

B1. PS1 Кабели для будущих энергетических систем. Инновационные кабели и системы.**Результаты комплексных испытаний ВТСП кабельной линии постоянного тока протяженностью 1200 м для энергосистемы Санк-Петербурга**

В.Е. Сытников, А.В. Кашчев, Т.В. Рябин, М.В. Дубинин, В.Н. Карпов
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»
Российская Федерация

E-mail: Kashcheev_AV@ntc-power.ru

В докладе кратко представлены результаты разработки сверхпроводящей линии постоянного тока для энергосистемы Санкт-Петербурга. Основное внимание в работе уделено исследованию возможных аварийных режимов, связанных с неисправностями в криогенной системе. Представлен анализ данных, полученных при испытаниях аварийных режимов системы криогенного обеспечения кабельной линии. Приведены принципиальные схемы системы криогенного обеспечения и определены предельно допустимые параметры СКО ВТСП КЛ при аварийных режимах работы. Проведена оценка возможного времени передачи номинальной мощности кабельной линией при возникновении различных неисправностей криогенной системы. Даны рекомендации по повышению надежности работы в различных режимах.

Опыт эксплуатации экспериментальных и опытных ВТСП кабельных линий (ВТСП КЛ) показал, что надёжность эксплуатации линии в значительной степени зависит от стабильности поддержания заданного интервала температуры по длине кабельной линии. Это приводит к необходимости решения таких проблем как: надежность работ системы криогенного обеспечения (СКО) кабельной линии, поддержание заданных параметров жидкого хладагента, поддержание параметров вакуумной изоляции, контроля уровня теплопритоков. В рамках проекта по созданию ВТСП кабельной линии длиной 2,5 км для энергосистемы Санкт-Петербурга был проведен анализ наиболее вероятных аварийных режимов СКО и разработан аппаратно-программный комплекс с системой блокировок и защит СКО ВТСП кабельной линии встроенный в общую структуру АСУ ТП.

Комплексные испытания всех компонентов ВТСП кабельной линии постоянного тока проводились в рамках реализации Национального проекта по созданию и внедрению сверхпроводящей кабельной линии мощностью 50 МВт в энергосистему Санкт-Петербурга. Испытания проводились в Научно-техническом центре ПАО «ФСК ЕЭС» в Москве.

Экспериментальный стенд включал несколько строительных длин кабельной линии с соединительными муфтами и токовводами, обратный криостат (без кабеля внутри), двухконтурную систему криогенного обеспечения мощностью 12 кВт при 77К, комплексное выпрямительно-преобразовательное устройство и систему управления и контроля (Рис.1). Общая протяженность криогенного контура линии превысила 1200 метров.

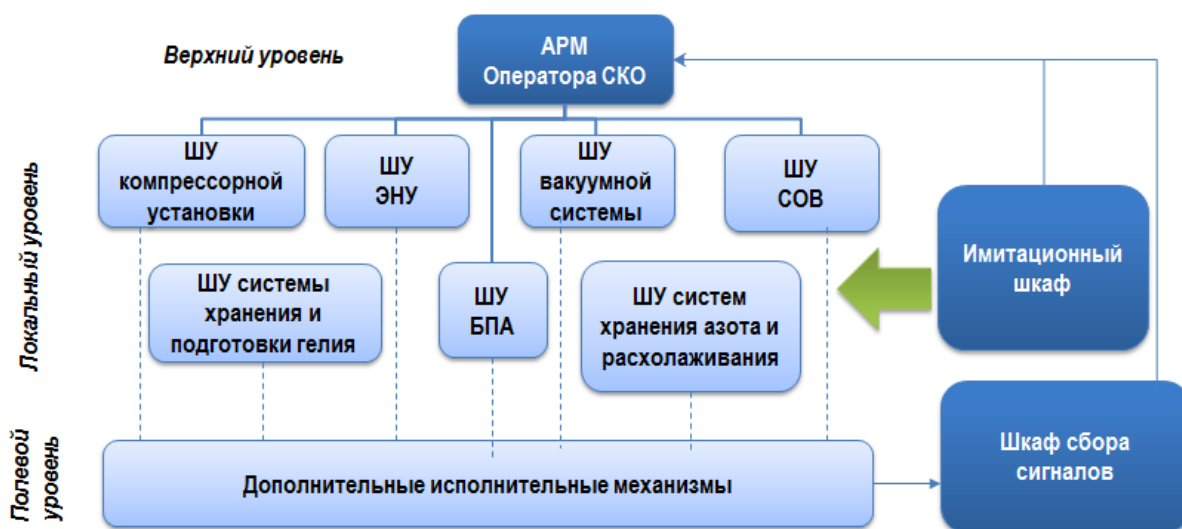


Рисунок 1 – Схема интеграции системы блокировок и защит в схему управления СКО ВТСП КЛ

