

КОМПЛЕКСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВТСП КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРОТЯЖЕННОСТЬЮ 1200 М

АВТОРЫ:

Т.В. РЯБИН,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

В.Е. СЫТНИКОВ,
Д.Т.Н.,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

А.В. КАЩЕЕВ,
К.Э.Н.,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

М.В. ДУБИНИН,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Сверхпроводящие кабели в настоящее время являются наиболее развитой и перспективной областью применения высокотемпературной сверхпроводимости

в электроэнергетике. Сверхпроводящие кабели имеют очевидные преимущества при передаче больших потоков мощности по электрическим сетям по сравнению с традиционными кабелями.

Ключевые слова: криогенное оборудование; ВТСП кабельная линия; высокотемпературная сверхпроводимость; система криогенного обеспечения; испытания аварийных режимов.



Измерительный блок криогенной системы

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы было предложено и разработано большое количество различных конструкций высокотемпературных сверхпроводящих кабелей (ВТСП) для передачи мощности от десятков до сотен мегаватт, а также экспериментальных кабельных линий (КЛ) длиной до нескольких сотен метров [1]. Для обеспечения циркуляции жидкого азота в этих проектах в основном применяются два типа криостатов: гибкие гофрированные криостаты [2, 3] и системы с жесткими трубами [4].

В последнее время все больший интерес вызывают ВТСП кабели постоянного тока. Они предназначены для создания мощных, протяженных линий электропередачи [5] и КЛ для соединения подстанций на распределительном напряжении [6, 7]. Это приводит к необходимости решения таких задач, как бес-

печение надежности системы криогенного обеспечения (СКО) КЛ, поддержание заданных параметров жидкого азота, поддержание параметров вакуумной изоляции, контроль уровня тепловой нагрузки и контроль перепада давления. В рамках проекта ВТСП КЛ постоянного тока для энергосистемы Санкт-Петербурга были определены электрические и гидравлические характеристики линии и проанализированы наиболее вероятные аварийные режимы СКО. В результате был разработан аппаратно-программный комплекс с системой блокировок и защиты ВТСП КЛ постоянного тока.

ВТСП КЛ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

ВТСП КЛ являются инновационной разработкой, позволяю-

щей решить значительную часть проблемы энергоснабжения потребителей. В электрических сетях возможно создание схемы с использованием ВТСП кабелей переменного и постоянного тока. Однако дальнейшие кабельные передачи возможны только с использованием линий постоянного тока, так как любые, в том числе сверхпроводящие, КЛ переменного тока имеют ограничение по длине, обусловленное возникновением зарядных токов, которые приводят к снижению мощности на дальнем конце линии:

$$I_c = U_\omega C_0 L, \quad (1)$$

где U — фазное напряжение; ω — круговая частота; C_0 — емкость; L — длина линии.

В результате длина КЛ переменного тока не превышает нескольких десятков километров.

