

УДК 621.315.23

**ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КАБЕЛЕЙ**

Борщевский А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Петрашевич Н.С.

Высокотемпературные сверхпроводящие (ВТСП) кабельные линии переменного и постоянного тока являются инновационной разработкой, которая способна стать решением проблем современных систем электроснабжения больших городов, таких как Токио, Нью-Йорк и т.д. Однако из-за низких температур, при которых нужно поддерживать сверхпроводник усложняют конструкцию ВТСП кабельной сети по сравнению с обычными кабелями.

Строение сверхпроводящего кабеля с «холодным» диэлектриком компании Nexans® представлено на рисунке 1 [1].

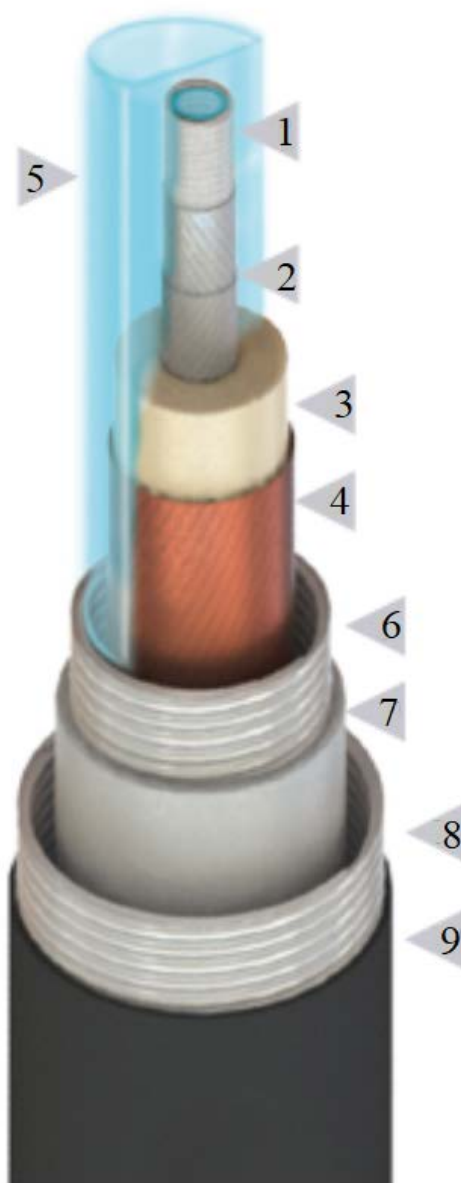


Рисунок 1 – Строение сверхпроводящего кабеля постоянного тока

1. **Формер.**

Этот элемент представляет собой спираль из нержавеющей стали, окруженную пучком проводов из меди и нержавеющей стали, обмотанных медной лентой[2]. Он предназначен для принятия на себя механических нагрузок и одновременно является основой для укладки сверхпроводящих повивов.

2. **Слой высокотемпературного сверхпроводника.**

Выполняет функцию проводника. Количество ВТС-лент или проводов зависит от номинального тока.

3. **«Холодный» диэлектрик.**

В связи с очень низкими температурами электрическая изоляция в ВТСП кабеле должна быть не только отличным диэлектриком, но и выдерживать работу при низких температурах, а также многократный тепловой цикл. Обычно для ВТСП кабелей используют бумажные ленты (целлюлоза), или полипропиленовые ламинированные бумажные ленты (PPLP), или полиимидные ленты.

4. **Медная лента.**

5. **Жидкий азот.**

Выполняет функцию теплоносителя, отводя тепло от ВТСП кабеля к охладителю.

6. **Внутренняя стенка криостата.**

7. **Суперизолятор.**

Материал, имеющий очень низкую теплопроводность для теплоизоляции ЖА и сверхпроводника от окружающей среды. Также между внутренней и внешней стенок криостата может просто использоваться вакуум.

8. **Внешняя стенка криостата.**

9. **Полиэтиленовая оболочка.**

Однако ВТСП кабель может состоять из нескольких частей, что потребует специальных элементов, которые будут соединять их. На рисунке 2 представлено сверхпроводящее кабельное соединение, которое состоит из проводника, криостата и изоляции. В качестве проводника используют медь. Поперечное сечение медного проводника имеет большую величину для того, чтобы уменьшить потери при выделении тепла в нем. Сам медный проводник припаян к сверхпроводнику. Сверхпроводящее кабельное соединение позволяет ЖА свободно перемещаться через его, а также обеспечивает теплоизоляцию участка соединения.



