



## 14-Электрофизика

Артамонов Денис Олегович, 2 курс  
Новосибирский Государственный Университет, физический  
**Создание установки для обезгаживания поверхностей электронным пучком в вакууме**  
Научный руководитель: Ткаченко Вадим Олегович, Кандидат ф.-м.наук, старший научный сотрудник,  
Институт Ядерной Физики  
Адрес: 630090,Новосибирск-90, Пирогова 14-416,  
E-Mail: [ardo@gorodok.net](mailto:ardo@gorodok.net) стр. 723

Артамонов Денис Олегович, 2 курс  
Новосибирский Государственный Университет, физический  
**Создание установки для нанесения тонких плёнок методом осаждения из ионного пучка**  
Научный руководитель: Ткаченко Вадим Олегович, Кандидат ф.-м.наук, старший научный сотрудник,  
Институт Ядерной Физики  
Адрес: 630090,Новосибирск-90, Пирогова 14-416,  
E-Mail: [ardo@gorodok.net](mailto:ardo@gorodok.net) стр. 724

Беликов Олег Витальевич, 6 курс  
Новосибирский Государственный Университет, физический  
**Электропривод для шагового двигателя ШД5**  
Научный руководитель: Сингатулин Шавкат Рахимович, , научный сотрудник, Институт Ядерной  
Физики им. Г.И. Будкера СО РАН (ИЯФ)  
Адрес: 630090 г.Новосибирск, ул.Пирогова 14, к.218  
Телефон: (3832) 39-44-73  
E-Mail: [Belikov\\_OV@ngs.ru](mailto:Belikov_OV@ngs.ru) стр. 725

Гиматдинов Виталий Ринатович, 5 курс  
Уральский Государственный Технический Университет (УПИ), физико-технический  
**Наносекундный импульсно-периодический ускоритель электронов для накачки ксенонового лазера**  
Научный руководитель: Кузнецов Дмитрий Леонидович, к. ф.-м. н., с. н. с., Институт электрофизики  
УрО РАН  
Адрес: 620016 г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 106. Институт электрофизики УрО РАН  
Телефон: (3432) 67-87-67  
E-Mail: [kdl@iep.uran.ru](mailto:kdl@iep.uran.ru) стр. 726

Карташов Андрей Михайлович, 1 курс магистратуры (5й год обучения)  
Новосибирский Государственный Университет, физический  
**Распределение электрических зарядов в детонационных волнах насыпных взрывчатых веществ**  
Научный руководитель: Зубков Павел Иванович, Доцент, Профессор, Институт Гидродинамики им. М.А.  
Лаврентьева СО РАН  
Адрес: 630090, Новосибирск, Пирогова 18-516  
Телефон: (3832)33-19-11  
E-Mail: [kartashov@ngs.ru](mailto:kartashov@ngs.ru) стр. 728

Колесников Денис Сергеевич, 1 курс магистратуры  
Новосибирский Государственный Университет, физический  
**Система развёртки электронного пучка в ускорителе ИЛУ-10**  
Научный руководитель: Радченко Вадим Митрофанович, Кандидат технических наук, Старший научный  
сотрудник, Институт Ядерной физики СО РАН  
Адрес: 630090, Новосибирск-90 Пирогова-14 кв 219  
E-Mail: [denis\\_kolesnikov@ngs.ru](mailto:denis_kolesnikov@ngs.ru) стр. 730

Свих Виктор Георгиевич, 1 курс магистратуры (5й год обучения)

Новосибирский Государственный Университет, физический

**Распределение электропроводности в перешагнутых стационарных детонационных волнах**

Научный руководитель: Зубков Павел Иванович, Доцент, Профессор, Институт Гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН

Адрес: 630090, Новосибирск, Пирогова 18-516

Телефон: (3832)33-19-11

E-Mail: [vitya@gorodok.net](mailto:vitya@gorodok.net)

стр. 732

## Создание установки для обезгаживания электронным пучком в вакууме

*Артамонов Денис Олегович*

*Иванов Пантелей Александрович*

*Штарклёв Евгений Андреевич*

*Новосибирский Государственный Университет*

*Ткаченко Вадим Олегович, к.ф-м.н.*

*[ardo@gorodok.net](mailto:ardo@gorodok.net)*

Целью данной работы было создание установки для обезгаживания электронным пучком непроводящих поверхностей в вакууме порядка  $10^{-4}$  торр. Для этого были исследованы несколько моделей электронных пушек с вольфрамовым катодом прямого накала. Получены зависимости плотности электронного пучка, попадающего на поверхность, от напряжения на аноде. В результате была создана модель инжектора с энергией частиц до 1,5 КэВ и током 1 мА. Проведен эксперимент по взаимодействию электронного пучка с очищаемым образцом. Подобные эксперименты уже ставились П. Холлэндом, и дали отрицательный результат, отличие нашей работы состоит в использовании новых материалов.

