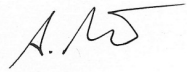


На правах рукописи



Маноскин Алексей Борисович

**РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ
ПЛАЗМЕННЫХ СГУСТКОВ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВЗРЫВЕ
МЕТАЛЛА ВО ВНЕШНЕМ ИМПУЛЬСНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Специальность 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2013

Работа выполнена на кафедре «Общая и экспериментальная физика»
ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет»

Научный руководитель: Власов Александр Николаевич,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Волков Степан Степанович,
доктор физико-математических наук, профессор,
Рязанское высшее воздушно-десантное
командное училище (военный институт)
им. генерала армии В.Ф. Маргелова,
профессор кафедры автомобильной техники

Кондрахин Александр Анатольевич,
кандидат технических наук, директор
НПЦ «Мера» ОАО НИИГРП «ПЛАЗМА»,
г. Рязань

Ведущая организация: ФГАОУ ВПО «Московский физико-технический
институт (государственный университет)»

Защита состоится «24» декабря 2013 г. в 11 часов 00 минут на заседании
диссертационного совета Д 212.211.03 в зале ученого совета, ауд. 235,
ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический
университет» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО
«Рязанский государственный радиотехнический университет».

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим
направлять по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, ученый совет
РГРТУ.

Автореферат разослан «__» ноября 2013г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р физ.-мат. наук, профессор



Чиркин М.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Исследования закономерностей различных физических механизмов формирования плотной плазмы представляются критически важными для создания экспериментальных установок получения плотной плазмы и для расширения методов экспериментальной физики.

Среди многообразия технических применений плазмы наиболее важные относятся к плазменным технологиям, поскольку с ионизованной плотной плазмой связываются разработка и реализация целого ряда перспективных проектов плазмохимии, в частности для переработки токсичных отходов. Перспективным также является использование плазмы для энергетики.

Достаточно эффективным источником плотной плазмы являются всевозможные разновидности ВЧ индукционного разряда (безэлектродные плазмотроны). Они превосходят по целому ряду характеристик наиболее распространенные, а именно дуговые. Главным из преимуществ является получение плазмы не загрязненной продуктами эрозии электродов. Кроме того, срок службы установок, использующих дуговой разряд, ограничен разрушением электродов.

Известные способы получения и удержания плазменных образований используют, как правило, постоянное или нарастающее магнитное поле в импульсном режиме или переменное электромагнитное поле в основном в ВЧ- и СВЧ-диапазонах. В то же время спадающее магнитное поле при импульсном воздействии на плазму пока не нашло применения, хотя такая возможность вполне реализуема.

Большой научный и прикладной интерес представляет получение долгоживущих плазменных образований в свободной атмосфере. Одним из простых способов получения плотной плазмы является электрический взрыв проводников. Основная трудность здесь связана с необходимостью формирования устойчивой структуры, способной существовать относительно длительное время. Получение плазменных образований в атмосфере, при достаточно большом времени жизни, позволит расширить область их применения, в частности использовать их в качестве источников видимого и ультрафиолетового излучения, а также в качестве

ионных источников, работающих в импульсном режиме для масс-спектрометрических приборов.

В процессе экспериментальных исследований по удержанию плазменных образований при атмосферном давлении выявляются проблемы, затрудняющие достижение требуемых параметров и препятствующие хорошей повторяемости результатов.

Технические решения, повышающие воспроизводимость результатов, позволят совершенствовать экспериментальные установки, что поможет использовать их для более широкого круга задач.

Цель и задачи диссертационной работы

Целью диссертационной работы является разработка установки для получения плазменных сгустков при электрическом взрыве металла в сильном быстроспадающем магнитном поле.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- разработка и экспериментальная реализация метода ввода энергии в плазму применительно к возможности развития импульсного индукционного разряда в создаваемой установке;
- получение аналитических зависимостей, позволяющих выработать технические требования к экспериментальной установке;
- исследование влияния параметров электровзрыва на время жизни плазменных сгустков, образующихся при электрическом взрыве проводников во внешнем импульсном магнитном поле;
- оценка магнитных сил и запасов прочности для различных конструкций индуктивных накопителей энергии в создаваемой установке.