Рисунок 2 – Сверхпроводящее кабельное соединение

Перед установкой первых опытных образцов возник вопрос о том, как подключить сверхпроводящий кабель к существующей сети. Решением стали специальные концевые муфты (Рисунок 3), в которых сверхпроводящие ленты, которые намотаны на сверхпроводящий кабель, соединены с жилой кабеля (заключена в криостат), находящейся в концевой муфте.



Рисунок 3 – Концевая муфта

Как известно, явление сверхпроводимости наблюдается только при температурах ниже критической. Однако для удержания таких температур необходимы специальные системы охлаждения.

Для поддержания температуры высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) кабелей ниже критической очень широкое применение получил способ, заключающийся в циркуляции жидкого азота (ЖА) через кабельную систему.

Если длина сверхпроводящего кабеля имеет большую величину, то потребуется установка нескольких охлаждающих станций и систем компенсации давления.

В итоге все элементы ВТСП кабельной сети в комплексе можно рассмотреть на примере проекта по установке ВТСП кабеля между подстанциями Риверсайд и Менэндз (Олбани, Нью-Йорк) (Рисунок 4) [3].

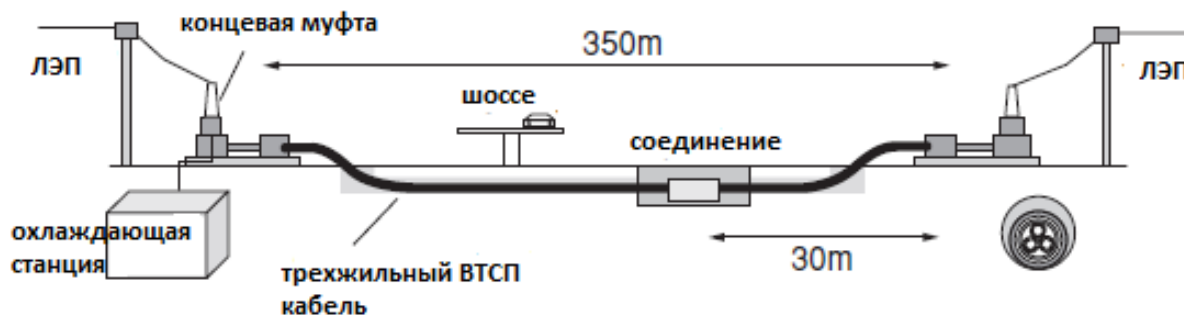


Рисунок 4 – ВТСП кабель в Олбани(Нью-Йорк)

ВТСП кабель подключается к сети с помощью концевой муфты. В начале линии находится охлаждающая станция, которая обеспечивает охлаждение кабеля по всей его длине. На расстоянии в 30 метров до конца линии установлено сверхпроводящее кабельное соединение.

В заключении можно сказать, что несмотря на сложность конструкции сверхпроводящих кабельных сетей эта технология имеет перспективы для внедрения в энергосистемы, так как ВТСП кабели имеют такие преимущества, как малые потери энергии сравнению с обычными ЛЭП, передача большой мощности при относительно низком напряжении, повышенная устойчивость сети и предотвращение каскадных отключений потребителей.

#### Литература

1. Nexans [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.nexans.de/eservice/Germany-en/navigatepub\\_0\\_-32481\\_-32066\\_2\\_12325/High\\_Voltage\\_DC\\_Cables\\_br\\_HVDC\\_Cables\\_.html](https://www.nexans.de/eservice/Germany-en/navigatepub_0_-32481_-32066_2_12325/High_Voltage_DC_Cables_br_HVDC_Cables_.html). – Дата доступа: 03.07.2020.
2. Высоцкий, В. Создание силового сверхпроводящего кабеля на базе ВТСП технологий история проекта и результаты/В. Высоцкий//НАУКА И ТЕХНИКА[Электронный ресурс].–2017.– №2-Режим доступа: <http://www.kp-info.ru/images/File/2010%202%203-10.pdf>.– Дата доступа:08.10.2020.
3. Takato Masuda. High-temperature Superconducting Cable Technology and Development Trends [ Electronic resource]/ Takato Masuda, Hiroyasu Yumura, Michihiko Watanabe [ and others]// SEI TECHNICAL REVIEW. – Режим доступа: <https://global-sei.com/technology/tr/bn59/pdf/59-2.pdf>. – Дата доступа: 04.10.2020.