

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

В НТЦФ ведется работа над проектом взрывного электрофизического комплекса ЭМИР, предназначенного для зажигания термоядерных мишеней при радиационном обжиге мягким рентгеновским излучением (МРИ). Энергетической основой комплекса ЭМИР являются многоэлементные дисковые взрывомагнитные генераторы нового поколения с диаметром заряда ВВ 480 мм (ДВМГ480). Испытания пятиэлементного ДВМГ480 подтвердили высокую эффективность устройства и работоспособность основных принципов, заложенных в его конструкцию. В нагрузке 7 нГн получен импульс тока амплитудой 90 МА при времени нарастания 6,5 мкс. Магнитная энергия составила 30 МДж. Увеличение числа элементов генератора ДВМГ480 до 15–20 обеспечит получение импульсов тока амплитудой до 150 МА и магнитной энергии в нагрузке не менее 100 МДж. Для укорочения фронта токовых импульсов взрывомагнитных генераторов используются электровзрывные (ЭВРТ) и взрывные (ВРТ) размыкатели. ЭВРТ, традиционно используемые совместно с дисковыми генераторами, в реальных лайнерных нагрузках обеспечивают укорочение фронта импульса тока до ~1 мкс. ВРТ, обладающие рядом преимуществ по сравнению с ЭВРТ, обычно используются с быстроходными спиральными ВМГ, обеспечивая сокращение времени нарастания импульса тока в лайнерах до 0,3–0,4 мкс при амплитуде тока ~5 МА. При создании формирователей тока для комплекса ЭМИР впервые разработан и успешно испытан ВРТ для дискового генератора, выполненный в виде отдельно-

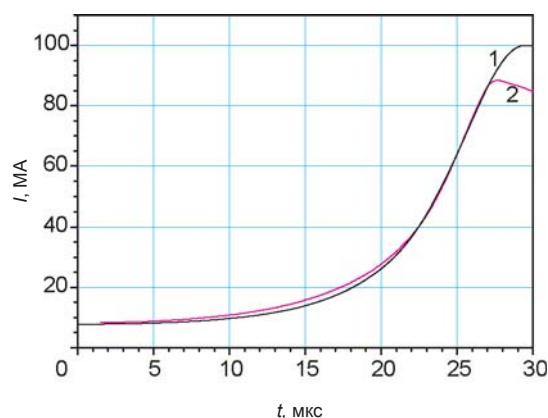
го блока, что позволило реализовать преимущества устройства (высокая эффективность разрыва токонесущего проводника при оптимальном, не зависящем от работы генератора, выборе момента разрыва). При разрыве контура пятиэлементного ДВМГ240 с током 15,4 МА в нагрузке индуктивностью 6,8 нГн зарегистрирован импульс тока 9,3 МА с характерным временем нарастания 0,57 мкс. Успешные испытания базовых конструкций дискового генератора и ВРТ позволили

разработать основной вариант модуля энергетической системы комплекса ЭМИР – устройство в составе 15-элементного ДВМГ480 и ВРТ, которое обеспечивает импульсы тока амплитудой 50–70 МА при времени нарастания 0,5–1 мкс.

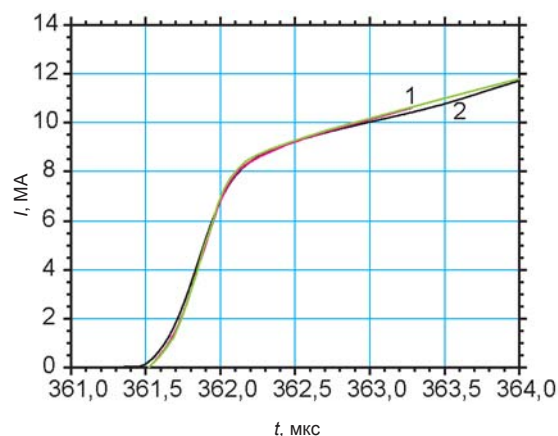
Генерация МРИ в устройствах, разрабатываемых в интересах комплекса ЭМИР, обеспечивается традиционным способом за счет ускорения в осевом направлении под действием пондеромоторных сил продуктов электрического взрыва