1. В ходе экспериментов были рассмотрены несколько типов инжекторов, сняты их характеристики, что позволило выбрать оптимальный тип для поставленных задач.

2. Проведен ряд экспериментов по очистке диэлектрических образцов. После обработки электронным пучком поверхности на ней образовалась оптически прозрачная пленка, предположительно возникшая из-за полимеризации масляных паров диффузионного насоса. Такой же эффект описан в работах [1],[4].

3. Пленка обладала следующим необычным свойством: водяные пары на ней не конденсировались.

4. Проведя эксперименты, мы пришли к выводу, что очистка методом электронного пучка при использовании только диффузионного насоса без дополнительной очистки рабочего объема невозможна.

### Список публикаций:

[1] *Электронно и ионнолучевая технология. Труды первой международной конференции по теории и технологии обработки электронными и ионными пучками*

[2] *Справочник «Технология тонких пленок» под редакцией К. Майссела и Р. Глэнга*

[3] *«Расчет и конструирование электронных ламп» Б. М. Царев*

[4] *«Нанесение тонких пленок в вакууме» П. Холлэнд*

[5] *Ю. Ф. Комник «Физика металлических пленок»*

## Создание установки для напыления пленок методом осаждения из ионного пучка

*Артамонов Денис Олегович*

*Иванов Пантелей Александрович, Штарклёв Евгений Андреевич*

*Новосибирский Государственный Университет*

*Ткаченко Вадим Олегович, к.ф.-м.н.*

*[ardo@gorodok.net](mailto:ardo@gorodok.net)*

Целью данной работы было создание установки для нанесения тонких металлических пленок осаждением из ионного пучка в вакууме порядка  $10^{-3}$  торг и изучение процессов зажигания разряда при различных условиях.

В ходе работы был создан ионный источник на основе разряда Пеннинга. Произведена сепарация ионного пучка в магнитном поле.

Получены экспериментальные зависимости плотности ионного тока от напряжения на ускоряющем электроде при различных давлениях. В результате проведенных экспериментов был найден оптимальный режим работы установки ионного разряда (согласование напряжения зажигания, ускоряющего напряжения, величины магнитного поля и давления).

Проведен эксперимент по нанесению пленки из ионного пучка.

1. Создана установка для напыления пленок, из сепарированного по массе ионного пучка, с источником ионов на основе разряда Пеннинга.

2. Для создания магнитного поля в разряде, были опробованы различные системы постоянных магнитов и соленоидов, выбрана оптимальная.

3. Опробованы различные варианты сепарации пучка, с помощью постоянных магнитов и соленоидов.

4. Сняты различные характеристики разряда, и получившегося пучка (напряжения зажигания, ускоряющего напряжения, величины магнитного поля и давления)

5. Проведен ряд экспериментов по напылению пленок и исследованию их свойств.

Список публикаций:

[1] *Электронно и ионнолучевая технология.*

*Труды первой международной конференции по теории и технологии обработки электронными и ионными пучками*

[2] *Справочник «Технология тонких пленок» под редакцией К. Майссела и Р. Глэнга*

[3] *«Расчет и конструирование электронных ламп» Б. М. Царев*

[4] *«Нанесение тонких пленок в вакууме» П. Холлэнд*

[5] *Ю. Ф. Комник «Физика металлических пленок»*

[6] *И. И. Сливков, В. И. Михайлов, Н. И. Сидоров, А. И. Настюха «Электрический пробой и разряд в вакууме»*

**Электропривод для шагового двигателя ШД5**  
**Беликов Олег Витальевич**  
*Новосибирский Государственный Университет*  
*Сингатулин Шавкат Рахимович*  
*Belikov\_OV@ngs.ru*

Рассматриваемый электропривод осуществляет управление шестифазным шаговым серводвигателем типа ШД-5Д1МУ3.

Шаговый двигатель ШД-5Д1МУ3 широко используется на физических установках Института ядерной физики (ИЯФ г. Новосибирск) и в промышленности на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). В промышленности управление этим двигателем осуществляется по релейной схеме с использованием нагрузочных резисторов для ограничения тока. Использование такой схемы приводит к большим тепловым потерям (управляющая часть потребляет в 8 раз больше энергии, чем двигатель). Более приемлемое управление было в ИЯФе. Здесь в 70-е годы был разработан электропривод с мостовой схемой включения обмоток. Но, однако, и последний не удовлетворяет современным производственно – экспериментальным запросам, ввиду чего был разработан новый электропривод.