СХЕМА ПРОКЛАДКИ ВТСП КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

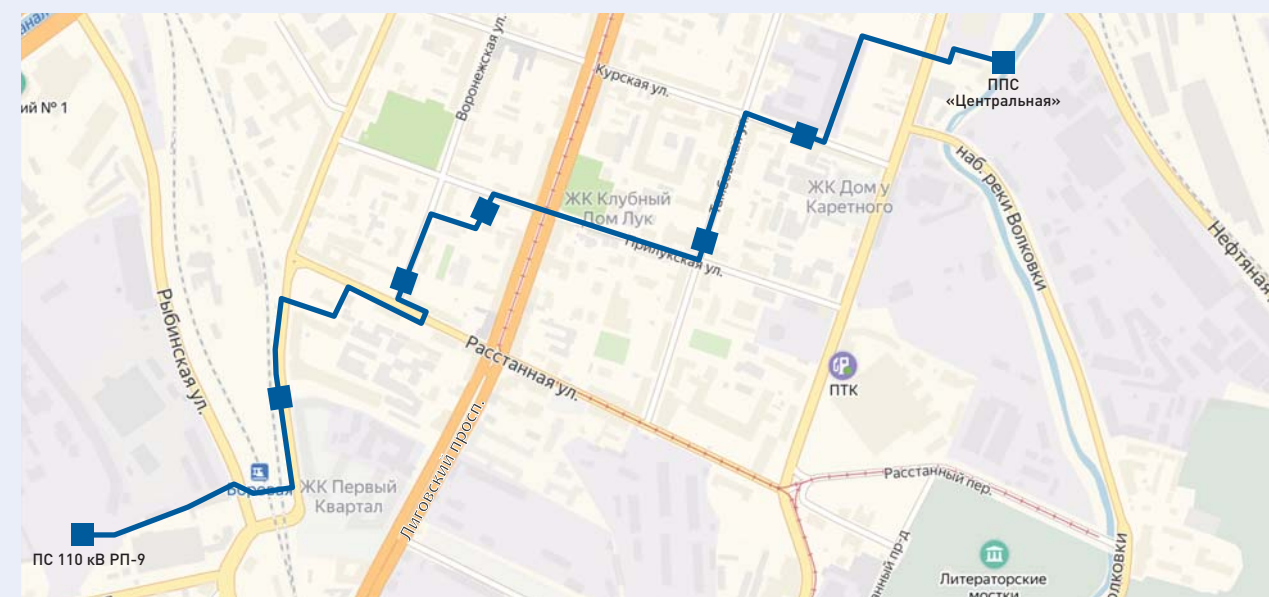


Рис. 1

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВТСП КЛ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Передаваемая мощность	50 МВ
Рабочее напряжение	20 кВ
Рабочий ток	2500 А
Рабочая температура	66–80 К
Протяженность КЛ	2500 м
Схема преобразовательного устройства	12-пульсная
Возможность реверса	Обеспечена
Мощность СКО	12 кВ при 70 К
Давление жидкого азота	до 1,4 МПа
Массовый расход жидкого азота	0,1 ÷ 0,6 кг/с

Таблица 1

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ВСТАВКИ

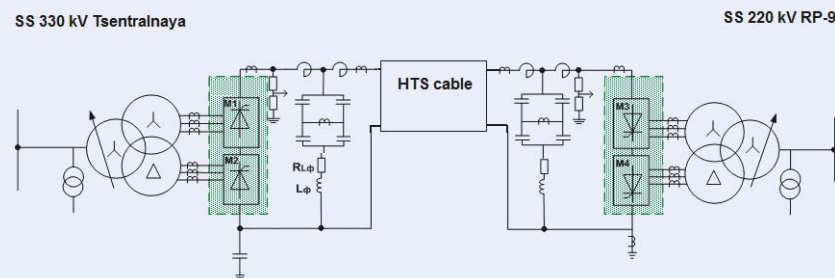


Рис. 2

ПРОЕКТ «РАЗРАБОТКА И СТРОИТЕЛЬСТВО ВТСП КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА»

Проект ВТСП КЛ постоянного тока для энергосистемы Санкт-

Петербурга предполагает соединение подстанции 330 кВ «Центральная» и подстанции 220 кВ РП-9. Протяженность КЛ составляет около 2500 м, а криогенного контура жидкого азота — 5000 м. Использование ВТСП КЛ постоянного тока для соединения двух подстанций позволяет реализовать реверсивный режим питания и обеспечивает повышение надежности электроснабжения потребителей без возникновения недопустимых (аварийных) электрических режимов и без увеличения уровней токов короткого замыкания (КЗ). КЛ со-

стоит из шести строительных длин (рис. 1 на с. 31), двух концевых муфт (токовводов), пяти соединительных муфт, двух преобразовательных подстанций, системы криогенного обеспечения, систем управления, контроля и защиты. Содержание и цели проекта достаточно подробно описаны в литературных источниках [8, 9]. Общие характеристики КЛ приведены в табл. 1.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛИНИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Как показано на рис. 2, ВТСП КЛ соединяет подстанцию 220 кВ РП-9 и подстанцию 330 кВ «Центральная» на среднем уровне напряжения.

КЛ является вставкой постоянного тока. Передача большого объема энергии на распределительном напряжении осуществляется по сверхпроводящему кабелю, а преобразование AC-DC-AC, ограничение токов КЗ и регулирование потоков мощности осуществляются преобразовательными подстанциями. Линия постоянного тока обеспечивает взаимное резервирование двух энергорайонов, питающихся от подстанций РП-9 и «Центральная», и, как следствие, повышение надежности электроснабжения потребителей.

Подробные результаты всего комплекса электрических испытаний представлены в работе В.Е. Сытникова и соавторов [10]. Текущие вольтамперные характеристики (ВАХ) прямого и обратного проводников для линии 860 м показаны на рис. 3. Точка «В» на рисунке соответствует значению критического

