

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Выполнен анализ возможности развития самостоятельного разряда в поперечном поле лидера молнии в режиме генераций лавин релятивистских убегающих электронов (ЛРУЭ), поддерживаемых положительной релятивистской обратной связью с участием тормозного излучения высоких энергий и позитронов, порождаемых самими лавинами. Разработана численная модель, в которой лавину i -го поколения с числом электронов N_i составляют электроны, рожденные только в результате ионизирующих столкновений электронов высоких энергий с молекулами. Лавина $i + 1$ -го поколения инициируется фотоном, эмитированным лавиной i -го поколения. Для усиления требуется, чтобы, начиная с некоторого номера i , последовательность чисел N_i составляла возрастающую геометрическую прогрессию, что означает включение положительной релятивистской обратной связью

зи. Разряд может быть источником наблюдающихся в корреляции с грозовой активностью импульсов проникающих излучений, характеристики которых удовлетворительно воспроизведены в модели цилиндрического лидера с линейной плотностью заряда λ . Проникающие излучения, генерируемые в окрестности лидера, могут представлять опасность для электронного оборудования летательных аппаратов, экипажей и пассажиров самолетов. Крайне опасна ситуация, когда лидер сообщает высокий положительный потенциал корпусу самолета, вокруг которого инициируется разряд с генерацией ЛРУЭ: при вычисленном флюенсе электронов высоких энергий на обшивке самолета (Al, 6 мм) $10^{11} - 10^{12} \text{ м}^{-2}$ доза облучения людей составит 0,01–0,1 Зв (1–10 бэр) за одну вспышку. В Государственной корпорации «Росатом» принят внутриотраслевой предел $2 \cdot 10^{-4}$ Зв в год.

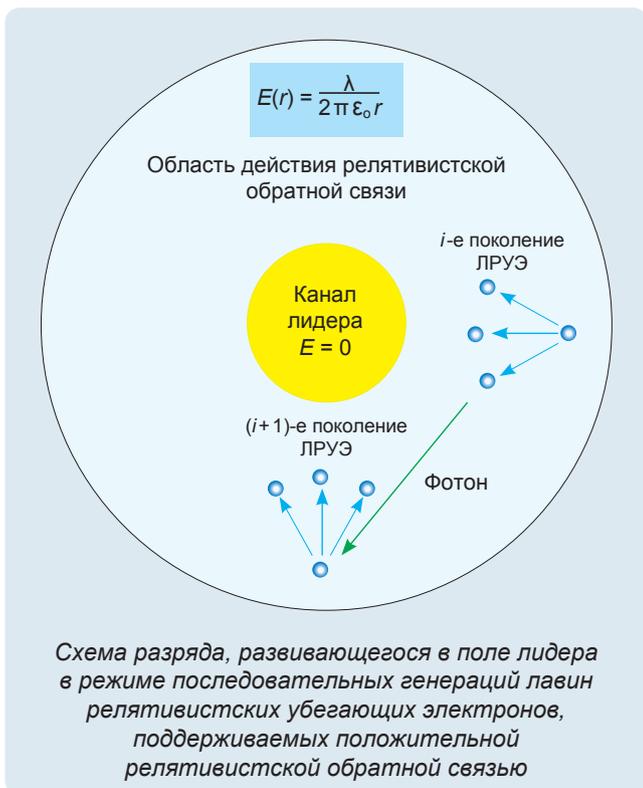
Возобновлена серия взрывных экспериментов с транспортными плазмодиффузионными источниками нейтронов, запитаемыми от взрывомагнитных генераторов (ВМГ). Для этих целей разработаны специальные ВМГ, способные обеспечивать на входе в плазменную камеру импульс напряжения заданной формы. Изготовлена плазмодиффузионная разрядная камера, обеспечивающая в лабораторных условиях стабильное генерирование ДД-нейтронов. Проведен первый из этой серии взрывной эксперимент с дейтерий-тритиевым наполнением плазмодиффузионной разрядной камеры. Получен выход ДТ-нейтронов $\sim 2 \cdot 10^{11}$ имп. $^{-1}$ при амплитуде разрядного тока $\sim 1,3$ МА.