В разработанном электроприводе имеется шесть силовых канала, для ШИМ – управления токами в фазах двигателя. Логическая часть привода реализована на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) семейства АСЕХ, что позволяет осуществить оптимальное управление двигателем, а также избежать нежелательных переходных процессов, присутствующих в ранее разработанных моделях. Силовая часть привода выполнена на современных полевых транзисторах, что позволяет значительно сократить тепловые потери.

Разработанный электропривод отличается от своих предшествующих аналогов следующим:

1. Управление электроприводом может осуществляться как от КАМАК – блоков УШД2 и ИШАК (разработка ИЯФ), так и напрямую от ЭВМ.

2. Наличие специальных переключателей позволяет выбрать нужный режим работы для конкретной установки. Для настройки привода имеется встроенная схема тестирования, включающая пошаговую отладку.

3. В качестве блока питания может использоваться один источник нестабилизированного постоянного напряжения от 48V до 120V.

4. Реализовано дробление шага на четыре, что позволяет значительно снизить пульсации силового момента ротора, а также в четыре раза уменьшить шаг двигателя.

5. Имеется возможность для подключения инкрементного датчика, осуществляющего контроль за перемещением ротора.

Разработанный электропривод отличается повышенной эксплуатационной надёжностью. Первый опытный образец прошёл испытание на различных станках с ЧПУ экспериментального производства в ИЯФе. Испытание подтвердило ожидаемые результаты. На данном этапе изготавливается серийная партия электроприводов для частичной замены на станках ИЯФа.

Список публикаций:

[1] Беликов О.В. Модернизация электропривода шагового двигателя ШД5. // ТРУДЫ XXXIX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ “Студент и научно-технический прогресс”, Физика, стр. 150, (2001г). [2] Беликов О.В., Неханевич Э.Л., Сингатулин Ш.Р. Электропривод для шагового двигателя ШД5. Препринт 2002-66 ИЯФ СО РАН, г.Новосибирск.

## **Наносекундный импульсно-периодический ускоритель электронов для накачки ксенонового лазера**

**Гиматдинов Виталий Ринатович**

*Новоселов Юрий Николаевич, Кузнецов Дмитрий Леонидович*

*Уральский Государственный Технический Университет*

*Кузнецов Дмитрий Леонидович, к.ф.-м.н.*

*kdl@iep.uran.ru*

В настоящее время для накачки ксеноновых лазеров используются импульсные электронные пучки с различными параметрами. На основе имеющихся результатов можно сформулировать основные требования к импульсным ускорителям электронов для накачки ксенонового лазера:

1. Параметры импульса электронного пучка (плотность тока и длительность импульса) должны регулироваться в широком диапазоне значений для поиска оптимальных режимов накачки лазера.

2. Энергия электронов пучка должна регулироваться от сотни кэВ до нескольких сотен кэВ (вплоть до 1 МэВ) для возможности облучения различных газовых объемов, что позволит создавать лазеры с различной апертурой.

3. Частота следования импульсов также должна регулироваться в диапазоне от одиночных импульсов до единиц килогерц.

4. Ускоритель должен иметь надежный источник питания, долговечный катод и надежную охлаждаемую выводную фольгу, что обеспечит бесперебойную работу ускорителя в течение длительного времени.

Создать ускоритель, отвечающий одновременно всем перечисленным требованиям, очень сложно. В настоящей работе описан импульсно-периодический наносекундный ускоритель электронов, который удовлетворяет большей части этих требований и может быть использован для создания ксенонового лазера.

Ускоритель состоит из двух основных элементов – генератора мощных наносекундных импульсов СМ-3Н и вакуумного диода со взрывоэмиссионным катодом. Генератор СМ-3Н включает в себя индуктивный накопитель энергии и полупроводниковый прерыватель тока на основе SOS-диодов. Полностью твердотельная система коммутации энергии в данном устройстве позволяет снять принципиальные ограничения как по частоте следования импульсов, так и по ресурсу работы, что является важным преимуществом этой системы по сравнению с генераторами на основе газоразрядных коммутаторов. Генератор СМ-3Н формирует на выходе импульсы напряжения амплитудой до 400 кВ и длительностью на полувывоте около 40 нс. Основным ограничением, накладываемым на частоту следования импульсов генератора, является нагрев его элементов. По условиям теплоотвода

генератор СМ-3Н рассчитан на постоянную работу с частотой 200 Гц либо на кратковременную (до 30 секунд) работу с частотой до 1 кГц.

