

Исследование параметров алюминиевого флайера при линейной плотности тока 4.5 МА/см на установке Ангара 5-1

*С.И.Ткаченко¹, Е.В.Грабовский², А. Н. Грибов², Г.М.Олейник², К.Н. Митрофанов²,
А.О. Шишло²*

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Акционерное общество Государственный Научный Центр Российской Федерации Троицкий
Институт Инновационных и Термоядерных Исследований

С целью изучения свойств вещества при ударном сжатии, на установке Ангара-5-1 [1] для разгона флайеров и создания высоких давлений проведена модернизация концентратора – электродной системы, которая объединяет ток всех восьми модулей на общую нагрузку. Это позволило уменьшить индуктивность концентратора и увеличить ток через нагрузку и погонную плотность тока на ней. Поскольку электроды концентратора находятся в условиях вакуумной изоляции, уменьшение зазоров между электродами, которое приводит к уменьшению индуктивности генератора, может приводить к повышению вакуумных утечек и, как следствие, к уменьшению тока через нагрузку. Вопрос о поведении электродов при прохождении тока высокой погонной плотности – свыше 1 МА/см – по электродам в условиях его скинирования в вакууме исследовался в работах [2–4]. При использовании установки Ангара-5-1 для разгона флайера важно, что выполненная модернизация позволяет при длительности импульса около ста наносекунд проводить ток до 4 МА/см по линиям с вакуумной изоляцией.

При исследовании параметров алюминиевого флайера выполнены расчеты в рамках одномерной однотемпературной магнитной гидродинамики [4, 5]. Для описания свойств алюминия использовались широкодиапазонные полуэмпирические уравнения состояния [6] с учетом фазовых превращений (плавление и испарение) и возможности реализации метастабильных состояний, а также зависимости транспортных коэффициентов (проводимости и теплоемкости) от температуры [7, 8]. Временная зависимость тока была задана следующим образом $I(t) = 0.5I_0[1 - \cos(\pi t/\tau_0)]$ при $t < \tau_0$, при $t \geq \tau_0$ за 200 нс ток линейно падал до нуля (здесь I_0 – амплитудное значение тока; $\tau_0 = 180$ нс). Получены временные зависимости скорости разных слоев флайера, и их смещение относительно начального положения, а также распределения температуры, плотности, давления и плотности тока в разные моменты времени по его толщине. Получено, что при толщине флайера 900 мкм, к моменту времени ~ 500 нс скорость его тыльной стороны достигает ~ 10 км/с.

Литература

1. Альбигов З. А., Велихов Е. П., Веретенников А. И., Глухих В. А. и др. //Атомная энергия, 1990, Т. 68. № 1. С. 1-16.
2. Ананьев С.С., Бакшаев Ю.Л., Бартов А.В., Блинов П.И., Данько С.А., Жужунашвили А.И., Казаков Е.Д., Калинин Ю.Г., Кингсен А.С., Королев В.Д., Мижирецкий В.И., Смирнов В.П., Черненко А.С., Ткаченко С.И. //Физика плазмы, 2008. Т. 34. № 7. С. 627-640.
3. Ананьев С.С., Бакшаев Ю.Л., Бартов А.В., Блинов П.И., Данько С.А., Жужунашвили А.И., Казаков Е.Д., Калинин Ю.Г., Кингсен А.С., Королев В.Д., Мижирецкий В.К., Смирнов В.П., Устроев Г.И., Черненко А.С., Шашков А.Ю., Ткаченко С.И. //Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез. 2008. № 4. С. 3-24.
4. Грабовский Е.В., Левашов П.Р., Олейник Г.М., Олсон С.Л., Сасоров П.В., Смирнов В.П., Ткаченко С.И., Хищенко К.В. //Физика плазмы. 2006. Т. 32. № 9. С. 782-793.
5. Браницкий А.В., Грабовский Е.В., Джангобегов В.В., Лаухин Я.Н., Митрофанов К.Н., Олейник Г.М., Сасоров П.В., Ткаченко С.И., Фролов И.Н. //Физика плазмы, 2016, т.42, № 4, с. 342-351.
6. Fortov V.E., Khishchenko K.V., Levashov P.R., Lomonosov I. V. //Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1998. A415.P. 604.
7. Knoepfel, H., Pulsed High Magnetic Fields, Amsterdam: North-Holland, 1970. 188 p.
8. Орешкин В.И., Бакуит Р.Б., Лабецкий А.Ю. и др. //Журн. техн. физ. 2004. Т. 74. В. 7. С. 38.