ВАХ ДЛЯ ПРЯМОГО (А) И ОБРАТНОГО (Б) ПРОВОДНИКОВ ВТСП КЛ ДЛИНОЙ 860 М

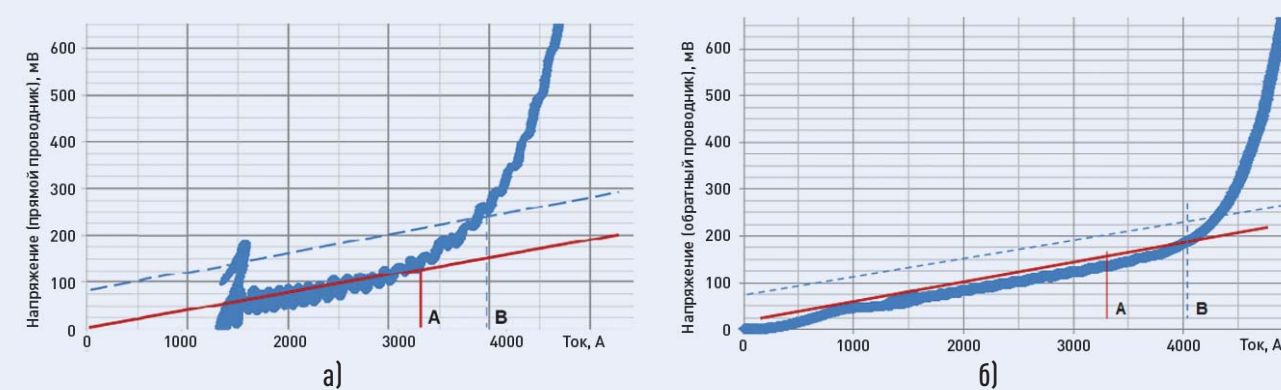


Рис. 3

тока, определяемого по критерию $E = 1$ мкВ/см. Точка «А» соответствует значению критического тока, определяемого как начало отклонения ВАХ от линейности.

В КЛ прямой проводник состоит из 22 лент ВТСП-1 с критическим током 160 А, а обратный проводник — из 19 лент ВТСП-1 со средним критическим током 190 А. Координаты точек «А» на рис. 3 соответствуют сумме критических токов исходных лент с точностью до 6 %. Координаты точек «В» на рис. 3 больше суммы критических токов исходных лент на 12–20 %. По нашему мнению, для оценки величины критического тока КЛ не следует использовать общепринятый для коротких образцов критерий $E = 1$ мкВ/см, который дает завышенный результат. Более строгим критерием является определение тока начала отклонения ВАХ от линейности. Вышеприведенный результат подтвердил достижение конструктивных характеристик ВТСП КЛ, а также совершенство ее конструкции и технологии изготовления.

При изменении температуры в диапазоне от 67 К до 81 К критический

ЗАВИСИМОСТЬ КРИТИЧЕСКОГО ТОКА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВХОДЕ И ВЫХОДЕ 60-МЕТРОВОЙ ВТСП КЛ

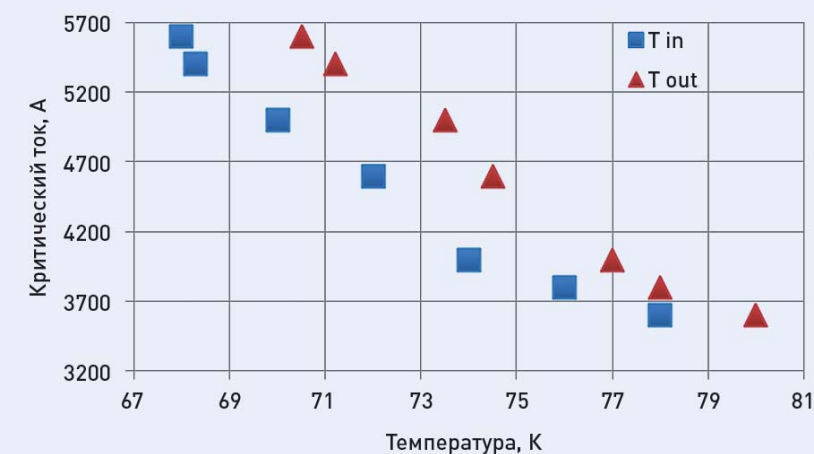


Рис. 4

ток изменялся в диапазоне от 5700 А до 3200 А (рис. 4).

Принимая во внимание, что рабочий ток линии составляет 2500 А, приведенные выше результаты показывают большой запас надежности

для ВТСП КЛ по току. КЛ успешно выдержала высоковольтные испытания с постоянным напряжением 60 кВ в течение 30 мин.

В результате надежность СКО становится определяющим фактором

для общей надежности всей кабельной системы.

СХЕМА КРИОГЕННОГО КОНТУРА

СТРУКТУРА КРИОГЕННОЙ СТАНЦИИ

Принцип работы СКО заключается в переохлаждении жидкого азота за счет теплообмена с холодным газообразным гелием после прохождения азота через КЛ и соответствующего нагрева. Принципиальная схема замкнутого криогенного контура приведена на рис. 5. Схема включает в себя два контура — гелиевый и азотный.

Обозначения: 1–9 — измерительные точки с датчиками температуры и давления; ТДА — турбодетандерный агрегат; МКС — модуль-

ные компрессорные станции; Н10 и Н20 — криогенные насосные станции (ЦНУ); ТА — теплообменный аппарат; ИТН — имитатор тепловой нагрузки.

В состав азотного контура входят:

- насосная установка жидкого азота;
- теплообменник «газообразный гелий — жидкий азот»;
- емкость переохлажденного азота;
- заправочная емкость жидкого азота;
- криостат ВТСП кабеля;
- обратный криостат.