В докладе представлены результаты вакуумных, криогенных и электрических испытаний, проведенных в течение нескольких месяцев. Температура жидкого азота и его расход широко варьировались во время испытания. Были определены электрические и гидравлические характеристики ВТСП кабельной линии, изучены некоторые аварийные режимы системы криогенного обеспечения, а также оценено возможное время работы кабеля при различных авариях в системе криогенного обеспечения.

Линия представляет собой вставку постоянного тока, в которой передача большого потока энергии на распределительном напряжении осуществляется сверхпроводящим кабелем, а преобразование AC-DC-AC,

ограничение токов к.з. и регулирование потоков мощности осуществляется преобразовательными подстанциями. Вставка обеспечивает взаимное резервирование двух энергорайонов, запитанных от подстанций «РП-9» и «Центральная» и, следовательно, повышение надёжности энергоснабжения потребителей.

Проведенные электрические испытания ВТСП кабельной линии общей протяженностью 1200 метров подтвердили достижение всех проектных характеристик ВТСП КЛ. Так при варьировании температуры от 67К до 81К критический ток изменялся в пределах от 5700 А до 3200 А.

Принцип работы СКО - переохлаждение циркуляционного в ВТСП КЛ жидкого азота за счет теплообмена с холодным газообразным гелием. Принципиальная схема замкнутой СКО представлена на Рисунке 2.

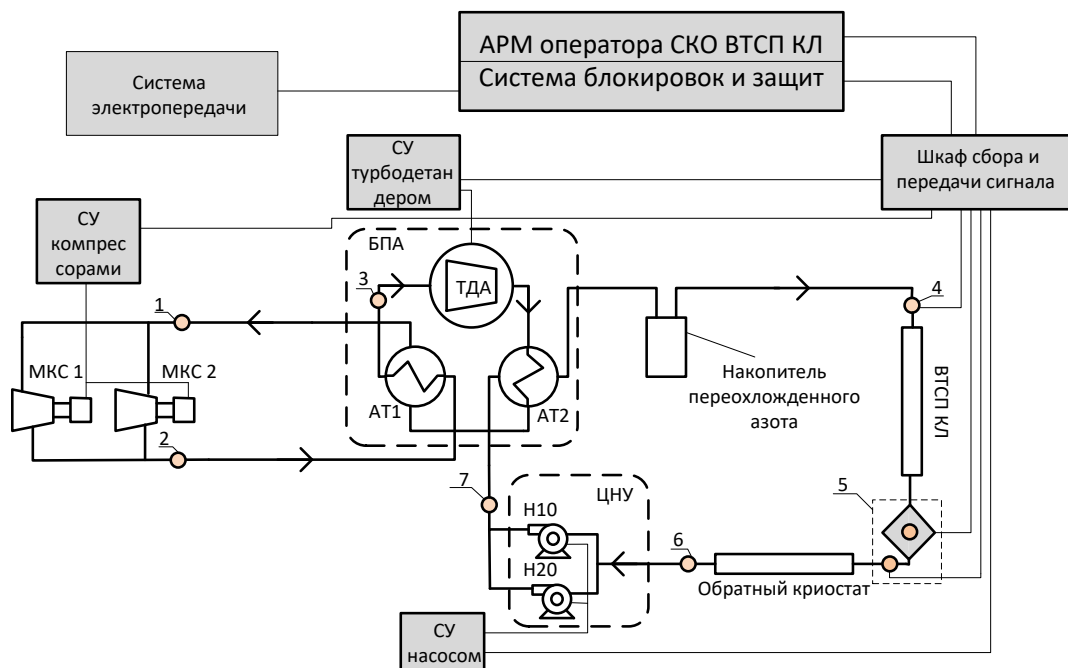


Рисунок 2 – Принципиальная схема СКО ВТСП КЛ

Схема включает два контура.

