Особенности имплозии составных многопроволочных лайнеров при запитке микросекундными импульсами тока с амплитудой до двух мегаампер

Репин Б.Г., Репьев А.Г., Покровский В.С., Филиппов А.В., Корнилов С.Ю.

Российский Федеральный Ядерный центр – ВНИИЭФ, пр. Мира 37, Саров, Нижегородская область, 607188, РОССИЯ

Представлен анализ результатов экспериментов, проведенных в РФЯЦ-ВНИИЭФ по имплозии многопроволочных цилиндрических лайнеров, включая составные сборки содержащие проволочки разного диаметра, при запитке микросекундными импульсами тока с амплитудой до двух мегаампер. Проведенные лабораторные исследования были направлены на выявление особенностей процессов плазмообразования и имплозии вольфрамовых сборок при микросекундных временах роста импульса тока в интересах валидации трехмерных расчётных моделей имплодирующих Z-пинчей, а также на нахождение оптимальных параметров нагрузки для получения мощных импульсов мягкого рентгеновского излучения (МРИ).

Регистрация спектральных и амплитудно-временных параметров МРИ осуществлялась при помощи сцинтилляционных детекторов (СД). Интегральная по спектру и времени энергия импульса МРИ измерялась проволочными и плёночными болометрами. Регистрация пространственно-временной картины имплозии пинча в рентгеновском диапазоне осуществлялась с использованием методики РЭОП, в которой сцинтиллятор располагался в плоскости под углом ~40 градусов к падающему на него излучению, а дальнейшая передача оптического сигнала осуществлялась через матрицу световодов, проецирующих изображение на входную щель камеры СФЭР-6.

Численное моделирование динамического Z-пинча проведено с учётом дискретной пространственной структуры многопроволочной сборки в рамках трехмерного магнитогидродинамического кода FLUX-3D с расчётом переноса теплового излучения в диффузионном (3-Т) приближении и с использованием модели затянутого плазмообразования. Показано, что расчетная методика на его основе является мощным инструментом, позволяющим в ходе постфактум моделирования выявить особенности физических процессов имплозии многопроволочных цилиндрических сборок.

Для калибровки расчетной модели, осуществлялся предварительный экспериментальный скейлинг по массе имплодирующих однокаскадных сборок, составленных из вольфрамовых проволочек диаметром от 4 до 15 мкм, высотой 30 мм, при фиксированном количестве   
45 штук, равномерно расположенных на цилиндрической поверхности радиуса 3 см.

Экспериментальным и расчётным образом получен оптимум по выходу МРИ из многопроволочных Z-пинчей в зависимости от диаметра проволочек.

Расчёты показали, что в процессе имплозии самых тонких проволочек участвует вся масса сборки, а при увеличении диаметра проволочек доля участвующей массы сокращается и составляет от 61 до 75% от исходной.

Проанализированы особенности имплозии сборок, составленных из проволочек разного диаметра. Рассмотрены различные режимы распределения тока по подсистемам проволочек разного диаметра. Выявлено, что применение составных сборок снижает эффективность генерации импульса МРИ. Причиной является как разновременность окончания наработки массы в различных подсистемах проволочек, так и возникновение большей азимутальной неоднородности, что негативным образом сказывается на компактности финального сжатия плазмы. Обеспечено хорошее соответствие результатов численного моделирования составных сборок с показаниями РЭОП, а также с болометрическими измерениями.