*ДВМГ480-5 на взрывной позиции*



Импульс тока ДВМГ480-5:  
1 – расчет; 2 – эксперимент

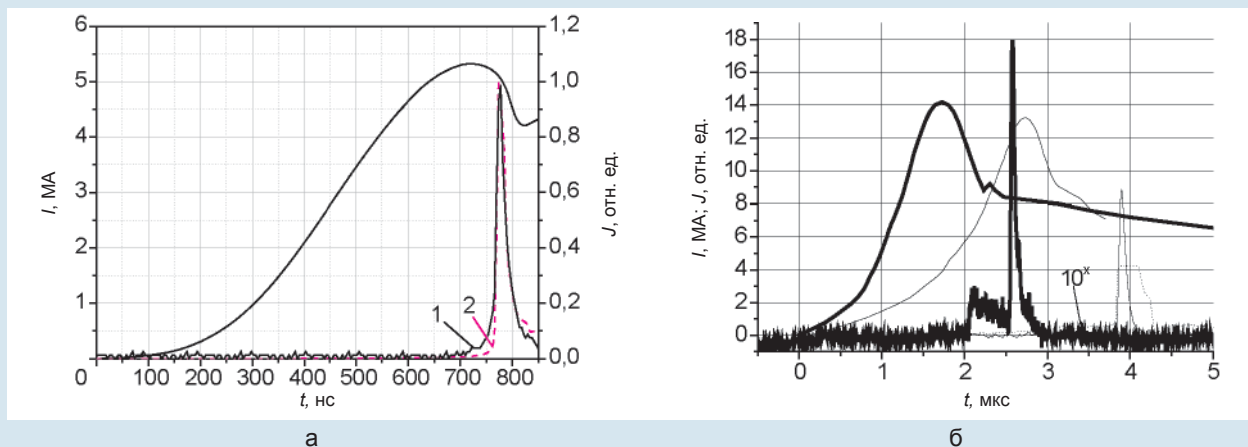


Укорочение фронта импульса ДВМГ240 взрывным  
размыкателем тока: 1 – магнитооптический датчик;  
2 – индуктивные датчики

цилиндрических многопроволочных каркасов и последующей термализации их кинетической энергии на оси системы. Проведенные к настоящему времени исследования взрывных источников МРИ были направлены в основном на создание методов и средств реализации и контроля такого механизма во взрывных экспериментах. Была разработана уникальная технология изготовления многопроволочных лайнерных систем, выдерживающих транспортировку на значительные расстояния и сохраняющих свою геометрию независимо от пространственной ориентации. Созданы средства диагностики токовых импульсов в различных сечениях формирователя тока, в том числе и непосредственно в лайнерной системе, а также средства диагностики основных параметров лайнерной плазмы и МРИ. Исследования взрывных источников МРИ проводились параллельно с разработкой формирователей тока. При этом в экспериментах по генерации МРИ использовались доступные на данный момент источники тока и геометрия лайнерной системы выбиралась в соответствии с пара-

метрами их токовых импульсов. К настоящему времени экспериментально показана эффективность и перспективность генерации МРИ при использовании в качестве источников питания формирователей тока на основе взрывомагнитных генераторов. При запитке многопроволочного лайнера (200 вольфрамовых проволок диаметром 8 мкм, диаметр лайнера 60 мм, высота 15 мм) током 5,3 МА с временем нарастания 0,3 мкс от быстрого спирального ВМГ200 с ВРТ воспроизводимым образом обеспечивается генерация импульсов МРИ длительностью на полувывоте 20 нс с энергосодержанием 180 кДж, температура плазмы пинча составляет 65 эВ. Генератор ДВМГ240 с ЭВРТ обеспечивает в двухкаскадной лайнерной системе (внешний каскад – 720, внутренний каскад – 360 проволок из вольфрама диаметром 11 мкм, диаметры каскадов: внешнего 200 мм, внутреннего 100 или 140 мм, высота каскадов 25 мм) импульс тока с временем нарастания 1–1,6 мкс. Укорочение фронта импульса тока при прочих равных условиях ведет к сокращению времени имплозии пинча с 3,8 до 2,5 мкс и дли-