Научная новизна

1. Разработана методика ввода энергии в плазму с учётом возможности развития импульсного индукционного разряда с плотной плазмой.
2. Определено влияние сильного быстроспадающего магнитного поля на время жизни автономных плазменных образований в открытой атмосфере.
3. Установлена закономерность, связывающая время жизни плазменных сгустков с геометрическим размером взрывающегося тороидального накопителя энергии.

4. Предложен способ крепления тороидального накопителя энергии для возможности формирования тороидальной конфигурации плазменного витка с током, позволяющий увеличить воспроизводимость результатов экспериментов в 2 раза.

5. На созданной экспериментальной установке впервые получены плазмоиды с временем жизни более 1 секунды.

Научные положения, выносимые на защиту

1. Установка силовых опорных элементов для предотвращения сдвига токопроводящих витков тороидального накопителя энергии повышает воспроизводимость результатов экспериментов по получению долгоживущих плазмоидов в 2 раза.

2. При электрическом взрыве линейного проводника во внешнем импульсном магнитном поле с амплитудой $B \geq 2,5 \text{ Тл}$ и скоростью спада $|\partial B / \partial t| \geq \frac{4 \cdot 10^3}{r}$, где r – радиус взрывной камеры (м), время жизни плазменного сгустка повышается в 2 раза по сравнению с электрическим взрывом без наложения внешнего магнитного поля.

3. При электрическом взрыве свернутых в тор медных спиралей в импульсном магнитном поле с амплитудой индукции 2,5 Тл, созданном внутри спиралей, формируется плазменная тороидальная структура.

Практическая ценность работы

1. Представлена методика проведения электровзрывных экспериментов, позволяющая оценивать влияние каждого из основных параметров электровзрыва на время жизни плазменных сгустков в атмосфере и выработать требования к экспериментальным установкам.

2. Установлена зависимость времени жизни автономных плазменных образований в открытой атмосфере на основе электрического взрыва проводников от радиуса взрывающегося тороидального накопителя энергии.

3. Реализован метод ввода энергии в плазму с учётом возможности развития импульсного индукционного разряда, повышающий время жизни плазменных сгустков.

4. Разработан способ крепления тороидального накопителя энергии, обеспечивающий более высокую воспроизводимость результатов.

5. Созданы газоразрядные стенды цилиндрической и тороидальной конфигурации для установки «ИНГИР-Мега-15».

Достоверность полученных результатов подтверждается соответствием экспериментальных результатов исследования результатам теоретических расчетов, а также использованием при создании теоретической модели ввода энергии в плазму с учетом развития импульсного индукционного разряда общепринятых физических и математических моделей

Реализация и внедрение результатов работы

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы использовались на кафедре «Общая и экспериментальная физика» РГРТУ при выполнении НИР по проведению исследований индукционного разряда при быстром спаде сильного магнитного поля в горячей плазме, а также внедрены в учебный процесс при изучении дисциплины «Физические основы электронных и ионных процессов».

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались на 11 научно-технических конференциях: XXII, XXIV и XXVI международной конференции «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество». Эльбрус, 2007, 2009, 2011; 13th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science. Dagomys, city of Sochi, 2007; 7th, 11th International Workshop on Magneto-Plasma Aerodynamics in Aerospace Applications. Moscow, JИHT RAS, 2007, 2012; Atmosphere, Ionosphere, Safety. Kaliningrad, 2008, 2012; 17-й российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии. Дагомыс, Сочи, 2010; 3-й и 5-й международной научно-практической конференции «Инновации в науке, производстве и образовании», Рязань, 2011, 2013.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 16 печатных работ, из них 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК для защиты кандидатских диссертаций, 14 работ в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка из 92 наименований и приложений, содержит 126 страниц машинописного текста, в том числе 55 рисунков, 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы и приведены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор литературы по методам получения плазмы.

На основе литературных источников описаны принципы работы устройств получения плазмы. Особое внимание уделено вопросам, касающимся индукционных разрядов, а также электрическому взрыву металлических проводников. Проанализировано влияние различных характеристик металлов на параметры электровзрыва. Приведены способы формирования и удержания плазмоидов шарообразной структуры в электромагнитном ВЧ- и СВЧ-поле и описаны устройства для реализации этих способов.

По результатам проведенного обзора литературы сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

Во второй главе предлагается метод ввода энергии в вещество с использованием индукционного разряда при быстром спаде сильного магнитного поля.

Физическая идея метода основана на аналогии схем формирования индукционных разрядов и схем одноктных импульсных преобразователей энергии в силовой электронике.

