

УДК 621.565.45

СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

Борщевский А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

Устойчивое электроснабжение населения является одной из наиболее важных задач в будущем. Высокотемпературные сверх проводящие (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. А в случае использования ВТСП кабельная линия (КЛ) постоянного тока приобретает новое качество передачи, которая становится управляемым элементом сети, регулирующим потокораспределение, а также элементом, обладающим функцией токоограничения, что позволяет осуществить взаимное резервирование энергорайонов мегаполисов. На рисунке 1 показаны схемы электрической сети до и после модернизации. ВТСП кабель напряжением 10 кВ соединил подстанции Herkules (где имелась дополнительная мощность) к подстанции Dellbrügge для того, чтобы удовлетворить увеличение потребности в мощности. Более того кроме замены обычного кабеля также был демонтирован силовой трансформатор 110/10 кВ, который находился в центре города Эссен.

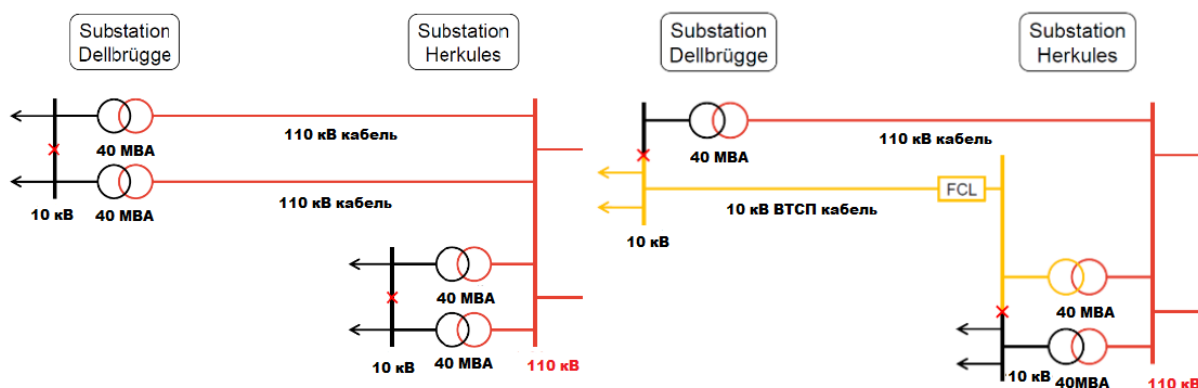


Рисунок 1 – Пример замены 110кВ кабеля ВТСП кабелями при реализации проекта Amracity

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

Для поддержания температуры высокотемпературных сверх проводящих (ВТСП) кабелей ниже критической очень широкое применение получил способ, заключающийся в циркуляции жидкого азота(ЖА) через кабельную систему. Поток ЖА отводит тепло от кабельной системы и рассеивает его на холодильной станции. На рисунке2 показана упрощенная схема типичной системы охлаждения ВТСП кабеля. [1]

