

## УДК 621.311 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

© Е.Р. Абдулина<sup>1</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В данной статье рассматриваются преимущества передачи электроэнергии воздушными и кабельными линиями сверхвысокого и высокого напряжения постоянного тока, приводятся примеры реализации проектов по использованию постоянного тока для электропередач на разные расстояния. Технологии передачи, благодаря мировым исследованиям и разработкам, становятся все более рентабельными. Электрические сети сверхвысокого и высокого напряжения постоянного тока позволяют экономично транспортировать большие объемы электроэнергии на дальние расстояния, передавать энергию, полученную от возобновляемых источников, в магистральные сети, объединять энергосистемы с различными технологическими параметрами. Мировая практика показывает, что сегодня без передач постоянного тока невозможно эффективно развивать транспорт, использующий электроэнергию. Системы DC – управляемые линии, повышающие стабильность, надежность и производительность энергосистем, снижающие потери энергоресурсов.

*Ключевые слова: сети постоянного тока, воздушные линии электропередач, кабельные линии электропередач, преобразовательные подстанции.*

### DIRECT CURRENT SYSTEM

**E. Abdulina**

Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, Russia, 664074

This article discusses the advantages of power transmission by air and cable lines of extra high and high-voltage of direct current and exemplifies the projects implementation to use DC for long-distance transmission of electricity. Due to global researches and developments transmission technology are becoming more profitable. High and extra high voltage dc systems enable economically to transport large volumes of electricity over long distances, to transmit the energy obtained from renewable sources to transmission network, to combine the power system with different technological parameters. The world practice shows that today it is impossible to effectively develop electric transport without a DC transmission. DC systems are operated lines increasing stability, reliability and performance of power systems that reduce energy losses.

*Keywords: direct current system, overhead power transmission lines, cable power transmission lines, converter substations.*

Вторая промышленная революция в конце XIX в. происходила на базе производства электричества. В это время шла борьба между системами на постоянном токе (англ. Direct Current – DC) и на переменном (англ. Alternating Current – AC). Эти два вида связаны с именами таких известных изобретателей и предпринимателей, как Томас Эдисон – постоянный ток, Джордж Вестингауз и Никола Тесла – переменный ток [1]. Этот период развития электротехники получил название «война токов», победу в которой одержала трехфазная система. Она превзошла и двухфазную, и систему постоянного тока.

Несмотря на это, сети постоянного тока были не полностью вытеснены из повседневной жизни. Например, в наше время бесперебойную работу оборудования от аккумуляторов обеспечивают сети постоянного тока. Также он применяется на различных видах транспорта: автомобилях, самолетах, космических аппаратах, городском электротранспорте; в телекоммуникации – на телефонных станциях; в аварийном освещении различных объектов и многом другом.

Прошло уже более 100 лет со времени победы системы переменного тока, и вот в 2007 г. в Нью-Йорке прошла официальная ликвидация последней линии электроснабжения постоянного тока с отключением 1600 потребителей.

---

<sup>1</sup> Абдулина Елена Равильевна, аспирант Института энергетики кафедры энергетические системы и комплексы, e-mail: abdulinaelena@mail.ru

Abdulina Elena, postgraduate of the Institute of Energy, Department of Energy Systems and Complexes, e-mail: abdulinaelena@mail.ru

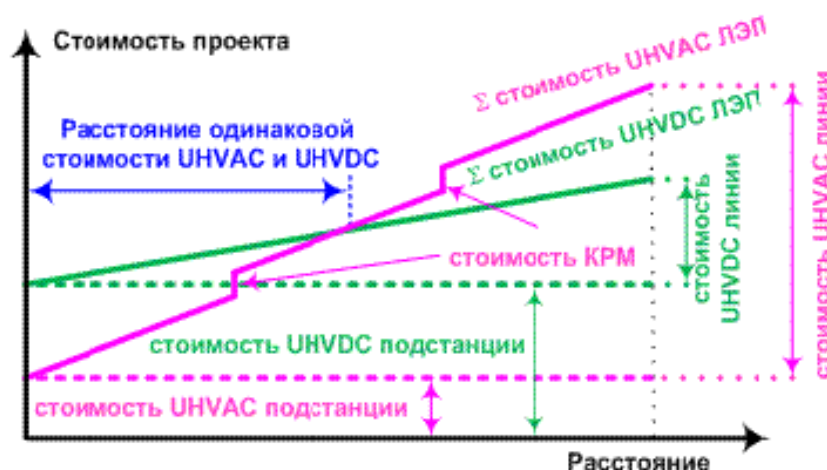
И все же наблюдается развитие технологий и продвижение проектов на постоянном токе в ряде областей. Остановимся на более актуальных из них. Это высоковольтные и сверхвысоковольтные ЛЭП.

