

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ПЛОТНОСТЕЙ ЭНЕРГИИ (НТЦФ)

К концу 2009 года в НТЦФ разработано, создано и испытано семейство мощных импульсных ВЧ-генераторов на основе газового разряда с полым катодом. Эти технически простые устройства охватывают широкий частотный диапазон генерации от 10 до 220 МГц. Выходная действующая мощность одного генератора может достигать 8 МВт, длительность генерации 0,5 мкс, а КПД 35 %. Частота следования импульсов генерации достигает 1,5 кГц. На основе многолетних исследований разработана, создана и испытана отпаянная газоразрядная камера с полым катодом для портативного ВЧ-генератора.

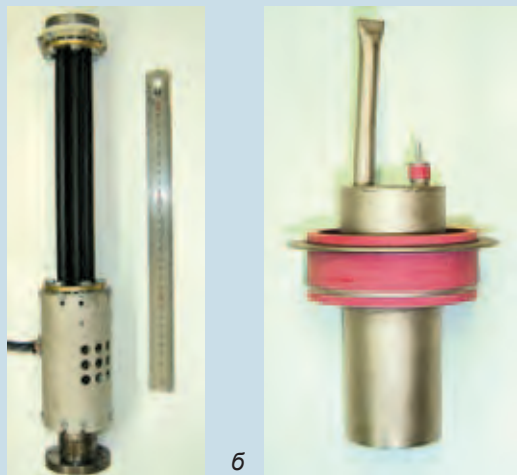
Для комплекса ЭМИР впервые в мире разработан и успешно испытан взрывной размыкатель тока дискового ВМГ, выполненный в виде отдельного блока, что позволило реализовать преимущества устройства (высокая эффективность разрыва токнесущего проводника при оптимальном, не зависящем от работы генератора, выборе момента разрыва). При разрыве контура пятиэлементного ДВМГ-240 с то-

ком 15,4 МА в нагрузке индуктивностью 6,8 нГн зарегистрирован импульс тока 9,3 МА с временем нарастания (по уровню 0,1–0,9) 0,57 мкс. Обычно используемые

для укорочения фронта импульса тока дисковых ВМГ электровзрывные размыкатели обеспечивают в аналогичных условиях время нарастания тока, вдвое большее.



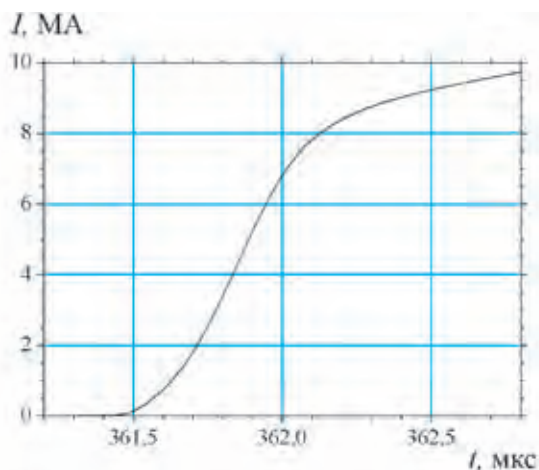
*Пятиэлементный ДВМГ-240 со взрывным размыкателем тока на исходной позиции*



а

б

*ВЧ-генераторы: а – генератор на 220 МГц с импульсной мощностью 8 МВт; б – отпаянная камера портативного ВЧ-генератора*



*Импульс тока в нагрузке*

Предложен и разработан источник энергии на основе двух магнитокумулятивных генераторов ВМГ-160, разнесенных на расстояние более 30 м, позволяющий воспроизводить на защитном заземлении складов взрывчатых материалов импульсы тока амплитудой до 200 кА с фронтом 40 мкс и длительностью на полувывсоте 80 мкс. В 2009 году с помощью такого источника энергии впервые проведен полномасштабный эксперимент по испытанию макета системы молниезащиты склада взрывчатых материалов.

В НТЦФ создан стенд НГМ-01 для лабораторного моделирования нестационарных физических процессов в околоземном и межпланетном космическом пространстве. Стенд включает камеру моделирования длиной 4 м и диаметром 1 м; систему откачки, обеспечивающую остаточное давление  $8 \cdot 10^{-8}$  торр; соленоид диаметром 1,6 м и длиной 4 м, создающий в камере квазистационарное однородное магнитное поле напряженностью 3 кЭ; источники формирования высокоионизованной магнитоактивной плазмы концентрацией до  $10^{13}$  см<sup>-3</sup>; источники локальных возмущений; системы регистрации и управления. Питание соленоида осуществляется шестиразрядным управляемым двоичным кодом источника энергоемкостью 0,8 ГДж. Плазма формируется продольным разрядом, иницируемым импульсным многоканальным поверхностным разрядом. Стенд обеспечивает возможность проведения исследований в альфвеновской и холловской плазме, что позволяет разработать адекватные физические модели и методики расчета физических процессов в космическом пространстве.