Первый основной контур – циркуляционный, где происходит охлаждение сверхпроводящего кабеля и переохлаждение жидкого азота после его нагрева при прокачке через кабельную линию в теплообменнике холодным газообразным гелием.

Второй контур – рефрижератор, предназначенный для охлаждения газообразного гелия путём его сжатия в компрессоре с последующим расширением и совершением работы в турбодетандерном агрегате.

Аварийные процессы в СКО ВТСП КЛ являются следствием возникновения повреждения оборудования, повышения уровня теплопритоков в контуре циркуляции жидкого азот, ложных срабатываний устройств и аппаратов, ошибочные действия персонала. Сводные результаты испытания работы ВТСП КЛ в аварийных режимах представлены на рисунке 3.

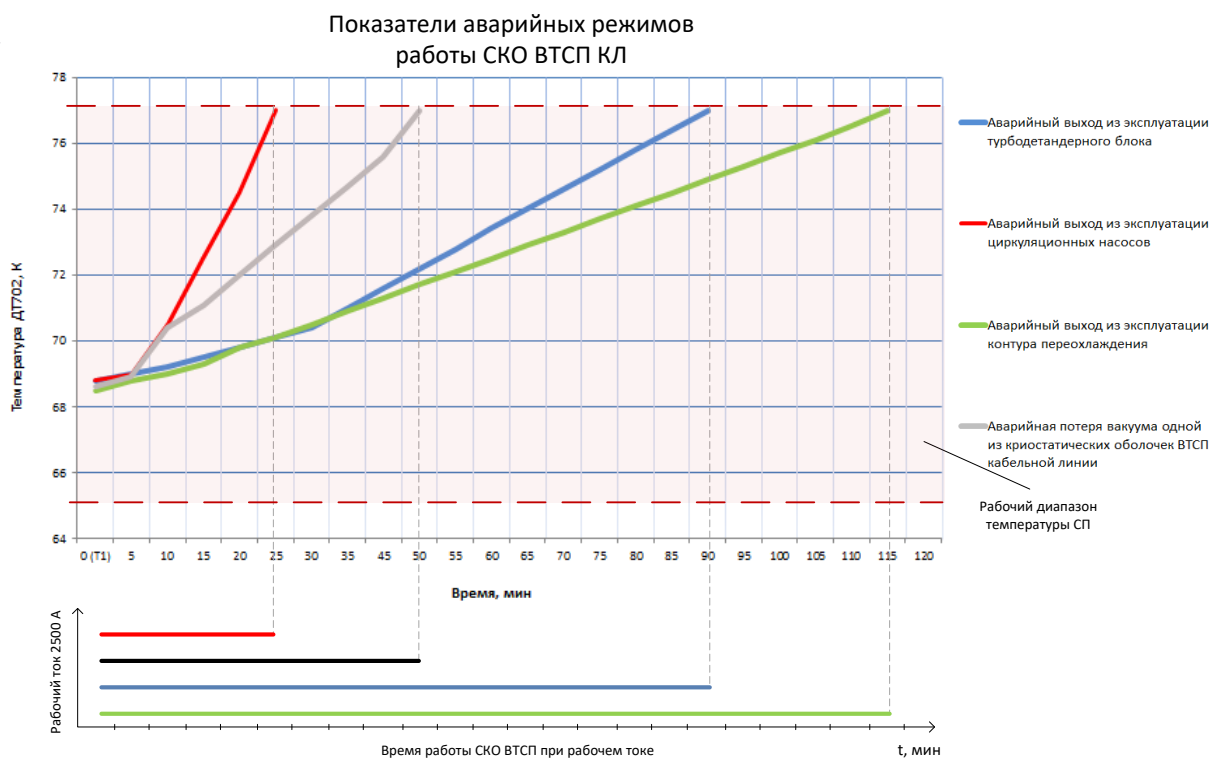


Рисунок 3 – Зависимость изменения температуры наиболее нагретой точки от времени нахождения линии в аварийном режиме

Полученные результаты анализа аварийных режимов работы СКО ВТСП КЛ позволят обеспечить безопасность технологического процесса криообеспечения ВТСП КЛ, произвести корректировку и настройку системы блокировок и защит СКО, а также повысить контроль и автоматическое управление СКО в заданных режимах работы.