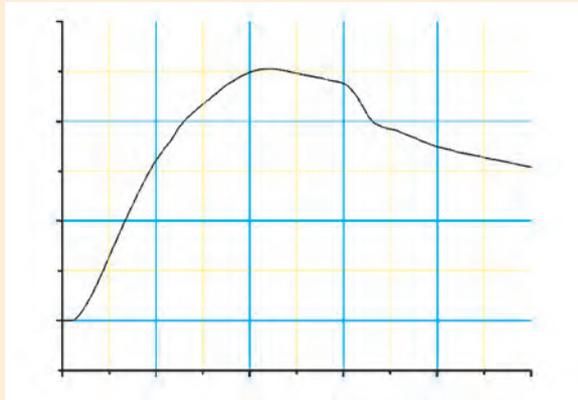


Плазмодиффузионная разрядная камера

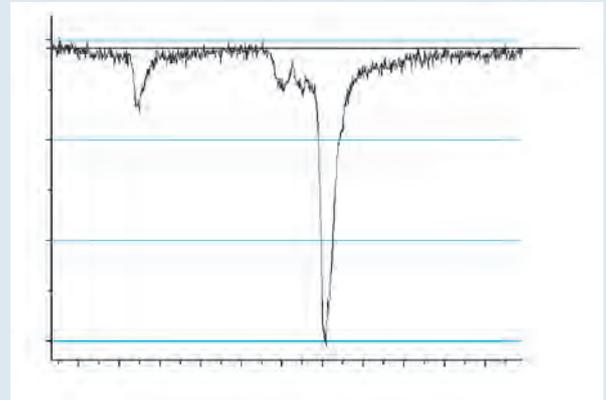


Экспериментальная сборка перед взрывным опытом





Осциллограмма тока в плазмофокусной камере



Сигнал детектора излучений

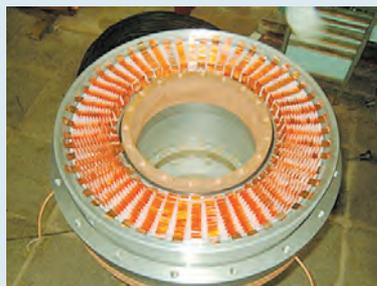
Совместно с РНЦ «Курчатовский институт» начата экспериментальная отработка нового вида электровзрывного размыкателя тока в виде «змейки». Этот размыкатель способен подвести к нагруз-

ке типа Z-пинча ток с амплитудой в десятки мегаампер за время ~ 100 нс. Первый взрывной эксперимент был проведен с устройством, которое содержало электровзрывной размыкатель в виде «змейки», про-

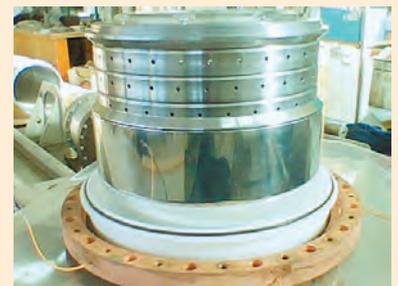
ходной изолятор, разрядник-обостритель и вакуумную нагрузку. Размыкатель тока сработал в расчетном режиме. Ток в 5 МА был достигнут за время ~ 250 нс.



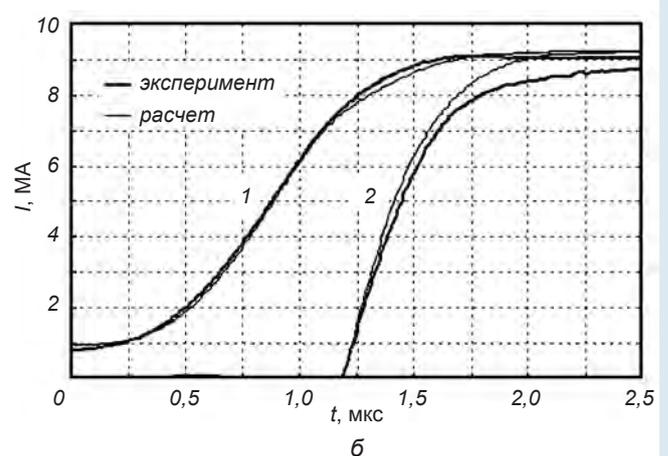
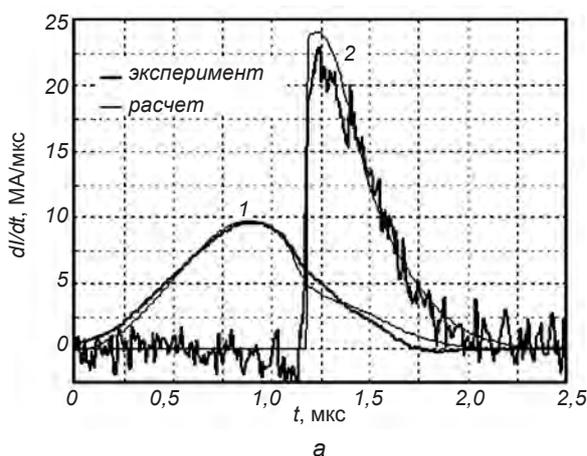
Экспериментальное устройство на базе спирального ВМГ