Криогенная насосная установка включает в себя два криогенных насоса (один в рабочем состоянии, второй резервный) и переключающие клапаны. Теплообменник предназначен для переохлаждения жидкого азота газообразным гелием до температуры 65–66 К. Для ис-

ключения замерзания жидкого азота применяется проточная схема теплообмена.

В гелиевом контуре газ охлаждается до криогенных температур. Газообразный гелий подается в компрессорные установки при давлении всасывания 3–4 бар, где он сжимается до давления нагнетания 13 бар. Затем газообразный гелий при давлении 13 бар подается в турбодетандер, где, расширяясь, совершает работу и охлаждается до 46 К с падением давления до 3–4 бар. Охлажденный газообразный гелий при температуре 46 К подается в гелий-азотный теплообменник внутри установки переохлаждения жидкого азота.

Гелиевый контур включает:

- две модульные гелиевые компрессорные станции (одна в рабочем состоянии, вторая резервная);

ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА ДВУХКОНТУРНОЙ КРИОГЕННОЙ СИСТЕМЫ

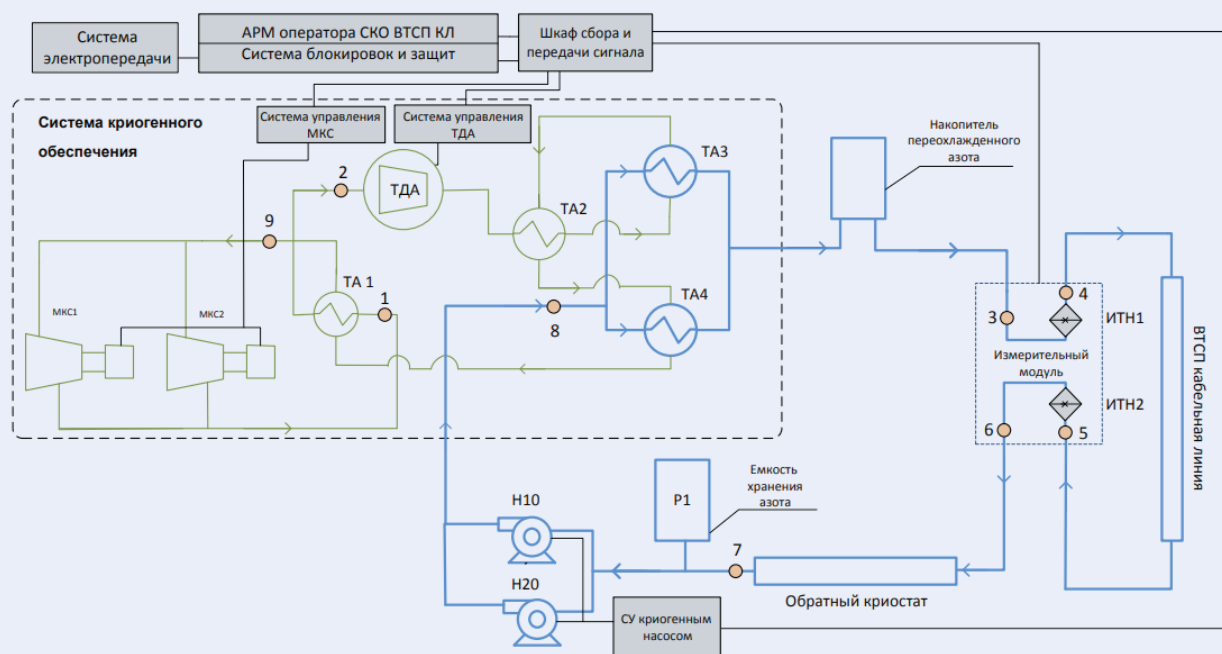


Рис. 5

- арматуру для автоматического переключения между компрессорами в случае выхода из строя основного компрессора;
- гелиевый турбодетандер;
- теплообменник «газообразный гелий — жидкий азот».

Помимо вышеперечисленных установок, криогенная система включает в себя систему первичной заправки и перезарядки жидким азотом, а также систему очистки газообразного гелия.

Работа СКО автоматизирована, включая этапы начального охлаждения, поддержания теплового состояния кабеля, сброса жидкого азота из криостата и подогрева, с возможностью переключения на ручное дистанционное управление и включения автономных схем автоматического управления с пультов управления.

Система автоматического управления технологическими процессами (АСУ ТП) модульных компрессорных станций (МКС) и криогенной насосной станции (ЦНУ) позволяет автоматически переключать работу криогенной системы на резервную гелиевую модульную компрессорную станцию и резервную криогенную азотную насосную станцию.

КРИОГЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Основной целью криогенных испытаний было подтверждение охлаждающей способности криогенной системы и оценка гидравлических характеристик криогенного контура.