В одноктных схемах электрическая энергия на выход преобразователя передаётся в течение одной части цикла преобразования. Если энергия передаётся в тот момент, когда силовой ключ замкнут, то это – прямоходовая схема, если в момент, когда ключ разомкнут, то – обратногоходовая схема. В импульсных индукционных разрядах энергия в плазму передаётся при изменении магнитного поля, что эквивалентно замыканию или размыканию силового ключа, обеспечивающего изменение первичного тока катушки, создающей магнитное поле. Именно в этом

заключается аналогия однотактных импульсных схем силовой электроники и импульсных систем ввода энергии в плазму индукционным методом.

В обратногоходовой схеме силовой электроники (рис. 1) при замыкании ключа S (фаза 1) напряжение с конденсатора C подаётся на первичную обмотку трансформатора T , но, поскольку диод VD оказывается включенным в обратном направлении, энергия в нагрузку Z не передаётся, а накапливается в трансформаторе T в форме магнитного поля, создаваемого первичным током I .

При размыкании ключа S (фаза 2) самоиндукция «переворачивает» полярность на выводах трансформатора, диод VD оказывается в открытом состоянии и запасённая в трансформаторе энергия магнитного поля передаётся вторичным током J в нагрузку Z .

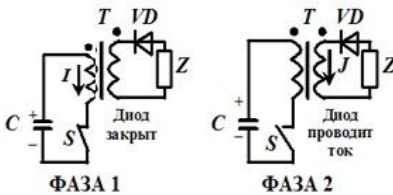


Рис.1. Обратногоходовая схема силовой электроники

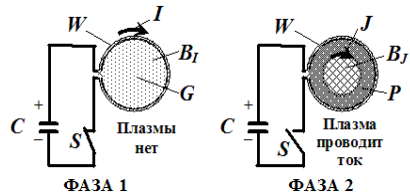


Рис.2. Схема ввода энергии в плазму с использованием индукционного разряда

Обратногоходовой схеме соответствует индукционный разряд (рис. 2).

Суть метода ввода энергии в плазму при быстром спаде сильного магнитного поля заключается в том, что в этом случае, как и в обратногоходовой схеме, после замыкания ключа S (фаза 1) энергия не сразу вводится в плазму, а запасается внутри катушки W в форме магнитного поля, создаваемого первичным током I . Энергия не вводится потому, что плазмообразующий газ G не ионизирован, ионизацию газа осуществляют непосредственно перед размыканием ключа S . В этом случае при размыкании ключа S (фаза 2) магнитное поле внутри катушки W быстро спадает и возникает сильное вихревое электрическое поле, в результате чего в ионизированном газе G формируется плазменный виток с током J . Этот виток, взаимодействуя с магнитным полем B_J , создаваемым током J , стремится вытеснить плазму из центральной области разрядной камеры на периферию, но процессу вытеснения плазмы противостоят силы внешнего

давления. На определённом этапе развития этого разряда может устанавливаться равновесное состояние, и плазма P принимает вид трубки или тороидальной оболочки с полоидальным током (в зависимости от используемой геометрии плазмы).

Развитие индукционного разряда с формированием токовой трубки возможно только тогда, когда первоначальное магнитное поле обладает магнитным давлением, существенно превосходящим газокINETическое давление плазмообразующего газа. В принципиальном плане в этом случае возможно формирование долгоживущих плазмоидов.

Плазмоиды, или автономные плазменные сгустки (в которых существенны магнитные силы), – это равновесные магнитогидродинамические (МГД) конфигурации, представляющие интерес для изучения экстремальных состояний материи при воздействии интенсивных потоков энергии на вещество и для исследования плазмы, в том числе для приборов плазменной электроники. Одним из методов получения плазмоидов является электрический взрыв свёрнутых в тор металлических спиралей, в этом случае используется метод накопления энергии в индуктивном контуре с током и передачи её в нагрузку при прерывании первичного тока. Спирали выполняют функции индуктивного накопителя энергии и одновременно прерывателя цепи первичного тока (в момент электровзрыва), а роль нагрузки выполняет плазменный виток в горячем газе, образовавшемся при взрыве спиралей.

