

**УДК 621.593**

**ПОСТАНОВКА ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОЦЕНКЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА СИСТЕМУ КРИОГЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВТСП КАБЕЛЯ**

**Глушаев А.В.** (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург),

**Научный руководитель – д.т.н, профессор Баранов А.Ю.**

(Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург)

**Аннотация:** Для передачи электроэнергии перспективно использовать сверхпроводниковые кабельные линии. Для оценки тепловой нагрузки на систему криостатирования сверхпроводниковых линий создана математическая модель, которая в полной мере описывает теплофизические процессы. Она позволяет проводить численные эксперименты для анализа энергоэффективности систем криогенного обеспечения.

Во всем мире ведутся активные исследования и разработки различных типов электротехнических устройств на основе высокотемпературных сверхпроводников: трансформаторов, моторов и генераторов, токоограничителей и силовых кабелей. В настоящее время в электроэнергетике наиболее эффективным устройством, где применяется явление сверхпроводимости, являются силовые сверхпроводящие кабели. Система криогенного обеспечения необходима для надежного поддержания необходимого уровня температуры высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) в различных устройствах. Системы криогенного обеспечения обычно работают по замкнутому контуру, что дает минимальные потери хладонотителя и длительное время автономной работы. При проектировании ВТСП кабеля и системы криогенного обеспечения необходимо определить оптимальную температуру криостатирования. Температура определяется не только критическими параметрами ВТСП проводника, но и необходимостью поддерживать криопродукт в недогретом состоянии для предотвращения появления паровых включений. Наибольшее распространение получил жидкий азот, поскольку у него не высокая стоимость и он эксплуатационно безопасен. В современных системах рабочая температура жидкого азота варьируется в диапазоне от 65 К до 75 К. Выбор температуры дает нам возможность оценить масштабы криогенной системы и массогабаритные размеры кабеля. По сравнению с кипящим жидким азотом (77 К) работа кабеля при температуре ниже 77 К повышает плотность критического тока, что приводит к уменьшению стоимости и веса кабеля, но увеличивает нагрузку через тепловые мосты, токовводы и излучение. То есть при снижении рабочей температуры ВТСП кабеля, требуемая мощность охлаждения увеличивается, следовательно размеры и стоимость криогенной системы тоже увеличиваются. Чрезмерное потребление энергии или ухудшение эффективности, вызванное понижением температуры может серьезно повлиять на ее конкурентоспособность с существующими технологиями. Таким образом, оптимизация температуры охлаждения, направлена одновременно на компактность и эффективность и является одной из наиболее важных проблем при коммерциализации ВТСП кабеля.

Для оценки тепловой нагрузки на систему криостатирования ВТСП кабеля создана математическая модель, которая учитывает все тепловые и гидравлические потери в ВТСП кабеле. Основными источниками подогрева рабочей жидкости в тракте системы криогенного обеспечения являются теплопритоки через: токовводы, теплоизоляцию, тепловыделения в сверхпроводнике, тепловыделения за счет трения о стенки тракта кабеля и местные сопротивления, тепловыделения в тракте криогенного жидкостного насоса. Так же величина тепловой нагрузки зависит от протяженности криостата ВТСП кабеля, схемой движения

криопродукта в контуре системы, конструкцией ВТСП кабеля и КПД жидкостного криогенного насоса.

В отличие от ранее существующих расчетов, разрабатываемая модель более полно учитывает особенности конструкции и нестационарные тепловые процессы протекающие в ВТСП кабеле. Достоверность полученных результатов подтверждается применением современных методов исследования, корректной постановкой математических задач, использованием обоснованных методов математических расчетов, а также соответствием полученных результатов с экспериментальными данными опубликованных в научной литературе.

Реализованная модель является новым вкладом в развитие теории систем криостатирования ВТСП устройств. Данная модель полезна для исследования влияния различных тепловых нагрузок, конструктивных особенностей ВТСП линий на эффективность системы криогенного обеспечения. Методика позволяет существенно сократить время предпроектных работ и существенно снизить временные и материальные затраты на проектирование, доводку и апробирование систем криогенного обеспечения ВТСП кабеля.

Глушаев А.В.

\_\_\_\_\_

научный руководитель - Баранов А.Ю.

\_\_\_\_\_