Криогенный экспериментальный стенд включает в себя две строительные длины кабеля и одну строительную длину обратного криостата с общей протяженностью криогенного контура около 1200 м. Перепад высот по длине кабеля составил 8,2 м. ВТСП кабель с наружным диа-

ТЕПЛОПРИТОК В ХОЛОДНУЮ ЗОНУ И ПАДЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПО ДЛИНЕ КАБЕЛЬНОГО КРИОСТАТА

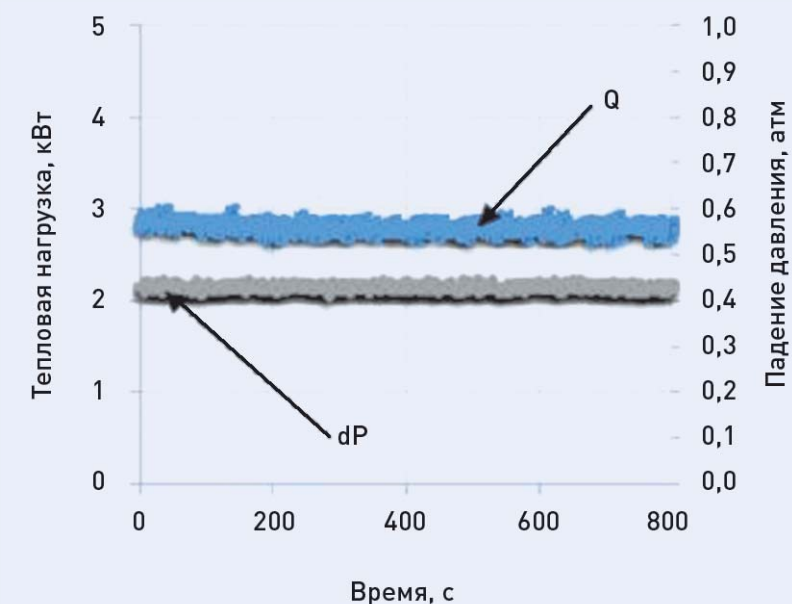


Рис. 6

метром 40 мм помещался в гибкий гофрированный криостат фирмы Nexans с внутренним диаметром 64 мм, обратный криостат имеет внутренний диаметр 39 мм. Расход жидкого азота варьировался в пределах 20–65 л/мин. Датчики температуры и давления были установлены на входе и выходе СКО, прямо и обратном криостатах, как показано на рис. 5. Два нагревателя были установлены в криогенном контуре для имитации полной тепловой нагрузки в полномасштабном криогенном контуре длиной 5 км.

Оценка тепловых нагрузок проводилась с использованием следующих исходных данных:

- температура измерялась в точках входа и выхода СКО для каждого криостата и нагревателей;
- ток на кабель не подавался. Подвод тепла через один токоподвод

(при нулевом токе) оценивался в 90 Вт;

- расход жидкого азота и давление были постоянными;
- для расчетов температура в точке возврата была зафиксирована только после того, как «контрольный объем» прошел весь криогенный контур, и температура стабилизировалась;
- показания фиксировались каждую секунду.

Полученные данные по тепловой нагрузке приведены на рис. 6. Среднее значение тепловой нагрузки в криогенную среду составило 2,82 кВт. Следует иметь в виду, что это количество включает теплопритоки через криостаты, токовводы и соединительные трубопроводы между СКО и токовводами. В ходе экспериментов СКО показала стабильное значение холодопроизводительности на уровне 12 кВт. Она обеспечи-

вала температуру на выходе из СКО в пределах от 66 до 68 К при расходе азота 20–65 л/мин.

Установившиеся условия течения азота в гофрированном криостате соответствуют турбулентному режиму, значение числа Рейнольдса (Re) составляет около 30 000.

Одной из основных задач экспериментальных исследований является получение данных о величине гидравлического сопротивления гофрированного криостата и достоверности ранее предложенного теоретического расчета перепада давления [2]. Для уменьшения влияния внешних факторов при определении величины гидравлического сопротивления была выбрана термостабильная область с постоянным перепадом давления и массовым расходом.

Коэффициент гидравлического сопротивления жесткой трубы в тур-

булентном режиме определяется в соответствии с законом Блазиуса:

$$\lambda = 0,3164 \cdot \text{Re}^{-0,25} \quad (2)$$

В турбулентном потоке коэффициент гидравлического сопротивления слабо зависит от числа Рейнольдса [11] и существенно зависит от отношения длины шага гофры к ее высоте [12]. В результате эксперимента было получено среднее значение перепада давления, которое составило 0,43 бар для кабеля длиной 860 м (см. рис. 6). Средний коэффициент трения для внутреннего диаметра гофрированной трубы криостата 64 мм и кабеля 40 мм составил 0,0672. Наличие гофр в криостате увеличивает коэффициент трения, что ограничивает длину КЛ при заданном допустимом перепаде давления. Коэффициент трения жесткой трубы при одинаковом гидравлическом диаметре равен 0,02405. Коэффициент корреляции для гофрированной трубы с коэффи-

циентом для жесткой трубы в нашем случае равен 2,74.