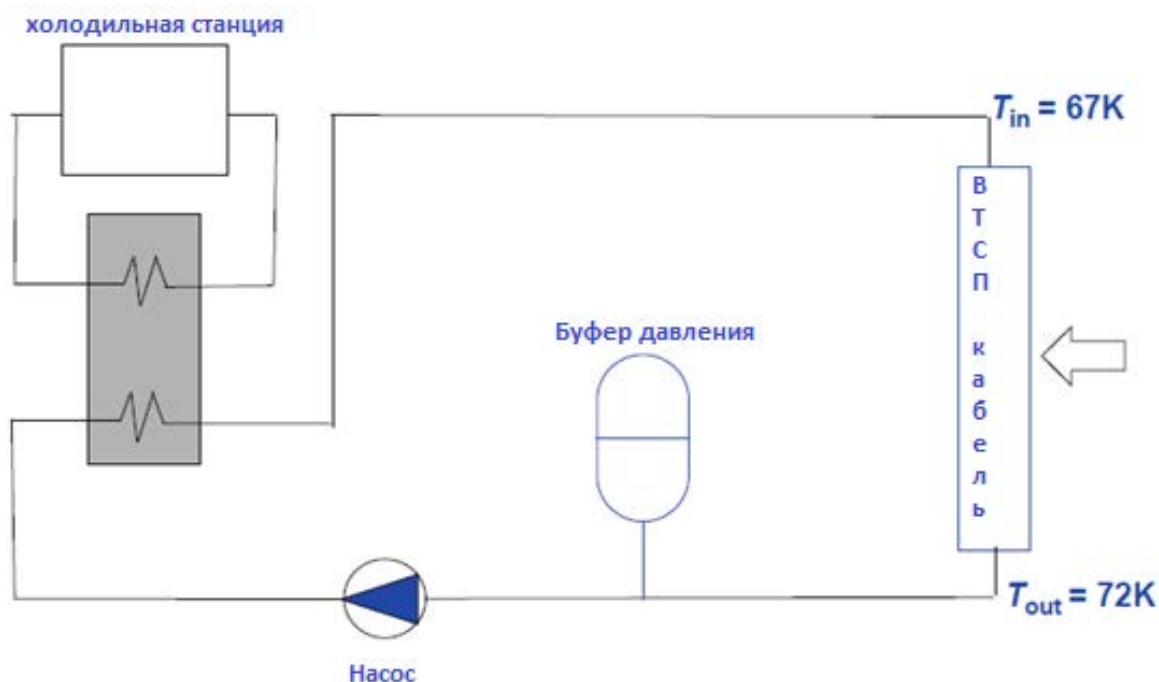


Рисунок 2 – Упрощенная схема системы охлаждения ВТСП кабеля

Холодильная система представляет собой комбинацию трех отдельных составляющих. Контур охлаждающей жидкости ЖА, поступающий в ВТСП кабель и обратно имеет системы перекачки и компенсации давления. Теплообменник рассеивает тепло из контура кабельной системы HTS в контур хладагента, из которого тепло отводится с помощью холодильной станции.

В большинстве случаев в системе охлаждения входят два отдельных контура. Один контур является частью самого холодильника, который может быть открытым или закрытым, и рабочей жидкостью которого может быть гелий, азот или газовая смесь, в то время как другой контур состоит из ЖА, циркулирующего для охлаждения кабельной системы, которая всегда является автономным замкнутым контуром с LN₂, полностью содержащимся внутри кабельного криостата[1].

Компания Messer®предложила свое решение по этому вопросу, интегрировав свой охлаждающий агрегат при реализации проекта Ampacity (рисунок 3)[2].