Генератор СМ-3Н используется для питания вакуумного диода. Импульсное выходное напряжение питающего генератора  $U_k$  подается на взрывоэмиссионный катод, расположенный внутри вакуумной камеры. Напряжение прикладывается между катодом и анодом, в качестве которого служит охлаждаемая водой медная решетка. При подаче импульса напряжения между катодом и анодом происходит взрывная электронная эмиссия с образованием катодной плазмы. Электроны поступают из плазмы в ускоряющий промежуток между катодом и анодом, ускоряются в нем и приобретают энергию, определяемую приложенным напряжением. Часть ускоренных электронов поглощается медной решеткой и выводной алюминиево-магниевой фольгой толщиной 50 мкм и размером  $85 \times 8 \text{ см}^2$ . Другая часть электронов проходит через отверстия медной решетки и выводную фольгу и образует электронный пучок, попадающий в камеру, заполненную смесью аргона и ксенона.

Осциллограммы ускоряющего напряжения на катоде  $U_k$  и полного тока пучка  $I_p$  в ускоряющем промежутке (см. рис.1) получены при расстояниях между катодом и анодом  $d = 166 \text{ мм}$  (1),  $d = 78 \text{ мм}$  (2),  $d = 22 \text{ мм}$  (3).

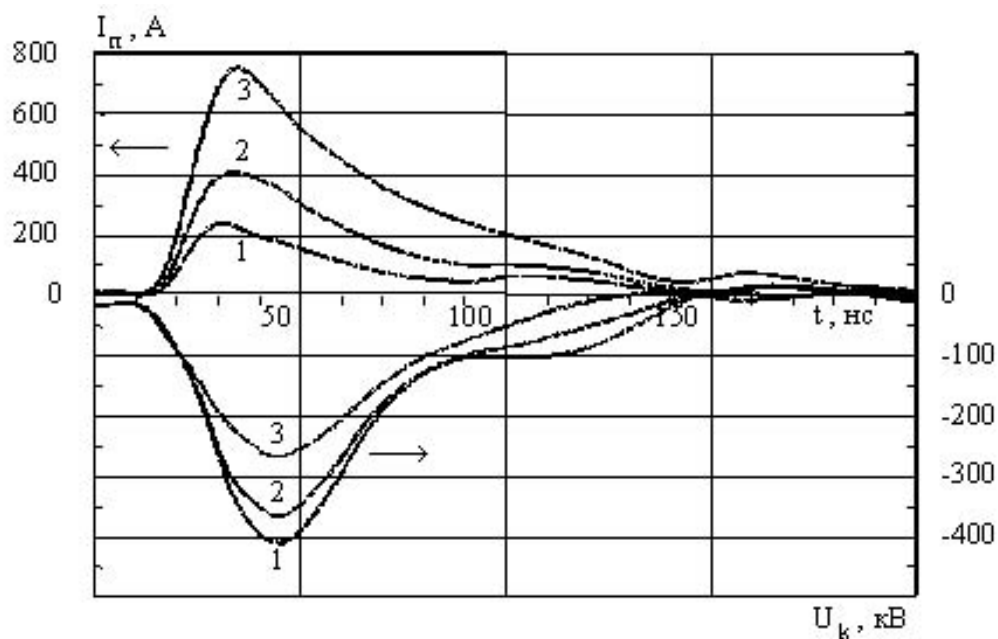


Рис.1

Увеличение расстояния  $d$  приводит к росту импеданса вакуумного диода, представляющего собой внешнюю нагрузку для питающего генератора. Поскольку генератор основан на индуктивном накопителе энергии, то рост импеданса приводит к увеличению выходного напряжения и снижению тока при заданной величине энергии накопителя. Максимальное напряжение на катоде достигается при  $d = 166 \text{ мм}$  и составляет 410 кВ при длительности импульса на полувысоте около 40 нс и полном токе электронного пучка 235 А. При уменьшении  $d$  до 22 мм ток пучка возрастает до  $\sim 800 \text{ А}$  при напряжении на катоде около 270 кВ. Максимальное значение тока пучка достигается при  $d = 13 \text{ мм}$  и составляет 1130 А.



Максимальное значение энергии электронного пучка  $\sim 7$  Дж, а импульсной мощности  $\sim 180$  МВт. Средняя мощность пучка достигает  $\sim 1$  кВт при длительной работе на частоте 200 Гц и  $\sim 4$  кВт при кратковременной работе на частоте 1 кГц.

Таким образом, созданный ускоритель электронов может рассматриваться как эффективный инструмент для накачки ксенонового лазера. Ожидаемые параметры лазера: длина волны излучения 1.73 мкм, КПД порядка 1%, средняя мощность лазерного излучения - единицы Вт.

## Распределение электрических зарядов в детонационных волнах насыпных взрывчатых веществ

*Карташов Андрей Михайлович*

*Новосибирский Государственный Университет*

*Зубков Павел Иванович, к.т.н.*

*[kartashov@ngs.ru](mailto:kartashov@ngs.ru)*

Впервые электрические сигналы перед фронтом детонационной волны были зарегистрированы Хейсом [1]. В его постановке эти сигналы были малы ( $\approx 10$  мВ), и не вызвали должного интереса. В [2] была предложена новая измерительная ячейка для измерения электропроводности вдоль распространения детонации. Было замечено, что при изменении полярности тока, пропускаемого через продукты детонации, сигнал напряжения на шунтирующей нагрузке меняется. Изменение было связано с э.д.с., возникающей в детонационной волне, и поэтому не зависящей от полярности тока.