В таблице приведены первые линии электропередач постоянного тока в Европе, которые, будучи экспериментальными и промышленными, но всё же послужили примером для будущих проектов [1].

### Первые ЛЭП постоянного тока в Европе

Наименование линии HVDC	Длина, км	Мощность, МВт	Напряжение, кВ	Год ввода	Тип	Примечания
Дессау – Берлин (Elbe-Projekt)	115	60	± 200	нач. в 1943	кабельная	не завершена
Кашира – Москва	100	30	200 монофазная	1950	кабельная	на базе Elbe-Projekt
о. Готланд, Швеция	98	20	100 однополюсная	1954	кабельная подводная	ASEA
Донбасс – Волгоград	475	750 (по проекту)	± 400 (по проекту)	1962	воздушная	эксплуатируется при ± 100

Изначально преобразователи на HVDC подстанциях строились, как правило, на базе ртутных вентилях. Но всё изменилось после разработки высоковольтных тиристоров и биполярных транзисторов с изолированным затвором (БИТЗ), которые позволили создать более эффективные статические преобразователи для высоковольтных линий электропередач.



**Сравнительные стоимости проектов UHVDC и UHVAC (по результатам ассоциации FOSG - Friends of the Offshore Supergrid)**

Из рисунка видно, что стоимость строительства преобразовательной подстанции на постоянном токе значительно выше той, что на переменном токе (пунктирные линии). Сплошными показаны стоимости строительства линий переменного и постоянного тока. Удешевление последнего происходит из-за меньшего количества проводов, изоляторов, линейной арматуры, более легких опор и отсутствия компенсаторов реактивной мощности (КРМ), которые, в свою очередь, дают скачок в стоимости линии переменного тока.

Общая цена современных воздушных линий на постоянном токе и преобразовательных подстанций приближается к стоимости линий на переменном токе и подстанций при передаче электроэнергии на расстояния от 0,5 до 1,2 тыс. км. А при передаче на расстояния выше 2 тыс. км цена строительства линии постоянного тока значительно ниже стоимости строительства линии переменного тока. Плюс ещё и в том, что воздушные линии передачи постоянного тока требуют меньшую величину землеотвода.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что линии постоянного тока актуальны для тех стран, где расстояния между потребителями и генерацией электроэнергии более 1 тыс. км.

Так, в Китае, в июле 2010 г. в рамках программы строительства линий UHVDC  $\pm 800$  кВ введена в эксплуатацию ЛЭП мощностью 7200 МВт и длиной около 2 тыс. км от тибетской ГЭС Сянцзяба до Шанхая. Стабильное функционирование линии постоянного тока ультравысокого напряжения в полной мере продемонстрировало уровень безопасности, а также экономичность и преимущества технологии передачи энергии ультравысокого напряжения. В 2013 г. ГЭК Китая построила и ввела в эксплуатацию еще две линии постоянного тока ультравысокого напряжения, по которым сейчас выполняется безопасная и стабильная передача электроэнергии [2, с. 24].

Энергосистема Индии состоит из пяти региональных энергосистем: Северной, Западной, Южной, Восточной и Северо-Восточной. Поскольку большая часть энергоблоков сосредоточена в восточной части региона Северной энергосистемы, а основные центры нагрузки – в центральной и западной, требуется передача электроэнергии на большие расстояния из одного региона в другой. Для этого в Индии была построена ЛЭП постоянного тока высокого напряжения  $\pm 500$  кВ максимальной передаваемой мощностью 1500 МВт, которая работает параллельно с электропередачей переменного тока напряжением 400 кВ, обеспечивая электроснабжение энергосистемы напряжением 220 кВ [2, с. 35].

