

SC A3 Высоковольтное оборудование  
PS 1: Оборудование для удовлетворения меняющихся условий сети

**Разработка и исследование отключающей способности газонаполненного разъединителя в составе распределительного устройства РУЭН-УЭТМ-110.**

**Ротблют А.Р.<sup>1</sup>, Черноскутов Д.В.<sup>1</sup>,  
Буньков А.С.<sup>1</sup>, Лабуць А.П.<sup>1</sup>, Кармазин М.И.<sup>1</sup>, Рыжков К.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ООО «Эльмаш (УЭТМ)»

<sup>2</sup> АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Российская Федерация

[chernoskutov\\_dv@uetm.ru](mailto:chernoskutov_dv@uetm.ru)

[ryzhkov\\_ka@ntc-power.ru](mailto:ryzhkov_ka@ntc-power.ru)

Исследуемая тема разработки газонаполненного модуля разъединитель-заземлитель актуальна, поскольку в последние годы активно увеличивается спрос потребителей на компактную надежную коммутационную аппаратуру, значительно снижающую отчуждаемую площадь подстанции.

Статья связана с разработкой распределительного устройства наружной установки с совмещенным газонаполненным модулем разъединитель – заземлитель на класс напряжения 126 кВ с повышенной отключающей способностью в части коммутации уравнильного тока 1600 А в соответствии с требованиями стандарта международной электротехнической комиссии МЭК 62271-102. Особое внимание было уделено режиму коммутации уравнильного тока, поскольку в настоящее время ни один из стандартов МЭК/IEEE/ANSI не дает четкой интерпретации требования по выбору величины уравнильного напряжения при испытаниях газонаполненных разъединителей в составе распределительных устройств наружной установки с воздушными вводами. Более того, наблюдается рост величин уравнильных токов и напряжений вследствие большой длины подводящих шин на подстанциях. Следовательно, производители высоковольтной аппаратуры должны учитывать эти требования при разработке газонаполненных разъединителей в составе распределительных устройств наружной установки воздушных подстанций (AIS).

Статья описывает стадии конструирования и исследования основных функций разъединителя с применением методов численного моделирования характеристик высоковольтного коммутационного аппарата.

В статье приведены следующие результаты:

1) В пакете NX Unigraphics разработана 3D модель модуля разъединитель-заземлитель. На основе метода конечных элементов в пакете ANSYS выполнено численное моделирование напряженностей электрического поля и его оптимизация в зависимости от выбранных конструктивно-технических параметров. Фундаментальная функция разъединителя – обеспечение видимого разрыва подтверждена результатами высоковольтных испытаний в соответствии с требованиями стандарта международной электротехнической комиссии. Обеспечены

технические способы фиксации наличия видимого разрыва и обеспечения безопасности работы обслуживающего персонала.

2) Коммутационная способность спроектированного и разработанного аппарата подтверждена экспериментальными результатами коммутационных испытаний и исследований процессов отключения отключаемых разъединителем токов. Исследован процесс отключения уравнильного тока 1600 А: представлены и проанализированы характеризующие электрофизический процесс параметры: напряжение на дуге, ток, проводимость, сопротивление, вольт-амперные характеристики при уравнильном напряжении 20 В и 100 В. Особое внимание было уделено износу дугогасительных контактов различных производителей и контролю времен горения дуги в зависимости от количества выполненных операций. Определена взаимосвязь между основными параметрами, описывающих и характеризующих электрическую дугу: ток, падение напряжения на дуге, выделяемая мощность, сопротивление и проводимость. Представлены математические прогностические выражения времен горения дуги в режиме коммутации уравнильного тока в виде аппроксимирующих функций. На настоящее время нет результатов испытаний разъединителей с элегазом в качестве электроизолирующего и дугогасящего средства при коммутации уравнильного тока 1600 А с величиной уравнильного напряжения 100 В. В ходе проведения исследования были определены зависимости времен горений дуги от количества циклов включение-отключение. Полученные результаты при величине уравнильного напряжения 20 В хорошо согласуются с известными в технической литературе результатами. Повышение величины напряжения до 100 В приводит к большим временам горениям дуги, растущих с каждым выполненным циклом включение-отключение с определенным математическим разбросом. Представлены линии тренда изменений времен горения дуги, величины достоверности аппроксимации и диапазоны временных разбросов. Проведен анализ эрозии дугогасительных контактов, определен массовый износ. Режим коммутации уравнильного тока – сложный многофакторный процесс, зависящий как от конструктивно-технических характеристик разъединителя – техника гашения дуги, давление заполнения изолирующего и гасящего средства, скорость движения контактов, величина межконтактного расстояния, материалы контактов и особенности технологии производства контактов. Также этот процесс напрямую зависит от величин уравнильного тока и напряжения, которые определяют выделяемую дугой энергию, время протекания дуговых процессов и степень износа дугогасительных контактов.

Приведены результаты испытаний разъединителя на коммутационную способность в соответствии с требованиями МЭК 62271-102 в режиме коммутации токов заряда шин 2 А при испытательном напряжении 73 кВ с распределением времен горения дуги по временным диапазонам, а также результаты испытаний на коммутацию тока ненагруженного трансформатора 2 А при испытательном напряжении 73 кВ. Показано отличие воздействия дугового процесса на состояние контактов в режиме коммутации токов заряда шин и в режиме коммутации уравнильного тока 1600А при 100 В. Предложена методика проведения коммутационных испытаний газонаполненных разъединителей в составе распределительных устройств наружной установки, а также возможные способы повышения отключающей способности и ресурса разъединителя.

### **Выводы.**

1. Проведено моделирование и расчет электростатического поля для контактной группы модуля разъединитель-заземлитель РУЭН-УЭТМ-110. Выполнена оптимизация напряженности электрического поля с последующим подтверждением изолирующей способности экспериментом.
2. Впервые исследованы дуговые процессы при отключении разъединителем газонаполненного типа уравнильного тока 1600 А при величинах напряжения 20 В и 100 В с оценкой требуемого коммутационного ресурса.
3. В отличие от режима коммутации уравнильного тока 1600 А при 100 В во всех остальных коммутационных режимах отсутствовал какой-либо износ дугогасительных контактов. Скорость расхождения контактов, технология и материал контактов являются определяющими для режима коммутации уравнильного тока.
4. Отключение уравнильного тока 1600 А при высоких уровнях напряжений является актуальной проблемой, поскольку для воздушных разъединителей класса напряжений 220 кВ величина уравнильного напряжения составляет 200 В (МЭК 62271-102, п. В 4.106.2), т.е. в два раза больше величины напряжения чем в текущем исследовании. Повышение коммутационной способности возможно с помощью применения техники магнитного гашения дуги.

**Ключевые слова:** *распределительное устройство, разъединитель, изоляция, электрическая прочность, электрическая дуга, время горения дуги, эрозия.*