Электровзрывной размыкатель тока в виде «змейки»



Разрядник-обостритель



Сравнение экспериментальных и зарегистрированных в опыте производных тока (а) и токов (б): 1 – цепь источника; 2 – цепь нагрузки

Завершена серия экспериментов *R-Damage* по исследованию отколов в цилиндрической сходящейся геометрии. Исследуемый образец из Al 1100 испытывал ударное нагружение при соударении с ним лайнера из того же материала, разогнанного магнитным полем. В заключительных опытах необходимо было получить откольные трещины с последующим их компактированием. При этом для чистоты эксперимента, чтобы предотвратить соударение мишени с центральным измерительным блоком, необходимо было обеспечить строго определенные импульсы тока, форма и длительность которых выбиралась из результатов расчетов, выполненных с применением программного комплекса ДРАКОН. В экспериментах основ-

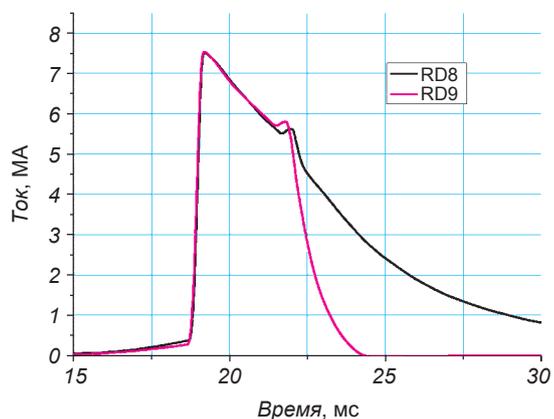
ные параметры импульсов тока в лайнере были получены с высокой точностью, исследуемые образцы сохранены, все цели эксперимента достигнуты.

Стабильность работы дисковых ВМГ в значительной степени зависит от колебаний начального тока, создаваемого в генераторе с помощью спирального ВМГ. В свою очередь, работа спирального ВМГ зависит от нагрузки (дисковый ВМГ). В процессе запитки при больших интегралах начального тока дисковые элементы могут деформироваться магнитным полем, что приводит к ухудшению выходных параметров дискового ВМГ. Возможные утончения дисков в процессе запитки и даже разрывы контура приводят к увеличению эквивалентного электрического со-

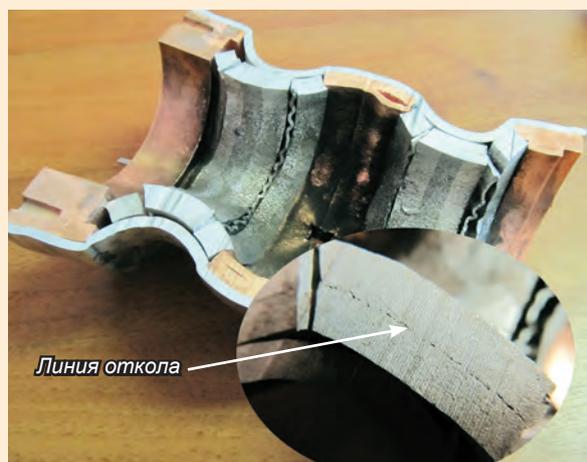
противления контура, что вызывает трудности в прогнозировании силы вводимого тока. В связи с этим возникает вопрос: а не проще ли изначально ввести магнитный поток в полости дисковых элементов, занятые ВВ. Таким образом решается целый ряд проблем. Во-первых, в процессе запитки не будут деформироваться медные диски, которые в стандартном варианте запитки обязаны держать давление магнитного поля, что увеличит надежность работы дискового ВМГ и будет способствовать повышению выходного тока. Во-вторых, смягчаются требования по интегралу действия тока, что упрощает и удешевляет конструкцию спирального ВМГ. В-третьих, знание точной индуктивности нагрузки позволит точно прогнозировать начальный ток, вводимый в контур дискового ВМГ. Возможность бессилового запитки дискового ВМГ малого класса диаметром 250 мм исследовалась в опыте с трехэлементным дисковым ВМГ. Магнитное поле изначально вводилось во внутреннюю полость дисковых элементов через специальную щель на нижнем радиусе между силовой трубой и медной тарелью дискового элемента. При срабатывании дискового элемента происходило замыкание медных тарелей с конусами, в результате чего часть магнитного потока отсе-



Экспериментальный стенд



Импульсы тока в экспериментах *R-Damage*-8, 9



Лайнерный узел после эксперимента *R-Damage*-9

калась, а основной поток выжибался в нагрузку. Процесс сжатия магнитного потока практически ничем не отличается от процесса сжатия потока при обычном способе запитки. Это дает возможность реализации бессилового способа запитки дискового ВМГ в тех случаях, когда потери начального магнитного потока не являются критическими.