Производитель криостатов ограничил максимальное рабочее давление в криостате 10 бар. Известно, что давление в криостате имеет степенную зависимость от расхода. При этом расход определяет разность температур по длине кабеля. Для определения зависимости перепада давления от расхода была проведена серия экспериментов.

На рис. 7 приведены экспериментальные результаты по всей длине криогенного контура. Как ранее предполагалось (см. формулу 2), обратный криостат вносит значительно больший вклад в падение давления вдоль криогенного контура. Из рис. 7 следует, что максимальный расход жидкого азота, не приводящий к превышению допустимого давления, составляет 47 л/мин. Перепад температур при этом расходе по сверхпроводящему кабелю длиной 2,5 км составит 3,0–3,5 К. Таким образом, ранее выбранный рабочий расход азота 30 л/мин. обеспечивает приемлемые рабочие параметры (перепад температур по длине кабеля 4,0–5,0 К и перепад давления около 4 бар).

Этот режим также гарантирует отсутствие газовой фазы при возврате азота в криогенный циркуляционный насос.

СИСТЕМА АНАЛИЗА АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

Аварийные процессы в криогенной системе ВТСП КЛ постоянного тока могут быть результатом возникно-

вения повреждений оборудования, появления утечки в контуре циркуляции жидкого азота, ложных срабатываний приборов и машин, неправильных действий персонала.

Основные контролируемые параметры для каждой точки определялись по разработанной схеме, приведенной на рис. 5 на с. 34. Полученные в результате испытаний значения аварийных режимов работы были структурированы по значимости для каждого из сценариев аварии.

В табл. 2 приведены показания нормальной работы системы, зафиксированные при испытаниях СКО ВТСП КЛ.

В ходе экспериментальных исследований циркуляционный контур охлаждения кабеля включал две строительные длины ВТСП кабеля длиной 430 м каждый с одной соединительной муфтой и двумя концевыми муфтами, обратный криостат длиной 300 м, циркуляционные насосы, теплообменник «жидкий азот — газообразный гелий», соединительный трубопровод и измерительный блок. Таким образом, длина криогенного контура (без теплообменника) составила около 1200 м.

Были исследованы следующие варианты аварийных режимов СКО:

- аварийное отключение одного / двух криогенных насосов;
- аварийное отключение контура переохлаждения;
- аварийная потеря вакуума в одной из оболочек криостата ВТСП КЛ либо в соединительных или концевых соединениях.

В качестве иллюстрации на рис. 8 на с. 38 представлена схема аварийной ситуации, вызванной выходом из строя циркуляционного насоса. В момент аварийного отключения активного криогенного насоса произошло изменение

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА КРИОГЕННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РАБОЧЕМ ТОКЕ

Включение ВТСП КЛ на рабочий ток 2500 А		
1.	Минимальная температура гелия в ТДА	59,5 К
2.	Скорость вращения турбины, об./мин.	130 000
3.	Температура азота на входе в ВТСП КЛ	68,7 К
4.	Температура азота на выходе из ВТСП КЛ	70,63 К
5.	Температура азота на входе в обратный криостат	73,00 К
6.	Расход азота	36,6 л/мин.
7.	Давление гелия на входе в МКС	0,17 МПа
8.	Давление гелия на входе в ТДА	1,07 МПа

Таблица 2

параметров теплогидравлического режима азотного контура, связанное с потерей циркуляции жидкого азота в ВТСП КЛ. Режим сопровождается слабым повышением температуры жидкого азота вблизи токовых вводов и кратковременным падением расхода и давления в ВТСП КЛ. Полученные данные подтверждают необходимость управления режимом автоматического аварийного переключения криогенных насосов, так как задержки переключения между активным и резервным насосами могут привести к потере циркуляции хладагента с последующим заметным повышением температуры жидкого азота на токовводах. Критическое влияние СКО на передаточные характеристики наблюдалось за счет повышения температуры теплоносителя, что должно привести к соответствующему уменьшению критического тока ВТСП кабеля. Учитывая, что криогенная станция расположена на одном конце КЛ, максимальная температура будет регистрироваться на дальнем конце кабеля вблизи токоввода. Как следует из рис. 8, между моментом выключения основного насоса, включением и входом в рабочий режим резервного насоса проходит

1,0–1,5 мин. Эксплуатационные характеристики жидкого азота за это время практически не изменяются. Выход из строя рабочего насоса и включение резервного также происходят автоматически и достаточно быстро и практически не влияют на эффективность охлаждения кабеля. Это подтверждает эффективность разработанной схемы резервного копирования.

