

Федеральная целевая программа
«Исследования и разработки по приоритетным
направлениям развития научно-технологического
комплекса России на 2014—2020 годы»

Соглашение
14.577.21.0148 от 28.11.2015

на период 2014 - 2016 гг.

Тема: *Разработка научно-технических основ создания энергетического комплекса для реализации экологически чистых технологий электронно-лучевой сварки изделий энергомашиностроения*

Руководитель проекта: *зав. кафедрой Драгунов Виктор Карпович*

Участники проекта

Получатель субсидии: ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Основные направления деятельности:

- исследования по свариваемости различных материалов электронным лучом;
- разработка систем и алгоритмов управления процессом ЭЛС;
- разработка технологий ЭЛС и сварка изделий.

За более чем 40 лет накоплен большой опыт эксплуатации электронно-лучевых комплексов отечественного и зарубежного производства. Изучены особенности эксплуатации электронно-лучевых пушек в условиях реальных технологических процессов сварки изделий.

Опыт аналогичных проектов:

- отработка опытных технологических процессов ЭЛС компонентов ИТЭР (2009-2013г., Заказчик – ОАО НИКИЭТ). Созданы полномасштабные образцы защитного блока №16 модуля blankets и несущих конструкций первой стенки. Разработан ряд технологий ЭЛС различных типов соединений, в том числе для соединения разнородных материалов (сталь-бронза).
- разработка технологии и сварка крупногабаритных изделий из титанового сплава с переменной толщиной стыка. (2012-2014 г., Заказчик- ОАО НИКИЭТ)
- исследование процесса взаимодействия мощных электронных пучков с металлическими материалами, разработка оборудования и технологических основ электронно-лучевой сварки деталей большой толщины (2009-2011 г., ФЦП «Кадры»)
- исследование физико-химических и металлургических явлений, возникающих при электронно-лучевой сварке разнородных материалов и разработка основ построения технологических процессов изготовления комбинированных конструкций (2012-2013 г., ФЦП «Кадры»)

Коллектив исполнителей:

На данном этапе коллектив состоит из 16 основных исполнителей и 5 человек вспомогательного персонала. Из них со степенью д.т.н. – 3 чел., со степенью к.т.н. – 6 чел.

Средний возраст в коллективе – 39 лет.

Участники проекта

Индустриальный партнёр: ЗАО «Электро Интел», г. Нижний Новгород

Сфера деятельности:

ЗАО «Электро Интел» является разработчиком силовой электроники и производителем сварочного оборудования инверторного типа серии «NEON». Сварочные аппараты серии «NEON» успешно работают на рынке электросварочного оборудования с 2005 г. Накопленный опыт производства силовой электроники и развитие основного рынка сбыта продукции позволяют переходить к освоению нового типа продукции – энергетических комплексов для установок электронно-лучевой сварки.

Тематики разработок с 2009-по 2014 г.:

Разработка агрегатов плазменного зажигания АПВС (Заказчик - ФГУП "Уфимское агрегатное производственное объединение", г. Уфа)

Разработка конструкции устройства интеграции разнородных источников электроэнергии с автоматизированной системой управления. (Заказчик ФГБОУ ВПО «НГТУ им.Р.Е.Алексеева»).

Разработка и поставка модифицированных агрегатов розжига ОКС для обеспечения стендовых испытаний газогенераторов-демонстраторов (Заказчик ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение» (ОАО «УМПО»), филиал «ОКБ им. А. Люльки».

Изготовление и поставка блока питания потенциала смещения ИВЭ и источника питания ИВН-380-40/750 (Заказчик - ОАО «Пермский моторный завод» (ОАО «ПМЗ»))

Внебюджетное финансирование проекта Индустриальным партнером:

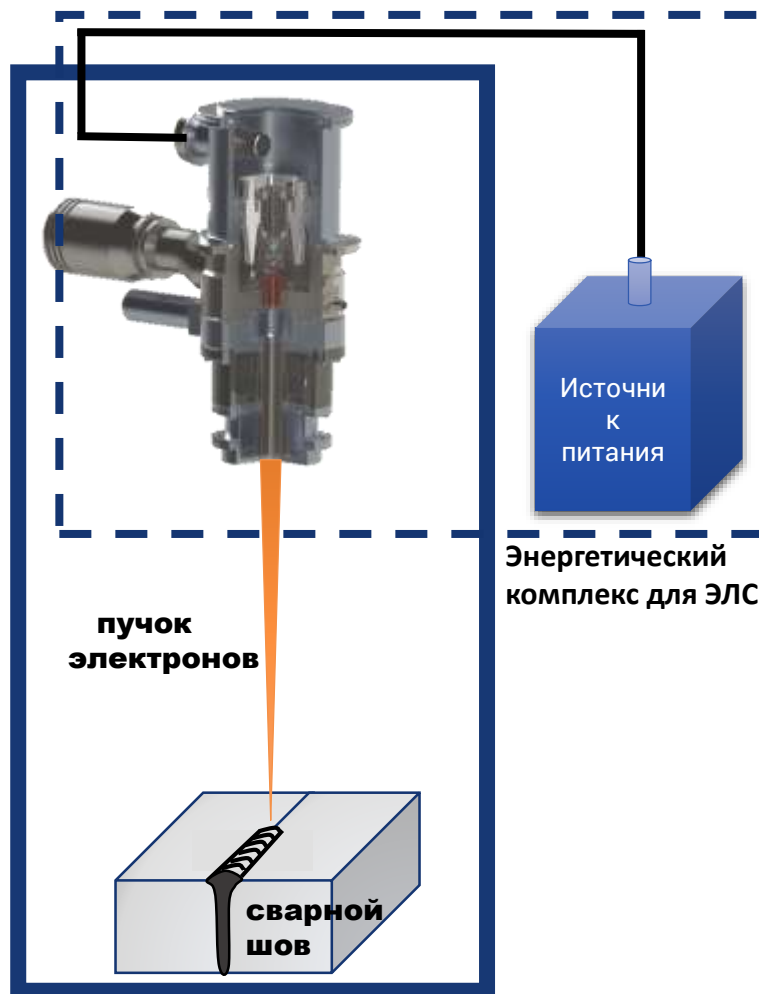
в 2014 г. – 340 000 руб.

