

## СТАБИЛИЗАЦИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ СХЛОПЫВАЮЩЕЙСЯ ОБОЛОЧКИ ПРИ МАГНИТНОЙ КУМУЛЯЦИИ ЭНЕРГИИ

*А.И.Павловский, М.И.Долотенко, Н.П.Колокольчиков,  
А.И.Быков, Н.И.Егоров, О.М.Таценко*

Стабилизация неустойчивости внутренней поверхности оболочки магнитокумулятивного генератора сверхсильных магнитных полей осуществлена с помощью коаксиальных каскадов, последовательно выполняющих роль оболочки, сжимающей магнитный поток.

Эффективное преобразование кинетической энергии схлопывающейся проводящей оболочки, сжимающей магнитный поток, в энергию магнитного поля (магнитная кумуляция <sup>1</sup>), сопровождается торможением оболочки противодавлением усиливаемого магнитного поля. Возникают условия неограниченного развития неустойчивостей конфигурации границы вещества – магнитное поле. Особенно критично проявление неустойчивостей внутренней поверхности оболочки, когда разогретый до высокой температуры внутренний слой оболочки теряет проводимость и связь с магнитным полем, а расположенная за ним проводящая часть оболочки тормозится давлением магнитного поля. Возникающие вследствие этого выбросы вещества в область магнитного поля затрудняют или препятствуют вообще проведению исследований в магнитном поле магнитокумулятивного генератора.

Преодолеть это, оказавшееся очень критичным, ограничение величины используемого магнитного поля генератора сверхсильных магнитных полей удалось использованием нескольких коаксиально расположенных каскадов, последовательно выполняющих роль оболочки, сжимающей магнитный поток. В начальный момент времени каскад – это цилиндр из плотноупакованных изолированных тонких медных проволочек, уложенных параллельно оси цилиндра и скрепленных эпоксидным компаундом <sup>2</sup>. Отсутствие проводимости в окружном направлении обеспечивает диффузию потока аксиального магнитного поля сквозь каскад в исходном его состоянии, а после удара по нему подлетевшего предыдущего каскада он превращается в хорошо проводящий металлический цилиндр, который захватывает и сжимает магнитный поток, находящийся в полости каскада.

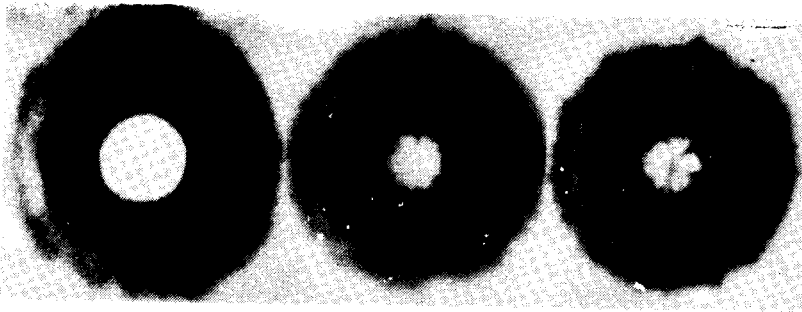


Рис.1. Серия рентгено снимков двухкаскадного генератора с интервалом  $\sim 1$  мкс

Настоящее исследование выполнялось с магнитокумулятивным генератором воспроизводимых сверхсильных магнитных полей с начальным внутренним диаметром оболочки 139 мм <sup>3, 4</sup> (мы называем ее первым каскадом) и начальным магнитным полем 160 кГс. Соосно с оболочкой в ее полости размещались второй и третий проволочные каскады с внутренним диаметром 28 и 12 мм. Влияние каскадирования на форму внутренней поверх-

ности обжимающей оболочки исследовалось просвечиванием всего генератора тормозным излучением импульсного безжелезного бетатрона <sup>5</sup> в направлении вдоль оси генератора. В каждом опыте получался один снимок, фиксирующий поперечное сечение оболочек генератора.

Результаты рентгенографических исследований наглядно показывают влияние каскадов на динамику формы внутренней поверхности оболочки, сжимающей сверхсильное магнитное поле. На рис.1 приведена серия трех последовательных рентгено снимков двухкаскадного генератора, сделанных с интервалом  $\sim 1$  мкс. Третий снимок серии наиболее близок по времени экспонирования к максимуму магнитного поля в полости второго каскада, составляющему  $\sim 8$  МГс. Форма внутренней поверхности на первом снимке почти круглая, имеет небольшие длинноволновые гладкие отклонения. На втором снимке видна начальная фаза развития возмущений границы оболочки — магнитное поле; формирование кумулятивных струй, сначала в виде коротких тонких острий, затем эти струи сталкиваются в центре с вовлечением в этот процесс все большей массы вещества оболочки второго каскада — это демонстрирует третий снимок.