Как и ожидалось, из всех аварийных режимов наиболее опасным является потеря циркуляции жидкого азота в ВТСП КЛ. В этом случае при номинальной нагрузке КЛ температура вблизи токовводов достигает 77 К за 10–15 мин. По этой причине СКО имеет двойное резервирование циркуляционных насосов.

При выходе из строя гелиевого контура переохлаждения циркуляция в основном контуре поддерживается постоянной, КЛ может продолжать передачу номинальной мощности до двух часов. Это время отводится персоналу на устранение аварийного режима или на принятие решения о постепенном снижении нагрузки в соответствии с повышением температуры с последующим отключением передачи.

ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ В КРИОГЕННОЙ ПЕТЛЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСХОДА ЖИДКОГО АЗОТА

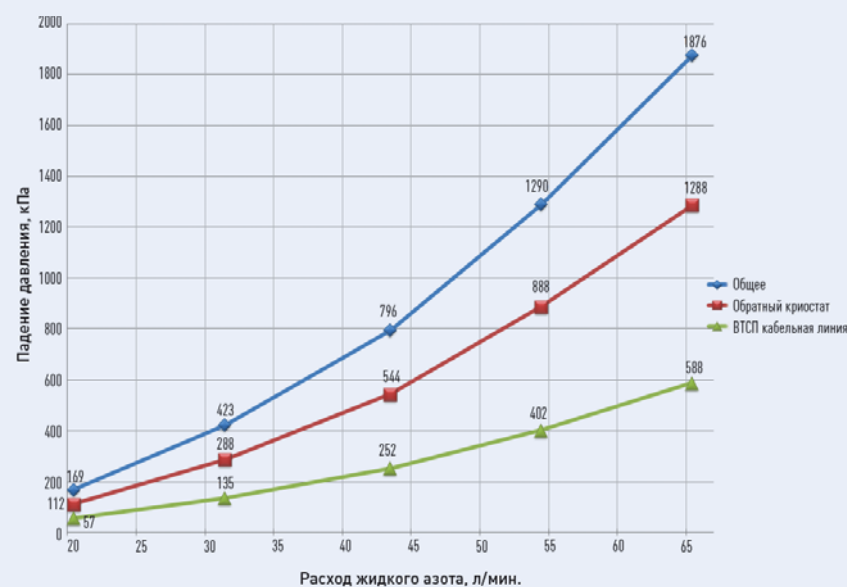


Рис. 7

Ограничение максимальной температуры до 77 К обеспечивает некоторый запас прочности для наших оценок в связи с тем, что текущая пропускная способность кабеля остается удовлетворительной до 81 К (см. рис. 4 на с. 33).

Результаты, полученные в ходе исследования аварийных режимов, получены на двух строительных длинах ВТСП КЛ и будут уточнены экспериментально после монтажа полной линии длиной 2500 м на объекте в Санкт-Петербурге.

ВЫВОДЫ

Электрические и криогенные испытания двух строительных длин ВТСП КЛ и 300 м обратного криостата общей протяженностью 1200 м подтвердили достижение всех расчетных характеристик.

Результаты анализа аварийных режимов работы СКО ВТСП КЛ постоянного тока демонстрируют безопасность технологического процесса криостатирования ВТСП КЛ постоянного тока, а также позволяют осуществить необходимые корректировки системы блокировки и защиты и автоматического управления двухконтурной системой криогенного обеспечения в заданных режимах.

Авторы выражают благодарность Россети ФСК ЕЭС за постоянное внимание и поддержку проводимых исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. EPRI 2012 Palo Alto CA USA Superconducting power equipment technology watch 1024190.
2. Ivanov Y.V., Romashov M.A., Bemert S.E., Sytnikov V.E. Engineering Choice of flexible cryostat for 2.5 km dc HTS cable to be laid in St. Petersburg // *Advances in Cryogenic*. 2014. Vol. 1573. No.16. Pp. 887–892.
3. Gouge V.J., Demko J.A., Roden M.L. Vacuum-insulated flexible cryostats for long HTS Cables: Requirements, Status and Prospects. 2008. URL: <https://www.researchgate.net/publication/253900769>. DOI:10.1063/1.2908492.
4. Yamaguchi S., Koshizuka H., Hayashi K., Sawamura T. Concept and design of 500 meter and 1000 meter dc superconducting power cables in Ishikari, Japan // *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*. 2015. Vol. 25. No. 3. ID 5402504.
5. Grant P. M. IEEE Superconducting lines for the transmission of large amounts of electrical power over great distances: garwin-matsoo revisited forty years later // *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*. 2007. Vol. 17. Is. 2. Pp. 1641–1647.
6. AMSC 2014 White Paper Resilient Electric Grid. URL: www.amscom.com.
7. Kopylov S., Sytnikov V., Bemert S., Ivanov Yu. et al. HTS DC Transmission Line for Megalopolis Grid Development // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2014. No. 50. ID 7032047.
8. Sytnikov V.E., Bemert S.E., Kopylov S.I., Romashov M.A., Ryabin T.V., Shakaryan Yu. G.,

