

В диссертационный совет Д003.031.02  
при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки  
"Институт сильноточной электроники СО РАН",  
634055, г. Томск, пр. Академический, д. 2/3

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации «Экспериментальные исследования формирования плотной излучающей плазмы в диодах наносекундных генераторов тока мегаамперного диапазона», представленной Чайковским Станиславом Анатольевичем на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

Тема диссертационной работы Чайковского С.А., посвященной экспериментальным исследованиям формирования плотной плазмы при скиновом взрыве проводников в мегагауссных магнитных полях, устойчивости плазменных лайнеров и способов повышения компактности их сжатия, механизмов образования "горячих точек" в X-пинче - источников мягкого рентгеновского излучения, и созданию на его основе методик и устройств для импульсного теневого зондирования плотной плазмы и проводников, несомненно актуальна. Ее актуальность обусловлена, главным образом, фундаментальностью и сложностью происходящих быстропротекающих нелинейных электрофизических процессов в проводниках и плотной плазме при их взаимодействии с сильными импульсными магнитными полями.

Согласно автореферату диссертационная работа С.А. Чайковского состоит из девяти глав, первая из которых является обзорной. Такова структура работы прежде всего связана с решением соискателем большого количества проблем, характерных для разряда сильноточных наносекундных генераторов на малоиндуктивные нагрузки, к которым относятся многопроволочные и плазменные пинчи. В главе 2 представлены результаты экспериментальной реализации трансформатора тока нагрузки тераваттного импульсного генератора тока МИГ в ИСЭ СО РАН. Основной результат главы 2 - эффективность применения трансформатора тока нагрузки в качестве согласующего элемента сильноточного импульсного генератора с малоиндуктивной нагрузкой. Глава 3 содержит экспериментальные результаты по созданию малогабаритных импульсных генераторов для питания X-пинчей. Глава 4 содержит экспериментальные результаты работ по созданию способов синхронизации совместной работы созданных генераторов, источников импульсного рентгеновского излучения на основе X-пинча, и шести тераваттного сильноточного генератора Ангара-5-1. В главе 5 соискателем предлагается простая модель динамики перетяжки X-пинча и проводится сравнение результатов моделирования с результатами экспериментов.

Основные результаты глав 3 - 5 - создание малогабаритных источников мягкого рентгеновского излучения на основе X-пинча и убедительная демонстрация их использования для теневой импульсной рентгенографии плотной плазмы и проводников. Глава 6 содержит экспериментальные результаты исследования динамики каскадированных плазменных лайнеров, используемых в качестве импульсных источников К-излучения. Основным результатом данной главы следует считать доказательство того, что каскадирование газовых лайнеров позволяет получать компактные плазменные пинчи с финальным радиусом  $\leq 1$  мм, интенсивно излучающие в спектральном диапазоне 1-3 кэВ. В главах 7, 8 и 9 экспериментально исследуются связанные друг с другом физические проблемы, обусловленные с взаимодействием сильных импульсных магнитных полей с проводниками: диффузию магнитного поля в однослойные (глава 7) и двухслойные (глава 9) металлические проводники с различной электропроводностью и электрический взрыв скин-слоя в быстро нарастающих мегагауссных полях (глава 8). Главным результатом этих глав является установление минимальных значений магнитной индукции, при превышении которых в результате электрического взрыва скин-слоя формируется интенсивно излучающая в вакуумном ультрафиолетовом спектре плазма.

В целом, работа выполнена, на высоком профессиональном уровне, соискатель продемонстрировал, что он уверенно владеет методами современной экспериментальной физики и электрофизики высоких плотностей энергии. Соискателем созданы новые экспериментальные устройства для импульсной теневой рентгеновской фоторегистрации быстропротекающих, высокоэнергетических электрофизических процессов, получены экспериментальные результаты, обладающие несомненной научной новизной, оригинальностью и практической ценностью.

Тем не менее, по автореферату можно высказать несколько замечаний:

1. На с. 24 автореферата написано: "Эксперименты показали, что несмотря на достаточно широкий диапазон изменения характеристик X-пинчей, наблюдаемая длина перетяжки изменяется достаточно слабо (от 200 мкм до 450 мкм) и растет с ростом начальной погонной массы. Наблюдаемые в экспериментах значения длины перетяжек X-пинчей достаточно хорошо согласуются с длинами перетяжек, рассчитанных в рамках разработанной модели." Однако простой анализ таблицы 1 на с. 23, в которой приведены условия экспериментов и полученные экспериментальные и расчетные значения длин перетяжек, усредненных по числу выстрелов: наилучшее совпадение получено в опыте с 2 проволочками с начальной массой 30.5 мкг/см (первая строчка таблицы). Уже вторая строчка таблицы (4 выстрела) показывает, что расчетное значение длины перетяжки превышает экспериментальное примерно в 1.7 раза; третья

(4 выстрела) - в 1.61 раза; четвертая (4 выстрела) - в 1.24 раза. Поэтому вывод соискателя о том, что "в X-пинчах момент появления импульса рентгеновского излучения определяется длиной перетяжки" излишне категоричен. На основе данной таблицы в силу малости числа выстрелов и отсутствия указания на форму импульса тока, для которого получены расчетные значения длины перетяжки, можно говорить лишь о возможном влиянии длины перетяжки на момент появления импульса рентгеновского излучения.

2. На с. 28 - 30 соискатель говорит о процессах нелинейной диффузии магнитного поля в проводники. Непонятно, на основании чего соискатель называет процесс диффузии магнитного поля в проводники, описываемой при интерпретации экспериментов системой дифференциальных уравнений (4)-(5) с линейной эмпирической зависимостью удельного сопротивления проводника от плотности энергии джоулева тепловыделения и не содержащей явной зависимости от индукции (6), нелинейным. О системе уравнений (4)-(6) можно лишь сказать, что она представляет собой систему уравнений с переменными, неявно зависящими от времени, коэффициентами.

Сделанные замечания не снижают общего положительного мнения о диссертационной работе С.А. Чайковского. Их следует воспринимать в качестве пожелания более тщательного обоснования и формулирования результатов работы.

*Общее заключение:* Диссертация Чайковского С.А. "Экспериментальные исследования формирования плотной излучающей плазмы в диодах наносекундных генераторов тока мегаамперного диапазона" по актуальности, новизне, практической значимости и по уровню решаемых задач полностью отвечает квалификационным требованиям, установленным в п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Чайковский Станислав Анатольевич, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

Доктор физико-математических наук,  
профессор,  
профессор кафедры компьютерного моделирования и нанотехнологий  
ФГБОУ ВПО Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)  
адрес: 454080 г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76  
тел.: 8 904 816 4860  
e-mail: yalovets.alex@rambler.ru