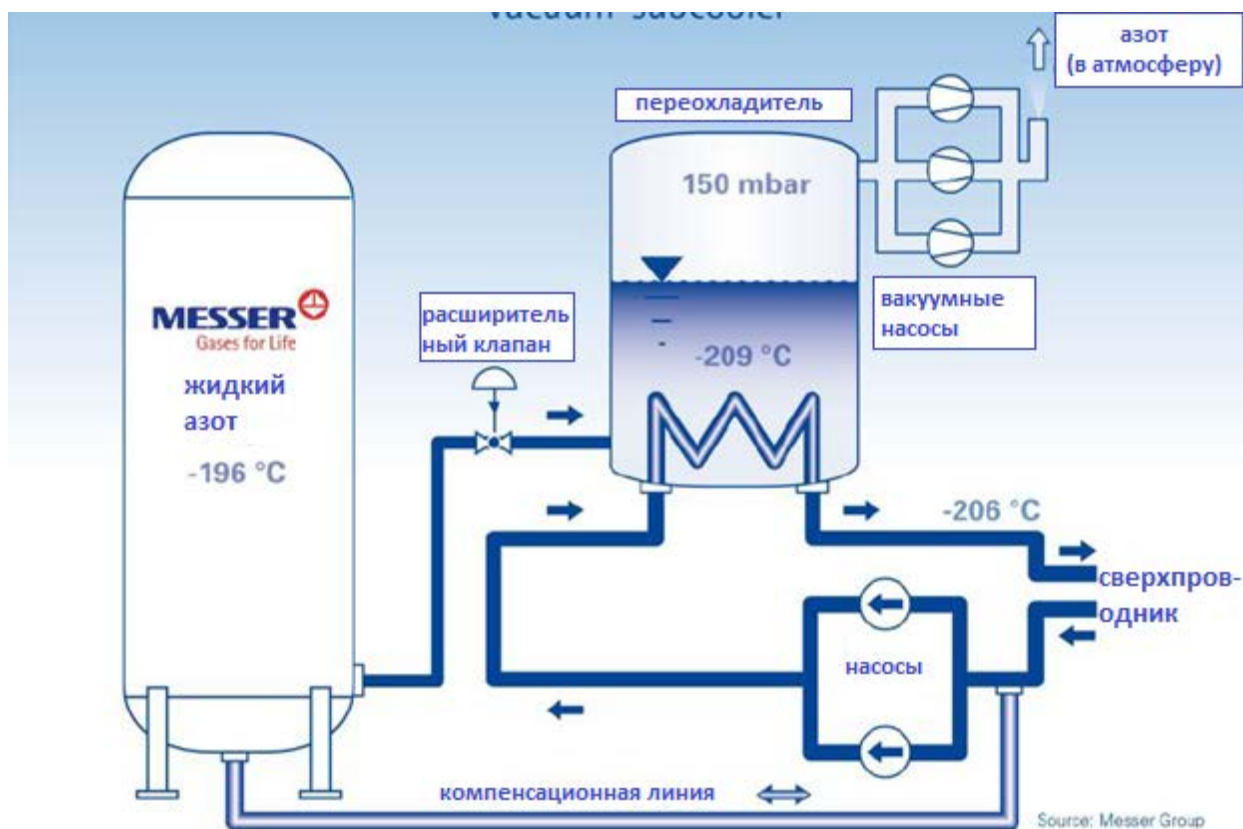


Рисунок 3 – Охлаждающий агрегат компании Messer

В качестве охлаждающего вещества и теплоносителя используется жидкий азот (ЖА), который прокачивается через сверхпроводящий кабель. ЖА, который уже прошел через кабель, охлаждается в переохладителе до температуры -206°C и снова циркулирует по нему. Передвижение ЖА происходит за счет двух установленных циркуляционных насосов, один из которых находится в рабочем состоянии, другой - в режиме ожидания. В случае неисправности происходит автоматическое переключение на резервный. Стоит отметить, что техническое обслуживание насоса производится без остановки контура.

В баке с ЖА температура составляет -196°C . Охладитель, пройдя через расширительный клапан, охлаждается до температуры -209°C и попадает в переохладитель. Температура ЖА в переохладителе составляет -209°C . ЖА в переохладителе испаряется при давлении в 150 мбар и высвобождается в атмосферу. Для работы на полную мощность работают два вакуумных насоса. При неисправности одного из них происходит автоматическое переключение на 3-й.

Стоит отметить, что теоретически контур с ЖА герметичен. Однако при эксплуатации из-за небольших утечек сброса избыточного давления, количество ЖА в системе со временем уменьшается, в следствие чего требуется время от времени пополнение контура. Обычно этот вид заправки незначителен по сравнению с циклом холодильника с открытым контуром, где охлаждающие эффекты производятся путем разгерметизации и потребления ЖА, и поэтому регулярная заправка ЖА является частью нормальных рабочих процедур [1].

Таким образом, системы охлаждения ВТСП кабелей является одной из самых важных составляющих. Поэтому они должны выполнять свою функцию даже во время непредвиденных ситуаций, таких как перебои в электроснабжении или техническое обслуживание, а сама конструкция системы охлаждения должна гарантировать бесперебойную работу даже при нарушении в работе одного из компонентов этой системы.

Литература

1. А.Р. Malozemoff. High-temperature superconducting (HTS) AC cables for power grid applications [Electronic resource]/А.Р. Malozemoff, J. Yuan, С.М. Rey [and others]// Woodhead Publishing Series in Energy: Number 65 Superconductors in the Power Grid. Materials and Applications. – Режим доступа: <https://www.elsevier.com/books/superconductors-in-the-power-grid/rey/978-1-78242-029-3>. – Дата доступа: 04.08.2020.
2. Friedhelm Herzog. Liquid Nitrogen operated Cooling Systems for Superconducting Power Lines/Friedhelm Herzog// KIT-Bibliothek[Electronic resource].-Karlsruhe,2017.–Mode of access:<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000075558/4402818>–Date of access:03.10.2020