ОСЦИЛЛОГРАММА АВАРИЙНОГО РЕЖИМА СКО ВТСП КЛ ПРИ ВЫХОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСНОВНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА

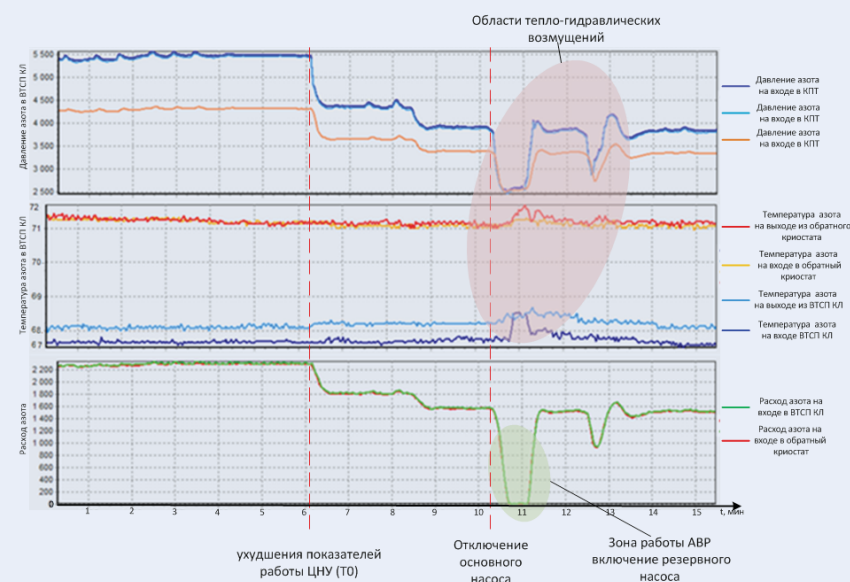


Рис. 8

9. Sytnikov V. DC Cables for Metropolitan Networks: St. Petersburg Project World Scientific Series in Applications of Superconductivity and Related Phenomena. In the book: *Research, Fabrication and Applications of Bi-2223 HTS Wires*. Ed. K. Sato. 2016. Vol. 1. Pp. 315–329.
10. Sytnikov V.E., Bemert S.E., Krivetsky I.V., Karpov V.N., Romashov M.A., Shakarian Yu. G., Nosov A.A., Fetisov S.S. The Test Results of AC and DC HTS Cables in Russia // *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*. 2016. Vol. 26. No. 3. ID 5401304.
11. Rapp R., Alperi R. W. Pressure loss in convoluted pipes // *Building Systems Design*, 26–28, April 1970. P. 26.
12. Zhenming L., Yunxian L., Wei L., Jiahui Z. Ming Q. Comparison of liquid nitrogen flow resistance in corrugated pipe with smooth pipe for HTS cable // *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*. 2015. Vol. 25. No. 3. ID 5401304.

БМРЗ-ДФЗ

Дифференциально-фазная защита линий

МЭК 61850

Совместимо с панелью ДФЗ-201

Основные функции:

- Дифференциально-фазная защита (ДФЗ)
- Дистанционная защита от междофазных замыканий (ДЗМФ)
- Дистанционная защита от замыканий на землю (ДЗЗ)
- Токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП)

Интеллектуальное устройство БМРЗ-ДФЗ предназначено для выполнения дифференциально-фазной защиты и резервной ступенчатой защиты линий напряжением 110 – 220 кВ, в том числе в схемах с двумя выключателями на присоединении.

БМРЗ-ДФЗ выполняет функцию основной защиты следующих линий:

- линий с двухсторонним питанием;
- линий с ответвлениями с источниками питания;
- линий с ответвлениями без источников питания.

Шкаф защиты линии 110-220 кВ ШЗЛ-МТ-057 аттестован в ПАО «Россети».



Единое ПО для устройств ИТЦ «Механотроника» с графическим редактором гибкой логики



Сертификат соответствия International Users Group IEC 61850 Edition 2

ООО «ИТЦ «Механотроника» более 28 лет разрабатывает и производит интеллектуальные устройства релейной защиты и автоматики. Развиваясь и совершенствуясь, предприятие наращивает выпуск существующих устройств и решений и создает новые, превосходящие по своим параметрам продукцию мирового уровня.



МЕХАНОТРОНИКА
Интеллектуальные устройства релейной защиты

198206, Санкт-Петербург, ул. Пионерстроя, д. 23, лит. А
Единый телефон тех. поддержки: 8 (800) 250-63-60
www.mtrele.ru