ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ БЫСТОДЕЙСТВУЮЩИХ ЗАЩИТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ ИТЭР [[1]](#footnote-1)\*)

Семенов А.И., Алексеев Д.И., Карпишин М.В., Манзук М.В., Рошаль А.Г., Соленый А.А., Харченко В.В.

АО «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова» – Санкт-Петербург, Россия, aleks.semenov@sintez.niiefa.spb.su

Значительный скачок в развитии токамаков произошел в результате перехода от резистивных к сверхпроводниковым обмоткам, что позволило радикально снизить энергозатраты на формирование и поддержание магнитных полей. Для непрерывного поддержания тока в сверхпроводниковых обмотках в течение сколь угодно большого отрезка времени практически не требуется дополнительная мощность от внешнего источника. Ограниченная мощность необходима лишь для восполнения незначительных потерь в подводящих шинах, коммутационных аппаратах, включенных последовательно с катушками, и контактных соединениях за пределами криостата. С учетом описанных выше преимуществ большинство современных крупномасштабных токамаков, включая токамак ИТЭР, имеют сверхпроводниковую магнитную систему.

В системе питания любой сверхпроводниковой обмотки предусматривается коммутационное устройство аварийного вывода энергии, основная задача которого – обеспечение надёжной защиты сверхпроводниковой обмотки при локальном переходе сверхпроводника в резистивное состояние, распространение которого может иметь серьезные и даже необратимые последствия для всей установки в целом. Для предотвращения негативного сценария необходимо быстро вывести энергию, накопленную в магнитной системе (в токамаке ИТЭР ~51 ГДж), при этом время выведения тока должно быть таким, чтобы перегрев участка, потерявшего сверхпроводящие свойства, не превысил допустимого значения. С другой стороны, скорость выведения тока, напрямую связанная с напряжением, прикладываемым к катушке, должна быть ограничена, чтобы не допустить повреждения ее изоляции.

Учитывая вышесказанное, к надежности устройств быстрого вывода энергии предъявляются исключительно высокие требования. Для повышения надежности устройство быстрого вывода энергии состоит из двух последовательно соединенных коммутационных устройств – основного и резервного. В качестве резервного применяются быстродействующие аппараты с взрывным приводом, разработанные в АО «НИИЭФА» и защищенные патентом РФ [1], в которых механическое разрушение токоведущих элементов конструкции и гашение электрической дуги происходит в водной среде за счёт энергии, получаемой в результате детонации заряда взрывчатого вещества.

Для подтверждения надежности защитных коммутационных аппаратов была проведена экспериментальная компания, целью которой было подтвердить надежность защитных аппаратов на уровне не менее 0.96, что дает надежность всей системы быстрого вывода на уровне 0.9955. Экспериментальная компания состояла из 72 экспериментов, проведенных при номинальных токах и напряжениях в коммутируемой цепи.

Литература

1. ПАТЕНТ РФ RU 275 54 54 C.
1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/E/en/JX-Semenov_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)