В случае цилиндрической геометрии системы магнитное поле создаётся внутри индуктивного накопителя энергии (индуктора), выполненного в виде длинной цилиндрической катушки. Если через витки катушки пропускается импульс тока, то внутри разрядного объёма катушки создаётся магнитное поле с изменяющейся индукцией, в результате чего индуцируется вихревое электрическое поле. Разряд может развиваться лишь при выполнении условий:

$$B_{\max}^2 \gg 2 \cdot \mu_0 \cdot p, \quad (1)$$

$$|\partial B / \partial t| \geq \frac{2 \cdot E_a}{r}, \quad (2)$$

где p – газокINETическое давление внешнего газа, E_a – напряженность электрического поля в контуре с радиусом $r=a$, при котором происходит электрический пробой газа. Для развития такого разряда в атмосфере

амплитуда импульса магнитного поля должна составлять $B_{\max} \geq 2,5 Tл$, а скорость спада $|\partial B/\partial t| \geq \frac{4 \cdot 10^3}{r}$.

На основе уравнений Максвелла получено соотношение, которое задаёт параметры импульса первичного тока, обеспечивающие возможность возникновения индукционного разряда с током $J(t)$.

В системе с тороидальной геометрией плазмы плазменный виток в виде кольца с полоидальным поверхностным током создает тороидальное магнитное поле с индукцией, которое имеет малый радиус a и большой радиус R . Плазменный виток расположен внутри вихревого газового кольца, обеспечивающего устойчивость системы. Устойчивость такой системы имеет три составляющих:

- существование равновесного состояния кольца,
- устойчивость кольца по отношению к изменению формы,
- устойчивость кольца к изменению размеров в состоянии

равновесия при неизменной форме.

Равновесное состояние кольца существует, когда равновесный ток равен $J_0 = 2\pi R \cdot \sqrt{\frac{2p}{\mu_0}}$. Отсутствие полоидального магнитного поля обеспечивает устойчивость кольца по отношению к изменению формы при любых длинах волн возмущения в кольце. Условие устойчивости равновесия кольца при неизменности его формы реализуется, если $a < R/3$ и среднеквадратичная скорость движения слоёв газа в вихревом кольце больше $0,4 v_{\text{звук}}$.

Таким образом, приведенная теоретическая модель индукционного разряда при быстром спаде сильного магнитного поля показывает, что при таком разряде может сформироваться устойчивая магнитогидродинамическая конфигурация. Эта магнитогидродинамическая конфигурация фактически определяет объемную структуру плазменного сгустка.

Кроме того, данная модель позволяет вычислять параметры индукционного разряда и выработать требования к экспериментальным установкам, реализующим такой разряд.

В частности, получена зависимость времени жизни от радиуса тороидального накопителя энергии (рис. 3), а также зависимость амплитуды импульса первичного тока от ожидаемого времени жизни автономных плазменных образований (рис. 4). Данные зависимости позволяют правильно планировать эксперимент.

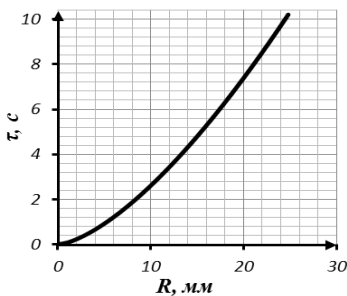


Рис.3. Зависимость ожидаемого времени жизни τ плазмоида от радиуса R тороидального накопителя энергии

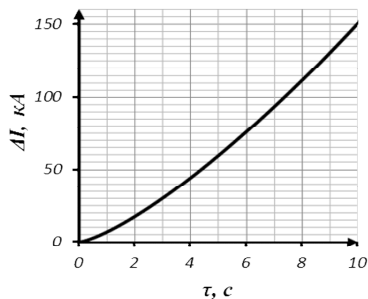


Рис.4. Зависимость амплитуды импульса первичного тока от ожидаемого времени жизни плазменного образования

В процессе предварительных экспериментальных исследований воспроизведение результатов было относительно низким (при получении плазмоидов с временем жизни около 1 с – менее 5 %). Одной из причин этого являлось отсутствие чёткого понимания роли магнитных сил в индуктивных накопителях, и данный пробел в значительной степени исправлен в настоящей работе.

