как пропускная способность высоковольтных передач постоянного тока выше при заданном диаметре проводника.
3. Высоковольтные линии постоянного тока могут передавать большую мощность по проводнику, т.к. при заданной номинальной мощности постоянное напряжение в линии постоянного тока ниже, чем амплитудное напряжение в линии переменного тока.
4. Поскольку высоковольтная передача постоянного тока допускает передачу энергии между не синхронизированными системами переменного тока, то это позволяет увеличить устойчивость системы. Этот факт препятствует каскадному распространению аварии из одной части энергосистемы в другую, при этом электроэнергия продолжает поступать в систему и из нее в случае незначительных аварий.

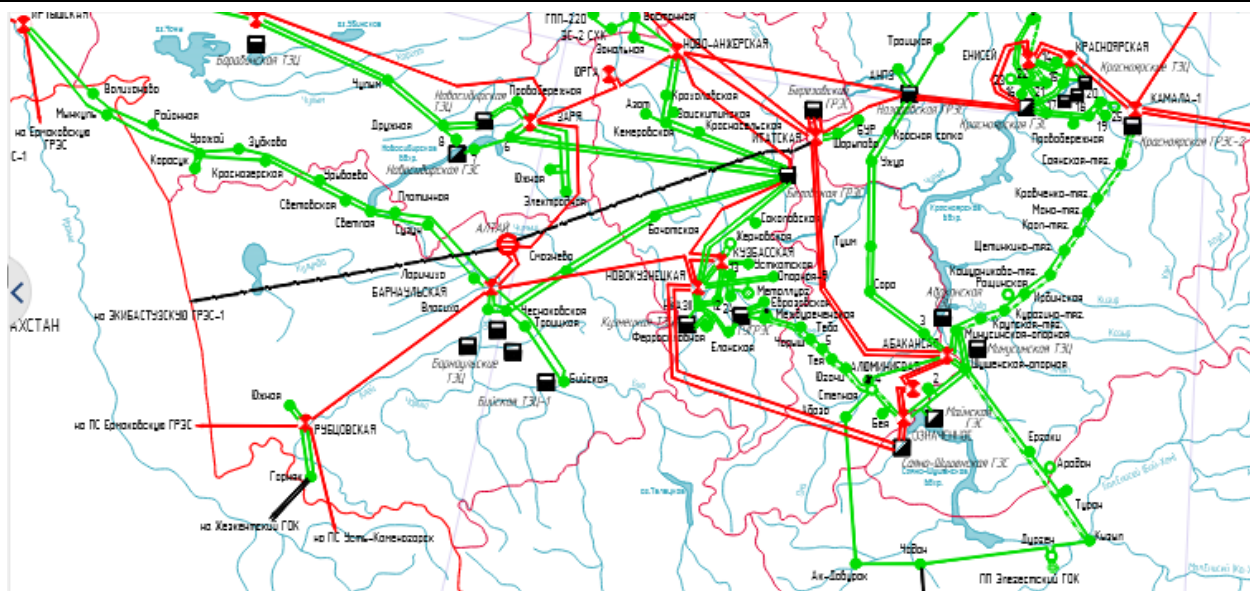


Рис. 2. Карта-схема размещения линий электропередачи, подстанций напряжением 220 кВ и выше и электростанций Восточной Сибири на 2016-2022 годы.

На рис. 2 представлена предполагаемая трасса прокладки ЛПТ 1500 кВ, как было отмечено выше длина составляет порядка двух тысяч километров, рядом с линией 1150 кВ (черная линия).

В заключении хотелось бы отметить, что ещё в конце 2006 года в мире работали всего 4 ЛПТ, каждая мощностью более 50 МВт. К 2008 году в мире уже работали 102 ЛПТ и ВПТ общей мощностью уже более 50 ГВт. Сейчас же по данным международной электроэнергетической группы СИГРЭ в мире активно ведутся проектные работы по 50 ЛПТ высокого напряжения с предполагаемым вводом их в эксплуатацию до 2020 г. Таким образом, ЛПТ имеют большие перспективы и их применение особенно актуально в условиях Российской Федерации.

### Используемая литература

1. О целесообразности строительства транзита 1150 кВ Урал–Казахстан–Сибирь [Электронный ресурс] - С. А. Павлушко, Ф. Ю. Опадчий – Режим доступа: [http://so-ups.ru/uploads/media/academy\\_energy\\_12\\_2012.pdf](http://so-ups.ru/uploads/media/academy_energy_12_2012.pdf)
2. Высоковольтные линии постоянного и переменного тока. [Электронный ресурс] - [30] Инженеры России - Режим доступа: <http://www.стабилизатор.рф/reference/tech-articles/327-direct-current-lines-01>
3. Постоянный ток: плюсы и минусы [Электронный ресурс]: <http://www.ognetika.com/postoyannyj-tok-plyusy-i-minusy/>
4. Преимущества высоковольтных передач постоянного тока [Электронный ресурс]: <http://digitalsubstation.com/blog/2015/11/03/v-chyom-preimushhestva-vysokovoltnyh-peredach-postoyannogo-toka/>