Проведены исследования коронного разряда с вертикальных заземленных и находящихся под потенциалом проводников. Длина проводников варьировалась в пределах от 10 м до 1 км, потенциал относительно земли до 100 кВ.



*Источник энергии, смонтированный на испытательном полигоне*



*Интегральная картина свечения источника энергии на основе двух генераторов ВМГ-160, полученная с помощью фотокамеры с открытым затвором*



*Камера моделирования и соленоид стенда НГМ-01*





*Источник питания соленоида*



*Фотография иницирующего разряда*

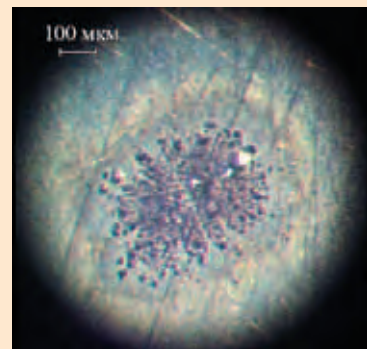


*Стенд для исследования коронного разряда*

Получены зависимости тока короны от высоты подъема и потенциала. Обнаружено структурирование короны по длине проводника.

В течение ряда лет в НТЦФ проводятся экспериментальные и теоретические исследования в области физики газового разряда и атмосферного электричества. В 2009 году завершен цикл исследований процессов микроструктурирования высоковольтных разрядов атмосферного давления. Впервые обнаружена и ис-

следована микроструктура каналов искровых и бесстримерных разрядов. Установлено, что каналы представляют собой совокупность 100–1000 микроканалов диаметром 5–30 мкм, плотность тока в микроканалах достигает  $10^7$  А/см<sup>2</sup>. Показано, что геометрические параметры макро- и микроструктуры связаны «золотой» пропорцией. Разработана физическая модель, объясняющая основные закономерности формирования микроструктуры.



*Структура канала искры*

Проведены исследования фрактальной размерности пространственной структуры молний. Установлено, что по значению размерности грозовой разряд стоит в одном ряду с другими высоковольтными разрядами, обладающими фрактальной структурой (стримерной короной, поверхностным, наносекундными искровым и бесстримерным разрядами). Исследования дали основание сделать вывод об общности физических механизмов самоорганизации структур широкого класса высоковольтных импульсных разрядов в атмосфере.



Два последовательных кадра скоростной фотосъемки молнии (август 2009 г.). Интервал времени между кадрами 4 мс

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

В XXI веке усилился интерес к физике атмосферного электричества высоких энергий. Важность исследований в этой области обусловлена необходимостью предсказывать грозовую активность атмосферы, оценивать вклад процессов, влияющих на генерацию атмосферой проникающих излучений, в глобальный электрический контур, предсказывать результаты их воздействия на электронное оборудование летательных аппаратов и здоровье людей. Грозовые импульсы  $\gamma$ -излучения и нейтронов могут восприниматься системами слежения как следствие несанкционированных ядерных взрывов, и по этой причине представляют интерес для контроля за нераспространением ядерного оружия. С целью моделирования импульсов жесткого  $\gamma$ -излучения тропосферных грозовых облаков, зарегистрированных в Японии на уровне моря и в высокогорных условиях, выполнены расчеты тормозного излучения лавин релятивистских убегающих электронов в нижних слоях атмосферы. Рассчитанные спектры излучения на уровне

не моря от источника, расположенного в тропосфере на высоте  $h = 0,5\text{--}2$  км, согласуются со спектром  $\gamma$ -излучения низких зимних облаков, зарегистрированным на берегу Японского моря на крыше здания атомной станции. Близость рассчитанного спектра источника (эмиссионный спектр) к измеренному на горе Фудзи на высоте 2770 м свидетельствует о том, что источник находится близко к месту расположения детектора. В целом результаты численного моделирования показывают,

что лавины релятивистских убегающих электронов способны развиваться не только в стратосфере, но и в нижних слоях атмосферы.

Разработан малогабаритный взрывной источник энергии с формированием импульса тока мегаамперного уровня и возможностью регулирования выходного напряжения, состоящий из спирального взрывоманитного генератора и взрывного обострителя тока (ВОТ). Источник предназначен для исследования работы газоразряд-



Разряд молнии