В ходе решения данной задачи было получено выражение, определяющее величину силы, затягивающую токопроводящий виток к центру тора:

$$F_{tor} = 2 \left(\frac{B_0^2 h a}{2 \mu_0} \int_{-\pi/2}^0 \left(1 - \frac{2a}{R} \sin \varphi \right) \cos \varphi d\varphi - \frac{B_0^2 h a}{2 \mu_0} \int_0^{\pi/2} \left(1 - \frac{2a}{R} \sin \varphi \right) \cos \varphi d\varphi \right), \quad (3)$$

где h – толщина витка.

После интегрирования выражение (3) принимает вид:

$$F_{tor} = \frac{B_0^2 h a^2}{\mu_0 R}. \quad (4)$$

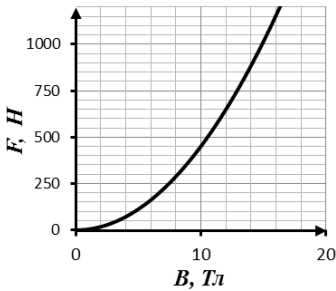


Рис.5. Зависимость прижимающей силы F токопроводящего витка тороидального накопителя энергии от индукции магнитного поля B , $a=0,017$ м, $h=0,001$ м

Для создаваемой установки эта сила составляет сотни ньютонов, в зависимости от индукции магнитного поля (рис. 5). С учетом этого следует важный вывод: токопроводящие витки тороидального накопителя энергии должны иметь силовые опорные элементы для предотвращения сдвига витков к центру тора, что повышает воспроизводимость более чем в 2 раза.

Третья глава посвящена экспериментальной реализации

метода ввода энергии в плазму и проверке теоретической модели индукционного разряда.

В состав экспериментальной установки входят: силовая система, испытательная камера, сменные газоразрядные стенды, управляющая регистрационно-измерительная система.

Установка работает следующим образом.

После заряда конденсаторной батареи и готовности регистрационно-измерительной управляющей системы подаётся команда на включение блока быстродействующих тиристоров, в результате чего на нагрузку поступает импульс напряжения, который приводит к возникновению соответствующего импульса тока. Амплитуда и фронты этого импульса тока определяются характеристиками цепи газоразрядного стенда, внутренним сопротивлением и индуктивностью разрядного контура силовой системы.

Для подтверждения теоретической части были проведены следующие эксперименты с использованием стендов двух типов:

- 1) на основе взрыва линейной проволоки внутри цилиндрического накопителя энергии (с целью проверки метода ввода энергии в плазму при быстром спаде сильного магнитного поля);
- 2) на основе взрывающейся спирали, свёрнутой в тор (с целью проверки структуры автономных плазменных образований).

Рассмотрим результаты экспериментов с использованием газоразрядного стенда первого типа.

Вначале были проведены эксперименты без наложения магнитного поля на разрядную камеру. В этом случае электрический взрыв проводника приводил к появлению короткоживущего плазменного сгустка. Осциллограмма тока и напряжения, а также видеокadres процесса приведены на рис.6.

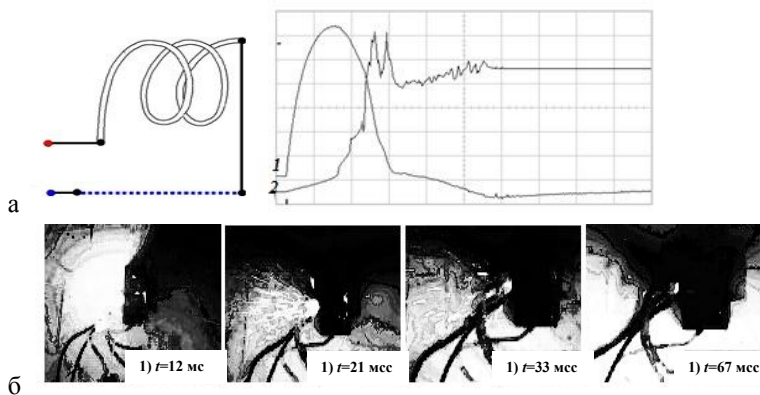


Рис. 6. Электрический взрыв линейной проволоки без внешнего магнитного поля:
а – осциллограмма: 1 – сила тока (0,33 кА/дел), 2 – напряжение (50 В/дел),
масштаб по оси времени 0,5 мс/дел;

б – видеокadres процесса электрического взрыва проводника

Затем были проведены эксперименты с наложением сильного и быстроспадающего магнитного поля на разрядную камеру с взрывающейся проволокой. В этом эксперименте роль прерывателя тока исполняла сама взрывающаяся проволока, так как она была включена последовательно с катушкой, создающей сильное магнитное поле. Осциллограмма тока и напряжения, а также видеокadres процесса приведены на рис.7.