Если рассматривать кабельные линии для передачи постоянного тока, то выгода просматривается даже на незначительных расстояниях, всего в несколько десятков километров. Это связано с небольшими требованиями к изоляции и с уменьшением потерь электроэнергии относительно передачи переменного тока. Также на постоянном токе кабельная линия может передавать почти в три раза большую мощность. Поэтому распространены кабельные линии постоянного тока для преодоления водных преград. По всему миру построены многие десятки кабельных линий постоянного тока с напряжением до  $\pm 320$  кВ и диапазоном мощностей от 30 до 330 МВт. Энергосистема Нидерландов до 30% электроэнергии получает по подводным кабелям от своих ветряных электростанций в Северном море. Использование постоянного тока для подводных линий электропередач помогает избежать потерь реактивной мощности. Следует отметить, что в определенных ситуациях линии электропередач постоянного тока могут оказаться полезными даже на коротких расстояниях, несмотря на высокую стоимость оборудования.

В 2008 г. сдана в эксплуатацию самая длинная в мире подводная кабельная система NorNed, соединяющая Норвегию и Нидерланды, длина кабеля составляет 0,58 тыс. км, мощность – 700 МВт, напряжение  $\pm 450$  кВ. Предстоит реализация подобных и даже более масштабных проектов, в том числе EuroAsia Interconnector (Греция - Кипр – Израиль, ввод планируется в 2019 г.), Atlantic Wind Connection (США), Shetland (Великобритания), NordBalt (Литва – Швеция, ввод планировался на март 2016 г.) [1].

Также технология HVDC применяется с целью передачи электроэнергии между несинхронными сетями переменного напряжения. Для этого на специальных подстанциях происходит преобразование из одного переменного напряжения в другое через промежуточное постоянное напряжение. Так, например, Выборгская преобразовательная подстанция мощностью 400 кВ (ввод в эксплуатацию в 1981 г.) была построена для экспорта электроэнергии из СССР в Финляндию. Во время её модернизации (2011 г.) была реализована возможность двусторонней передачи электроэнергии [3].

Как видно из вышесказанного, передачу электроэнергии на дальние расстояния выгоднее осуществлять на постоянном токе. Но, возвращаясь к рисунку, следует отметить, что в воздушных линиях длиной до 0,5 тыс. км переменный ток экономически более выгоден, потому что стоимость трансформаторных подстанций существенно ниже.

Из плюсов использования постоянного тока можно указать на то, что линии DC не имеют заметного электромагнитного излучения, и, что в районах с высокой стоимостью землеотвода под зоны отчуждения, можно использовать кабельные сети для передачи постоянного тока даже при малых расстояниях. Поэтому можно предположить о растущих позициях технологий постоянного тока в будущем.

В заключение стоит отметить, что отработку новых проектов сетей постоянного тока, в первую очередь, следует производить на обособленных сетях, чтобы сразу оценить все их преимущества.

### **Библиографический список**

1. Зотин О.Т. В преддверии возрождения постоянного тока. DC Rematch Upcoming // Электронный журнал «ЭНЕРГОСОВЕТ». 2013. № 1 (26).  
URL: [http://www.energosovet.ru/bul\\_stat.php?idd=366](http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=366) (дата обращения: 04.01.2016)
2. Лю Чженья. Электрические сети ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока. 2-е изд., испр. М. : Изд-во МЭИ, 2015. 624 с.

3. Системный оператор обеспечил режимные условия испытаний реверсивного режима преобразовательного блока подстанции Выборгская // Системный оператор единой энергетической системы [Электронный ресурс].

URL: [http://so-ups.ru/index.php?id=odu\\_northwest\\_news\\_view&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=4846](http://so-ups.ru/index.php?id=odu_northwest_news_view&tx_ttnews[tt_news]=4846) (дата обращения 04.01.2016)