Э.д.с. в детонационной волне обусловлена распределением электрических зарядов. Распределенный электрический заряд в пространстве создает электрическое поле. Измерению поддаются потенциалы на проводниках, находящихся сравнительно недалеко от детонационной волны.

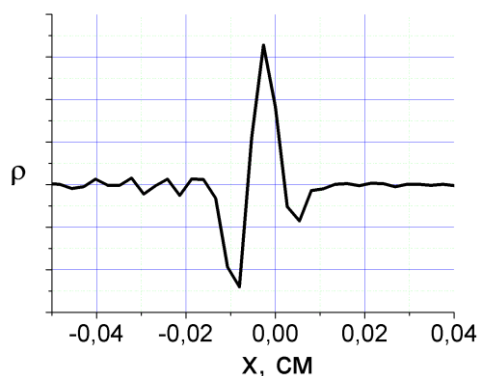


Рис.1

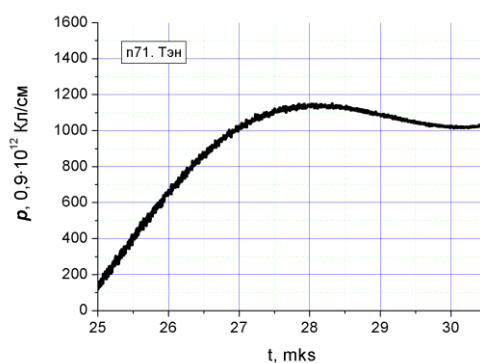


Рис.2

Для измерения этих потенциалов была применена схема, приведённая в [3]. Суммарная нагрузка, образованная делителем напряжения и входным сопротивлением осциллографа составляла величины 10-300 кОм в разных экспериментах. Столь большая величина сопротивления увеличивала время стекания заряда ( $RC$ ) с электродов, что повышало амплитуду выходного сигнала и позволяло его регистрацию до прихода детонационной волны.

Сигнал начинает монотонно расти сразу по окончании работы генератора и плавно растёт по мере приближения фронта детонации к измерительной ячейке. В момент касания напряжение возрастает скачком и затем быстро спадает до некоторой величины и далее медленно падает по мере приближения детонационного фронта к нижней сетке. Максимальное регистрируемое напряжение в скачке составляет величину в несколько киловольт. Поведения осциллограммы напряжения соответствует тому, что детонационная волна имеет дипольное распределение электрических зарядов с направлением диполя, совпадающим с направлением распространения детонации.

По полученным осциллограммам решалась обратная задача нахождения распределения зарядов в детонационной волне. На рис. 1 приведён качественный вид распределения зарядов в детонационной волне. Это распределение соответствует двум механизмам разделения зарядов. По нашим представлениям одним механизмом является поляризация ВВ в инициирующей ударной волне. Ширина этого распределения имеет величину порядка 0,1 мм. Второй механизм соответствует разделению электрических зарядов в проводящей зоне продуктов детонации.

Таким образом, исследование распределения потенциалов вдоль распространения детонации позволило выявить некоторую структуру детонационного фронта. Кроме того, полученное распределение говорит в пользу электронного механизма электропроводности в продуктах детонации. Разделение зарядов в быстропротекающих процессах, таких как детонация, возможно при сильном отличии подвижностей зарядов разных знаков. Подвижность электронов из-за их квантово-механического взаимодействия с молекулами продуктов детонации на несколько порядков выше подвижности ионов [4].

Рассмотрено приближение пространственного аксиально-симметричного дипольного распределения электрических зарядов, соответствующее детонационному, к электродам измерительной ячейки. Полученное значение диполя

$$p = -\int_0^l \rho(x) x dx = \text{const} \text{ (на единицу площади фронта, } \rho(x) \text{ – плотность электрических}$$

$$\text{зарядов, } l \text{ – ширина распределения) даётся формулой: } p = \frac{R_n J(t) - \alpha q(t)}{2\pi[1 - y(t)(R^2 + y^2(t))^{-1/2}]}.$$

Здесь  $R$  – радиус электродов,  $y$  – расстояние между фронтом и верхним электродом,  $R_n$  – величина нагрузки,  $J$  – ток,  $q = \int_0^t J(\tau) d\tau$  – заряд на электродах,  $\alpha$  – параметр, зависящий от геометрии ячейки.