Представленные экспериментальные результаты чётко показывают на существенное влияние сильного и быстроспадающего магнитного поля на процесс ввода энергии в плазму. Повышение более чем в 2 раза времени жизни (от 30 мс до 110 мс) плазменных образований свидетельствует об увеличении внутренней энергии плазмы.

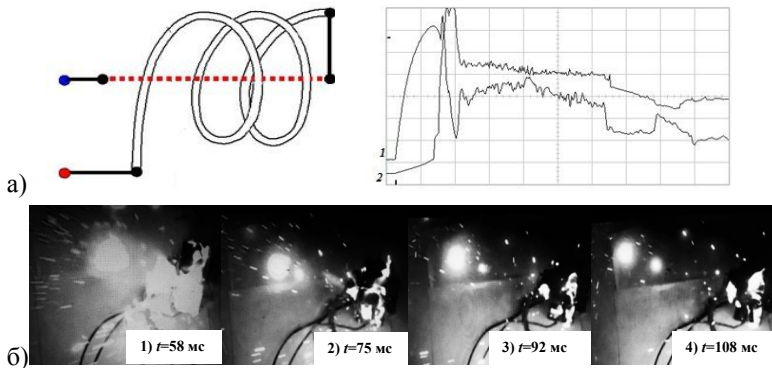


Рис.7. Электрический взрыв линейной проволоки при воздействии внешнего сильного быстроспадающего магнитного поля:

а – осциллограмма: 1 – сила тока (0,33 кА/дел), 2 – напряжение (50 В/дел), масштаб по оси времени 0,5 мс/дел;

б – видеокадры процесса электрического взрыва проводника

С целью проверки возможности формирования равновесного состояния плазмы проводились экспериментальные исследования при индукционном разряде в сильном и быстроспадающем магнитном поле в электрически взрываемом индуктивном накопителе энергии тороидальной формы.

Электрически взрываемый индуктивный накопитель энергии был выполнен на основе 4-х спиралей, свёрнутых в тор. Параметры каждой из 4-х спиралей были следующие: число витков $N=16$, $R=7,5$ мм, $a=2,5$ мм. Спирали электрически соединялись с выходными электродами в испытательной камере. Согласно теоретической модели расчетное время жизни автономного плазменного образования составляет $\tau_{\max} = G(Rbk\sigma_{\text{lim}})^{3/2} \approx 1,7$ с, здесь $G = 8\pi^3 A(6/\mu_0)^{3/2} \approx 3,36 \cdot 10^{-4} \text{ с} / H^{3/2}$ – размерный коэффициент.

Видеозапись эксперимента проводилась с частотой 30 кадров в секунду. Всего зарегистрировано 48 кадров с присутствием светящегося образования (рис. 8). Это соответствует экспериментально наблюдаемому времени жизни плазмоида 1,6 с.

Зафиксированные кадры видеосъемки были обработаны с помощью программного обеспечения PIXLR. Наложение фильтров при обработке

позволило снять свечение и получить изображение (рис.8), по которому можно судить о распределении температуры, а следовательно, и о тороидальной структуре самого плазменного образования.