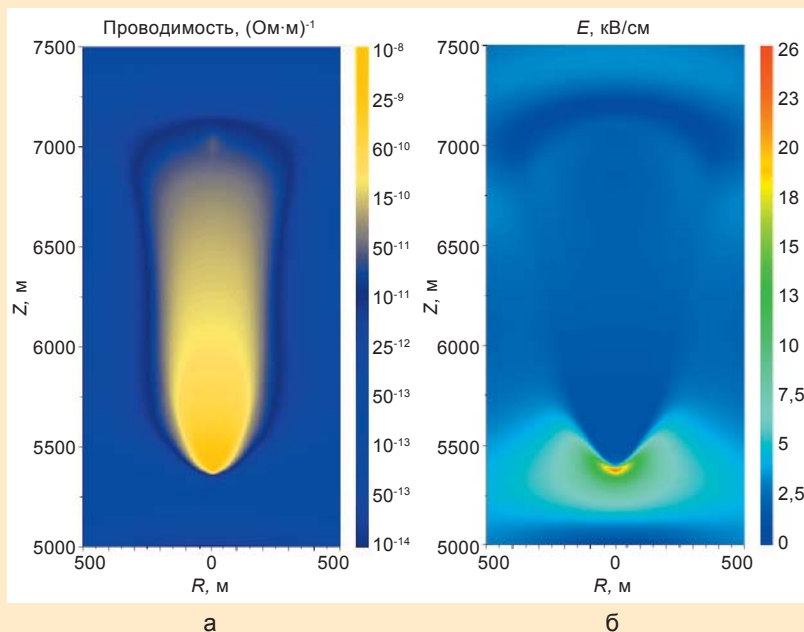
тельности импульса рентгеновского излучения с 70 до 55 нс, а также к повышению температуры плазмы пинча с 40 до 55 эВ. Энергия рентгеновского излучения 500–900 кДж. Расчетно-теоретическое сопровождение работ по созданию мощных взрывных источников МРИ обеспечивается с помощью разработанного сотрудниками НТЦФ двумерного радиационного магнитогидродинамического кода, модернизированного путем перехода к описанию переноса излучения в многогрупповом диффузионном приближении (ранее использовалось одnogрупповое приближение) и учета растянутого во времени процесса начального плазмообразования при электровзрыве многопроволочных лайнеров. Созданный программный продукт обеспечивает адекватное воспроизведение большинства экспериментальных результатов и позволяет выполнять прогнозные расчеты при подготовке редакции экспериментов по генерации МРИ с использованием взрывных источников тока.



Импульсы тока и МРИ для ВМГ-200 (а) и ДВМГ240 (б): 1 – эксперимент; 2 – расчет с «навязанным» током

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Решалась одна из проблем физики атмосферного электричества: инициирование разряда молнии. Для старта молнии напряженность электрического поля в грозовом облаке должна достичь пробивного уровня, обеспечивающего лавинообразное размножение электронов: отношение напряженности к давлению должно составлять  $2,6\text{--}3 \text{ МВ}/(\text{м} \cdot \text{атм})$  для пробоя (breakdown) сухого воздуха и  $1,0\text{--}1,4 \text{ МВ}/(\text{м} \cdot \text{атм})$  при наличии осадков (precipitations). Однако обычно это соотношение не превышает  $0,3\text{--}0,4 \text{ МВ}/(\text{м} \cdot \text{атм})$ . Выполнено численное моделирование механизма инициирования молнии вследствие усиления поля в результате поляризации плазменного канала, созданного лавинами релятивистских убегающих электронов, инициируемые фоновым космическим излучением. Показано, что для реалистичных конфигураций и величин зарядов грозового облака локально реализуются поля, при которых возможен старт лидера молнии даже в отсутствие осадков. Результаты расчетов согласуются с данными натурных наблюдений усиления проникающей радиации в грозовых облаках.



Пространственное распределение проводимости в канале (а) и напряженности поля (б) в момент достижения пробивного уровня

Разработана плазмофокусная разрядная камера, рассчитанная на получение во взрывном эксперименте с током  $1,5 \text{ МА}$  выхода ДТ-нейтронов  $10^{13} \text{ имп.}^{-1}$  при работе с равнокомпонентной ДТ-смесью. Используя мощную конденсаторную батарею – установку КАСКАД, отработаны режимы

стабильной работы плазмофокусной камеры при тех же уровнях энергетики тока, что и в предстоящем взрывном эксперименте. Максимальная энергоемкость установки  $820 \text{ кДж}$ ; в экспериментах использовалась только часть батареи с запасаемой энергией  $\sim 200 \text{ кДж}$ . В камере с дейтериевым наполнением получен