На рис.2 приведены результаты расчёта дипольного момента детонационной волны, выполненные по приведённой формуле, для осциллограммы эксперимента, проведённого с тэном. Начальный участок (выход на почти постоянное значение), соответствует установлению стационарной детонации. Подсчитанный диполь составляет величины  $6,7 \cdot 10^{-10}$ ,  $1,2 \cdot 10^{-9}$  и  $6,1 \cdot 10^{-10}$  Кл/см для октогена, тэна и тротила соответственно. В то же время дипольный момент равен произведению средней поляризации на размер диполя  $p = \bar{P} \cdot l$ . Поскольку  $l \approx 0,23$ ,  $0,15$  и  $0,33$  мм, то средняя удельная поляризация:  $\bar{P} \approx 2,9 \cdot 10^{-8}$ ,  $8 \cdot 10^{-8}$  и  $1,9 \cdot 10^{-8}$  Кл/см<sup>2</sup> для октогена, тэна и тротила.

Список публикаций:

- [1] Bernard Hayes. *The Detonation Electric Effect. Journal of Applied Physics*, vol. 38, №2, 1967. p. 507.
- [2] П.И. Зубков, П.И. Иванов, А.М. Карташов, Л.А. Лукьянчиков, К.А. Тен. *Электропроводность продуктов, измеренная вдоль распространения детонации. Международная конференция VI Забабахинские научные чтения. 24-28 сентября 2001 г. Тезисы. Снежинск, Челябинской обл. Россия. Стр.72.*
- [3] Зубков П.И., Иванов П.И., Карташов А.М., Лукьянчиков Л.А., Тен К.А. *Распределение потенциалов в детонационной волне. Физика экстремальных состояний вещества — 2002. под ред. Фортова В.Е и др. Институт проблем химической физики РАН. Черноголовка, 2002. стр 90.*
- [4] Зубков П.И. *Электропроводность продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ // Тезисы докладов, Девятая Международная конференция по генерации мегагауссовых магнитных полей и родственными экспериментам, Москва – Ст.-Петербург, 7-14 июля 2002 г., С. 32.*

**Система развёртки электронного пучка в ускорителе ИЛУ-10**

*Колесников Денис Сергеевич*

*Новосибирский Государственный Университет*

*Радченко Вадим Митрофанович, к.т.н.*

**denis\_kolesnikov@ngs.ru**

В настоящее время в Институте ядерной физики реализуется контракт по созданию мощного гамма-источника для облучения пищевых продуктов на базе ускорителя электронов ИЛУ-10. Ускоритель генерирует мощный электронный пучок, система поворота пучка разворачивает его на 90 градусов (по технологическим требованиям заказчика), затем система развётки сбрасывает пучок ускорителя ИЛУ-10 на вертикально расположенный протяженный гамма-конвертор. В результате торможения электронов в конверторе кинетическая энергия электронного пучка преобразуется в тормозное гамма-излучение с к.п.д. около - 5%. Мощность электронного пучка - до 50 кВт.

Общий вид установки (без системы питания) приведен на рис.1.

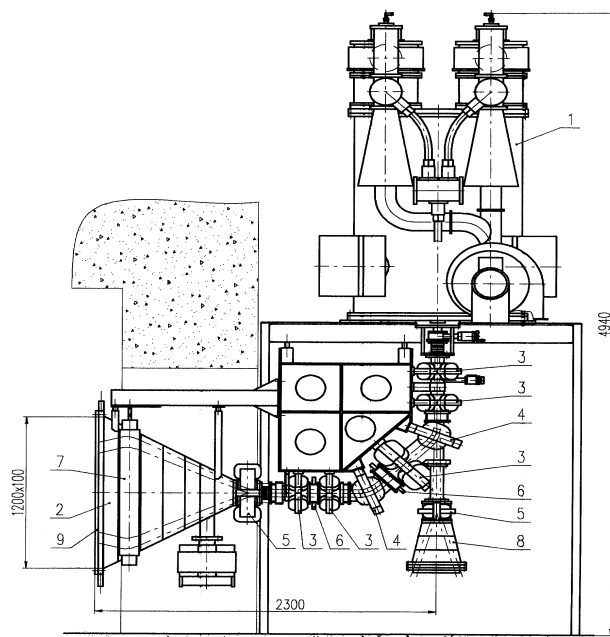


Рис. 1. Общий вид установки.

Значительный энергетический разброс ускоренного пучка - от 4.4 до 5 МэВ не позволяет обойтись одним 90-градусным поворотным магнитом. Неизбежные потери на внутренней стенке камеры частиц с низкой энергией выливаются в необходимость высокопроизводительной системы охлаждения. Выбрана схема ахроматического поворота - два плоских магнита по 45 градусов, разделенные квадрупольной линзой, фокусирующей в плоскости поворота. Оптическая ось соответствует электронам середины энергетического спектра - около 4,7 МэВ. Такая схема позволяет собрать практически весь пучок на вход сканирующего магнита.