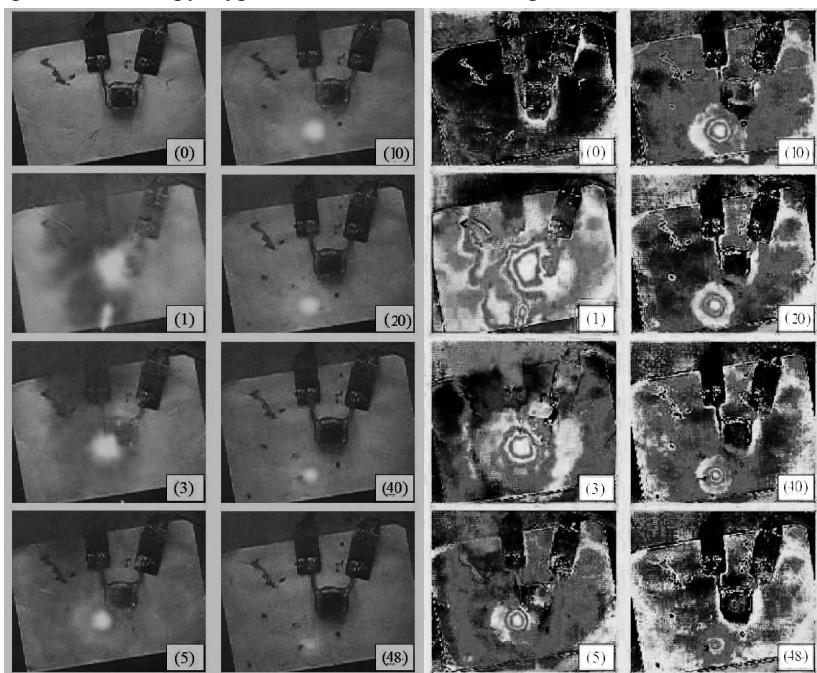


Рис.8. Видеокadres процесса электрического взрыва тороидального накопителя энергии. Справа – результат обработки снимков

Результаты диссертационной работы

1. Разработана методика ввода энергии в плазму с учётом возможности развития импульсного индукционного разряда с плотной плазмой.

2. Реализован метод ввода энергии в плазму с учётом возможности развития импульсного индукционного разряда, повышающий время жизни плазменных сгустков.

3. Установлена закономерность, связывающая время жизни плазменных сгустков с геометрическим размером взрывающегося тороидального накопителя энергии ($\tau_{\max} \sim (R)^{3/2}$).

4. Разработана методика проведения электровзрывных экспериментов, позволяющая оценивать влияние каждого из основных параметров электровзрыва на время жизни плазменных сгустков в атмосфере и выработать требования к экспериментальным установкам.

5. Созданы газоразрядные стенды цилиндрической и тороидальной конфигурации для установки «ИНГИР-Мега-15».

6. Предложен способ крепления тороидального накопителя энергии, повышающий воспроизводимость результатов в 2 раза.

7. На созданной экспериментальной установке впервые получены плазмиды с временем жизни более 1 секунды на основе электрического взрыва свёрнутых в тор медных спиралей.

8. Экспериментально получены сведения об объемной структуре плазменных образований, формирующихся предложенным методом.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Власов А.Н., Дубков М.В., Буробин М.А., Жимолоскин С.В., Маношкин А.Б. Экспериментальная установка «ИНГИР-МЕГА-15» для получения и исследований индукционного разряда // Вестник РГРТУ. – 2013. – Вып. 43. – С. 90-95.

2. Власов А.Н., Жимолоскин С.В., Николаев А.В., Маношкин А.Б., Панин В.В., Поташевский С.С. Об особенностях индуктивных накопителей энергии в экспериментальной установке «ИНГИР-МЕГА-15» // Вестник РГРТУ. – 2013. – Вып. 44. – С. 101-106.

Статьи, опубликованные в других изданиях, и материалы конференций

3. Власов А.Н., Колесников С.А., Маношкин А.Б. Об особенностях электрического взрыва проволочной спирали, свернутой в тор // Тезисы XXII международной конференции «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество». – Эльбрус, 2007. – С. 192-193.

4. Vlasov A.N., Kolotilin B.I., Kolesnikov S.A., Manoshkin A.B., Panin V.V. Experimental researches of electrical explosion of the wire spiral

turned in the torus and dipped in water // 13th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science (program and abstracts) // International society of condensed matter nuclear science, Russian physical society. – Dagomys, city of Sochi, 2007. – P. 41.

5. Vlasov A.N., Kolesnikov S.A., Manoshkin A.B. Features of electrical explosion of the wire spiral velocities in the torus // Proceedings of the 7th International Workshop on Magneto-Plasma Aerodynamics in Aerospace Applications. Ed. V.A. Bityurin. – Moscow, JIHT RAS, 2007. – P. 148-150.

6. Vlasov A.N., Kolesnikov S.A., Manoshkin A.B. Getting of Long-Living Plasma Object in the Atmosphere by Method of Electric Explosion of Wire Spiral Turned in Tor // AIS-2008: Atmosphere, Ionosphere, Safety: Book of Abstracts; Supported by Russian Foundation of Basic Research / Editor I.V. Karpov. – Kaliningrad, 2008. – P.128-129.