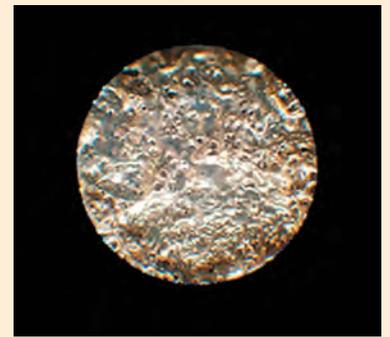
В электрофизическом отделении совместно с КБ-1 и ИТМФ разработана сильноточная лайнерная система для исследования мелкомасштабных повреждений поверхности образ-

цов при ударных нагрузках. Ток 3 МА от конденсаторного стенда концентрируется к лайнерному узлу до линейной плотности 0,8 МА/см и разгоняет лайнер-ударник до 2–3 км/с. Мелкомасштабные повреждения могут возникать в виде очень тонких (десятые доли миллиметра) откольных отслоений поверхности или в виде отдельных пылевидных частиц. Исследование таких повреждений представляет интерес, если поверхность используется как рабочая для сжатия газовой среды или как светоотражающая. Откольное отслоение возникает при ударном воздействии, длительность которого меньше времени прохождения ударной волны по толщине образца. При этом из-за суперпозиции ударных волн образуются зоны с растягивающими напряжениями, приводящими к отслоению поверхностного слоя. Поверхность с откольным повреждением неровная, она имеет микровыступы и микровпадины. Характерный размер выступов и впадин $\sim 0,1$ мм, т. е. одного порядка с толщиной откольного слоя. В результате концентрации давления на дефектах структуры материала вблизи поверхности образца могут возникать повреждения поверхности типа пыления. Магнитное давление, ускоряющее лайнер-ударник, безынерционно. Чтобы сохранить об-

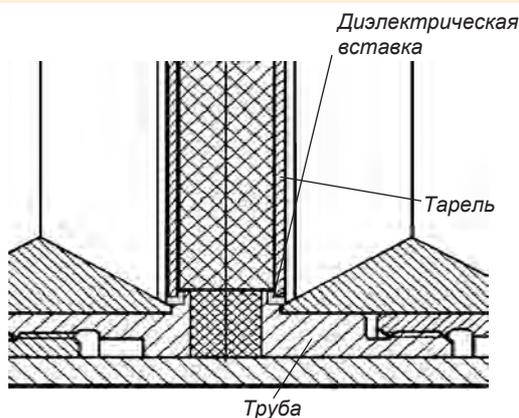
разцы после ударного воздействия, в сильноточной лайнерной системе предусмотрен улавливатель для плавного торможения образца и осколков в пористой растворимой среде. После растворения улавливающей среды определяются структурные изменения в образце и физическое состояние отколовшихся, в том числе очень мелких пылевидных частиц. Это дает дополнительную информацию для уточнения зависимости появления осколков от дефектов кристаллической структуры материала образца, развития расчетно-теоретических моделей повреждений и оптимизации выбора материалов в конкретных конструкциях.



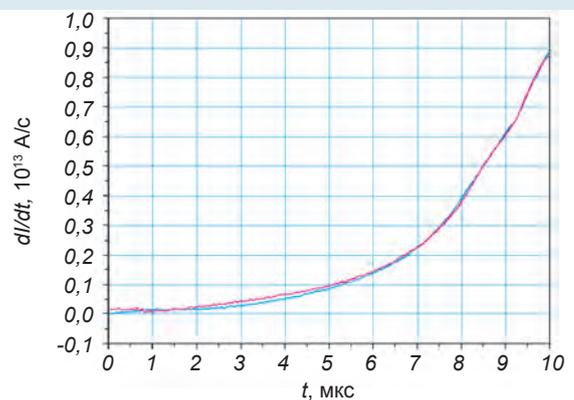
Трехэлементный дисковый ВМГ перед опытом



Поверхность образца толщиной 2,5 мм из сплава АМг после откола слоя толщиной $\sim 0,1$ мм, вызванного ударом лайнера толщиной 0,13 мм из стали 1Х18 Н9Т со скоростью 1,35 км/с



Сочленение силовой трубы с тарелями дискового ВМГ



Рост производной тока в дисковом ВМГ на начальном этапе сжатия потока при силовой и бессиловой запитке