Поворотные магниты и линзы смонтированы на оптической скамье из немагнитной стали. Для облегчения настройки ускорителя, а также расширения технологических возможностей сохранен канал вертикального выпуска пучка в атмосферу через титановое окно. Магнит развертки выполнен в виде замкнутого прямоугольного ярма, на боковые части которого надеты катушки возбуждения. Катушки включены так, что создаваемые ими магнитные потоки направлены навстречу друг другу. Сканирующий магнит в течение длительности импульса тока ( $T_{и} = 400$  мкс) разворачивает пучок сверху вниз вдоль конвертора длиной 1 м. Угол сканирования - от -25 до +25 градусов.

Для формирования технологически оптимального дозного поля электронный пучок должен падать на концы конвертора под углом, близким к 90 градусов. Это обеспечивается применением корректирующего магнита, представляющего собой линзу Пановского и расположенного в 15 см от мишени.

В результате проделанной работы было установлено следующее:

1) На основе решения уравнения движения получена трёхмерная картина траекторий пучка. Она представлена на рис. 2.

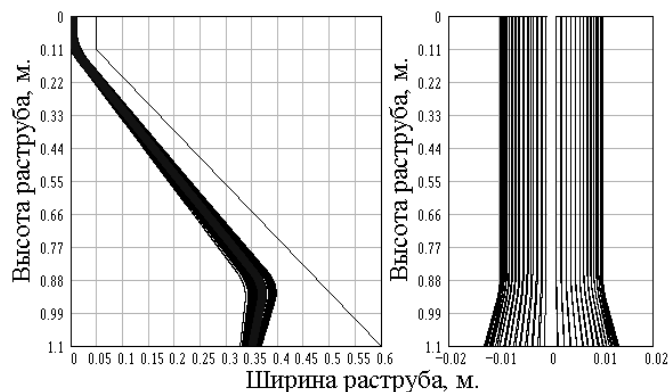


Рис. 2. Траектория движения пучка в плоскости раструба. Ломаной линией изображена граница раструба.

2) Найдена требуемая зависимость плотности тока от ширины раструба и, следовательно, магнитного поля в вакууме от времени. Она представлена на рис. 3.

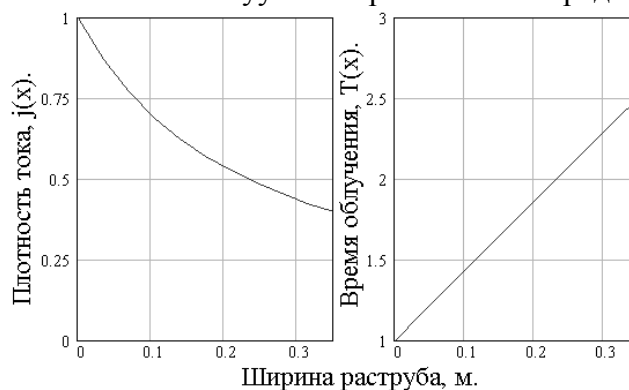


Рис. 3 Зависимость плотности тока пучка  $j(x)$  (слева) и времени облучения от ширины при равномерной дозе облучения.

3) Рассмотрены физические основы формирования импульсных магнитных полей при наличии металлических экранов. Разработана схема, позволяющая измерять магнитное поле внутри экрана с помощью датчиков магнитного поля, расположенных вне вакуумной оболочки развёртки. Также собраны основные экспериментальные результаты, полученные на установке ИЛУ-10.

## Распределение электропроводности в перешагнутых стационарных детонационных волнах

*Свих Виктор Георгиевич*

*Новосибирский Государственный Университет*

*Зубков Павел Иванович, к.т.н.*

*[vitya@gorodok.net](mailto:vitya@gorodok.net)*

Распределение электропроводности в детонационных волнах в конденсированных взрывчатых веществах несет информацию о физике детонационных процессов. По этой

причине были проведены исследования детонации насыпных взрывчатых веществ: гексогена, октогена, ТЭНа и тротила.

В данной работе приводятся результаты экспериментов, проведенных с относительно высоким временным разрешением в измерительной ячейке, позволяющей измерять проводимость невозмущенных продуктов детонации. Продемонстрировано наличие двух зон проводимости: неравновесной и равновесной. Выявлена особенность поведения электропроводности, заключающаяся в том, что переход от неравновесной к равновесной проводимости сопровождается участком, электропроводность которого на порядок меньше равновесной. Наиболее ярко особенность выражена в распределении электропроводности в пересжатых детонационных волнах. Обнаружено аномальное поведение электропроводности продуктов детонации тротила.