7. Vlasov A.N., Kolesnikov S.A., Manoshkin A.B. Getting of Plasma Object by Exploding Wire in Center of a Hot Vortex Ring // AIS-2008: Atmosphere, Ionosphere, Safety: Book of Abstracts; Supported by Russian Foundation of Basic Research / Editor I.V. Karpov. – Kaliningrad, 2008. – P.129-130.

8. Vlasov A.N., Kolotilin B.I., Kolesnikov S.A., Manoshkin A.B., Panin V.V. Experimental Researches of Electrical Explosion of the Wire Spiral Turned in the Torus and Dipped in Water // Proceedings of the 13th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science (ICCF-13). – Dagomys, city of Sochi, June 25 – July 1, 2007. Moscow: MATI, 2008. – P. 147-152.

9. Vlasov A.N., Kolesnikov S.A., Manoshkin A.B., Panin V.V., Potashevsky S.S. Exploding wire spirals rolled up in toroidal form // XXIV International Conference on Interaction of Influence Energy Fluxes with Matter. March 1-6, 2009, Elbrus, Russia. Book of Abstracts. Moscow & Chernogolovka & Nalchik, 2009. – P. 194-195.

10. Власов А.Н., Маношкин А.Б., Панин В.В. Оптимизация параметров электровзрыва проводников для повышения времени жизни плазмOIDов // Проблемы холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии: программа и тезисы 17-й российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии. Дагомыс, Сочи, 26 сентября – 3 октября 2010 г. – М.: МАТИ, 2010. – С. 22.

11. Vlasov A.N., Manoshkin A.B., Panin V.V., Potashevsky S.S., Zhimoloskin S.V. Exploding wires in the strong external magnetic field which is quickly falling down // XXVI International Conference on Interaction of Influence Energy Fluxes with Matter. March 1-6, 2011, Elbrus, Russia. Book of Abstracts. Moscow & Chernogolovka & Nalchik, 2011. – P. 49.

12. Власов А.Н., Жимолоскин С.В., Колесников С.А., Маношкин А.Б., Панин В.В., Попова С.Ю., Поташевский С.С. Получение плотной плазмы при электрическом взрыве свёрнутых в тор проволочных спиралей // Инновации в науке, производстве и образовании : сб. тр. науч.-практ. конф. / отв. ред. К.Н. Гаврилов, В.А. Степанов ; Рязан. гос. ун-т им. С.А. Есенина. – Рязань, 2011. – С. 91-95.

13. Vlasov A.N., Manoshkin A.B., Potashevsky S.S., Zhimoloskin S.V. Study of electrical explosion of copper conductor in a strong external magnetic field // Proceedings of the 11th Workshop on Magneto-Plasma Aerodynamics / Ed. V.A. Bityurin. – Moscow, JИHT RAS, 2012. – P. 132-136.

14. Vlasov A.N., Manoshkin A.B., Panin V.V., Popova S.U., Potashevsky S.S., Zhimoloskin S.V. Getting of Long-Lived Plasmoids Exploding Wires in Strong Magnetic Field which Quickly Falls Down // AIS-2012: Atmosphere, Ionosphere, Safety: Book of Abstracts; Supported by Russian Foundation of Basic Research / Editor I.V. Karpov. – Kaliningrad, 2012. – P.153-155.

15. Власов А.Н., Жимолоскин С.В., Маношкин А.Б., Поташевский С.С. Установка «ИНГИР-МЕГА-15» для получения сильных импульсных магнитных полей и исследований индукционных разрядов // Инновации в науке, производстве и образовании : сб. тр. науч.-практ. конф. / отв. ред. К.Н. Гаврилов, В.А. Степанов ; Рязан. гос. ун-т им. С.А. Есенина. – Рязань, 2013. – С. 98-101.

16. Власов А.Н., Буробин М.А., Маношкин А.Б. Масс-анализ состава газов после электрического взрыва спиралей // Инновации в науке, производстве и образовании : сб. тр. науч.-практ. конф. / отв. ред. К.Н. Гаврилов, В.А. Степанов ; Рязан. гос. ун-т им. С.А. Есенина. – Рязань, 2013.–С.101-105.

Маношкин Алексей Борисович

**РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ
ПЛАЗМЕННЫХ СГУСТКОВ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВЗРЫВЕ
МЕТАЛЛА ВО ВНЕШНЕМ ИМПУЛЬСНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 18.11.2013. Формат бумаги 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,0.

Тираж 100 экз.

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