Третий каскад полностью решил проблему устойчивости поверхности оболочки, сжимающей магнитное поле, достигающее 9 — 10 МГс, вплоть до момента максимума магнитного поля. На рис. 2 слева помещен снимок трехкаскадного генератора, сделанный как раз в момент максимума поля. Здесь внутренняя граница оболочки гладкая, ее минимальный диаметр около 11 мм. Между каскадами просматриваются зазоры, в которых теряется часть начального магнитного потока. Правый снимок рис.2 демонстрирует для сравнения состояние внутренней поверхности оболочки однокаскадного генератора также вблизи максимума поля в ее полости. А на центральном снимке трехкаскадного генератора, сделанном на  $\sim 1$  мкс позже, видно, что граница полости с многомегагауссным магнитным полем теряет все же свою форму с образованием характерных струйных выбросов вещества к оси кумуляции.

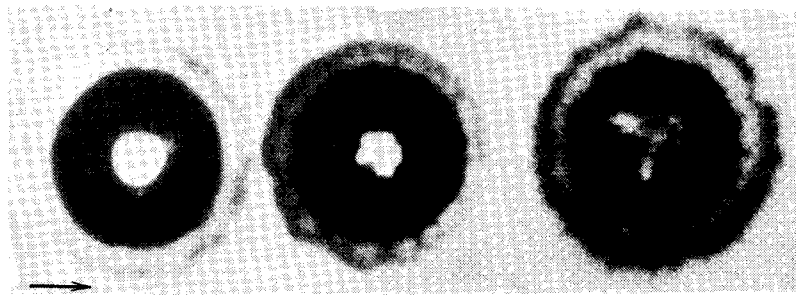


Рис.2. Рентгено снимки трехкаскадных и однокаскадного (справа) генераторов

Полное и точное описание взаимодействия каскадов друг с другом и со сверхсильным магнитным полем требует привлечения двумерных расчетов и подробного знания свойств вещества при высоких плотностях энергии. Качественно влияние каскадов на развитие неустойчивостей можно объяснить, по-видимому, заменой разогретого до температуры выше температуры испарения вещества первого каскада на холодное вещество второго каскада. При этом уменьшается скорость роста возмущений и существенно меньше сам интервал времени их развития. Далее на следующем каскаде этот процесс замены вещества повторяется. Условия для развития возмущений становятся еще менее благоприятными. Очень важно также то, что место расположения следующего каскада выбирается там, где возмущения формы предыдущего каскада еще не успели развиться до заметной величины. Изменение условий на поверхности, ограничивающей магнитное поле, может быть связано также с явлением перегрева вещества. Вещество в перегретом состоянии, в которое так быстро ввели энергию, что

оно не успело испариться, сохраняет проводимость, поэтому расширение поверхностного слоя оболочки будет ограничиваться взаимодействием его с магнитным полем. Состояние ускоренного ввода энергии в вещество имеет место при включении каждого следующего каскада.

Исследование работы многокаскадного магнитокумулятивного генератора выявило многочисленные и в большинстве своем взаимосвязанные функции каскадов. Описанная выше стабилизация процесса сжатия магнитного потока представляется наиболее важной функцией каскадов, позволившей увеличить магнитную кумуляцию и воспроизводимо получать магнитные поля 10-мегагаусного диапазона.

#### Литература

1. Людаев Р.З., Смирнов Е.Н., Плющев Ю.И., Павловский А.И., Чернышев В.К., Феохтистова Е.А., Жаринов Е.И., Зысин Ю.А. ДАН СССР, 1965, 165, 65.
2. Колокольчиков Н.П., Иванов Г.И., Плотников Ю.И., Рубашкин В.Н. а.с. 311582, БИ, 1979, 32, 239.
3. Павловский А.И., Колокольчиков Н.П., Долотенко М.И., Быков А.И. ПТЭ, 1979, № 5, 195.
4. Pavlovskii A.I., Kolokolchikov N.P., Tatsenko O.M., Bykov A.I., Dolotenko M.I., Karpikov A.A. Magagauss Physics and Technology, Plenum Press, New-York, 1980, p. 627.
5. Павловский А.И., Кулешов Г.Д., Склизков Г.В., Зысин Ю.А., Герасимов А.И. ДАН СССР, 1965, 160, 68.

Поступила в редакцию

5 сентября 1983 г.