Все эксперименты проводились с цилиндрическими зарядами взрывчатого вещества диаметром 30 мм и длиной 80 мм. Заряды помещались в оболочку из оргстекла. Для получения равномерной плотности насыпных зарядов использовался вибростенд. Качество равномерности производилось контрольным взвешиванием заряда, а также регистрацией скорости детонации, измеряемых для каждого заряда. Заряд взрывчатого вещества инициировался с торца высоковольтным детонатором через генератор плоской волны. С противоположного торца заряда устанавливалась измерительная ячейка, представляющая собой два коаксиальных электрода, замкнутых нагрузочным сопротивлением. Измерение проводимости при замыкании электродов детонационной волной производилось по схеме постоянного тока. По измеренной проводимости продуктов детонации восстанавливалось распределение электропроводности.

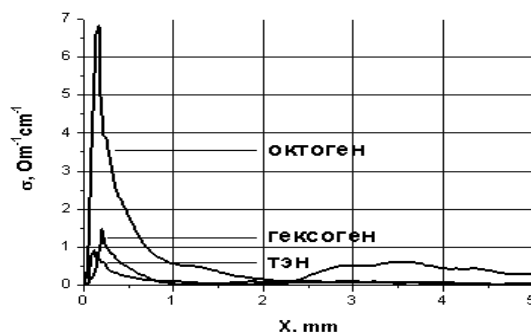


Рис. 1

Полученные распределения электропроводности при нормальной стационарной детонации приведены на рисунке (см рис.1). Зону электропроводности в насыпных октогене, гексогене и ТЭНе следует рассматривать как зону высокой неравновесной электропроводности, возникающей непосредственно за инициирующей ударной волной и зону малой остаточной равновесной электропроводности. В исследованных насыпных зарядах октогена, гексогена и ТЭНа распределения имеют одинаковый вид. Каждое распределение имеет пик с характерной шириной 0,5 мм, зону перехода к остаточной электропроводности и остаточную электропроводность. Максимальная электропроводность в пике имеет значения 7  $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ ; 1,5  $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ ; 1  $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$  соответственно в октогене, гексогене и ТЭНе. Остаточная электропроводность имеет значения 0,5  $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ ; 0,1  $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ ; 0,1  $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$  соответственно. На всех

распределениях, наиболее явно в октогене, видна особенность шириной порядка 0,1 мм с электропроводностью на порядок меньшей, чем остаточная.

В тротиле характерная ширина пика высокой электропроводности составила примерно 1,5 мм с максимальной электропроводностью около  $3 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ . Особенность выражена более ярко. За особенностью электропроводность возрастает до величины  $2 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$  и далее медленно спадает.

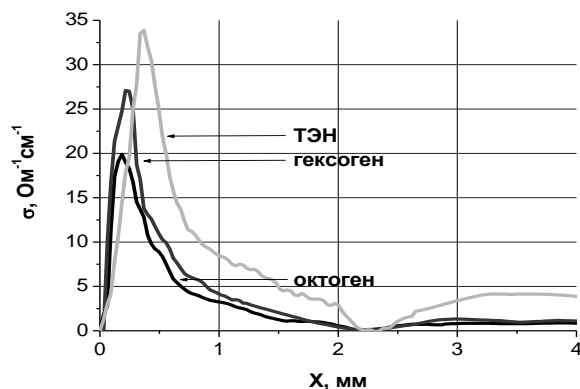


рис.2

При исследовании проводимости в пересжатых детонационных волнах исследуемое ВВ помещали в измерительную ячейку. Пересжатие производилось зарядом гексопласта. Заряд гексопласта занимал весь оставшийся объем в экспериментальной сборке. Скорость детонации гексопласта и скорость пересжатой детонации составляла 7,7 км/с.

Распределения электропроводности в продуктах стационарных пересжатых детонационных волн в насыпных октогене, гексогене и ТЭНе продемонстрированы на рисунке (см рис.2). Ход распределений практически не изменился. Однако сильно возросли максимальные значения в пике, в октогене примерно в 3 раза, в гексогене примерно в 18 раз, в ТЭНе примерно в 37 раз. Практически на порядок возросла остаточная электропроводность. Нормальная скорость детонации в нашей измерительной ячейке составляла 6,3 км/с в гексогене, 6,9 км/с в октогене, 5,3 км/с в ТЭНе, 4,3 км/с в тротиле. При пересжатии во всех ВВ она равна скорости детонации гексопласта 7,7 км/с.

Распределение электропроводности в пересжатой волне в тротиле имеет свой особенный характер. В сравнении с нормальной детонацией пиковая электропроводность увеличилась в 18 раз, сохранив свою аномальную ширину. Величина остаточной электропроводности практически не изменилась. Аналогично случаю нормальной детонации тротила наблюдается особенность, где величина электропроводности ниже чем величина остаточной электропроводности.