в 2015 г. – 353 762 руб.

Соисполнителей нет.

Цели и задачи проекта

Цель проекта: получение значимых научных результатов, позволяющих переходить к созданию на отечественной производственной базе технологий и оборудования для электронно-лучевой сварки конструкционных металлических материалов при производстве изделий энергетического машиностроения.



Задачи ПНИЭР

- 1) Разработка математической модели и оптимизация оптической схемы сварочной электронной пушки с термоэмиссионным катодом.
- 2) Изготовление макета электронной пушки с термоэмиссионным катодом.
- 3) Разработка методики определения технологических параметров электронных пучков в сварочных электронных пушках.
- 4) Проведение исследований влияния технологических параметров электронного пучка на геометрические характеристики сварного шва.
- 5) Изготовление экспериментального образца высоковольтного источника питания сварочной электронной пушки с термоэмиссионным катодом.
- 6) Разработка программ и методик экспериментальных исследований, проведение экспериментальных исследований и испытаний.
- 7) Разработка технических требований для создания опытного образца энергетического комплекса для установок электронно-лучевой сварки.

Цели и задачи проекта

Актуальность

В настоящее время существует острая нехватка современных отечественных разработок надежного оборудования для ЭЛС.

Для успешного преодоления ограничений в развитии сварочных технологий машиностроения и перехода к созданию новых конкурентоспособных видов продукции необходимо создать основу для разработки технологических энергоблоков для электронно-лучевой сварки. Например, в энергетическом машиностроении с использованием ЭЛС могут быть разработаны технологии изготовления конкурентоспособных образцов новой техники различного назначения, таких как роторы турбин, парогенераторы, сосуды высокого давления, роторы электрических машин, корпуса реакторов, элементы трубопроводной арматуры.

Научная новизна

Новизна высоковольтного источника питания заключается в применяемых оригинальных схемных решениях для регулирования выходной мощности источника. Применение двух инверторных преобразователей для питания высоковольтного трансформатора позволяет регулировать выходное напряжение и мощность не изменяя частоту и скважность напряжения первичной обмотки. В результате сильно упрощается задача демпфирования колебательных процессов напряжения на вторичной обмотке и уменьшается величина фильтрующей ёмкости выпрямителя.

Новизна конструкции электронной пушки заключается в оригинальной конструкции магнитной катушки, совмещающей функции фокусировки и отклонения пучка, что позволит уменьшить размеры электронной пушки.

На результаты проекта, содержащие новизну планируется получение 3-х патентов.

Ожидаемые результаты проекта

- **Математическая модель формирования электронного пучка в сварочной электронной пушке с термоэмиссионным катодом.**

Модель предназначена для определения формы и размеров электродов оптической системы электронной пушки. Отличительной особенностью модели является возможность учета влияния процессов ионизации остаточных газов в вакуумной камере на параметры электронного пучка.

- **Макет сварочной электронной пушки с термоэмиссионным катодом мощностью до 40 кВт с номинальным ускоряющим напряжением 60 кВ.**

Предназначен для проверки возможности улучшения характеристик электронного пучка без применения электромагнитных юстирующих систем за счет оптимизации технологии изготовления элементов электронного прожектора, а также снижения габаритов и массы пушки за счет применения новых технических решений в узле магнитной фокусирующей линзы.

- **Методика определения технологических параметров электронных пучков в сварочных электронных пушках.**

Предназначена для исследования характеристик электронных пучков на технологических электронно-лучевых комплексах с целью установления особенностей работы электронной пушки и определения показателей качества электронного пучка, как инструмента для обработки материала.

- **Экспериментальный образец высоковольтного источника питания сварочной электронной пушки с термоэмиссионным катодом.**

Предназначен для проверки возможности создания инверторного источника питания для целей ЭЛС с ускоряющим напряжением 60 кВ, мощностью 40 кВт с применением новых технических решений в архитектуре и способах управления элементами высоковольтного блока. В состав экспериментального образца высоковольтного источника питания входит: силовой высоковольтный блок; источник напряжения бомбардировки основного катода электронной пушки; источник управляющего напряжения; источник накала вспомогательного катода электронной пушки; источник питания магнитной фокусирующей системы электронной пушки.

- **Программы и методики экспериментальных исследований и исследовательских испытаний.**

- **Проект Технического задания на проведение ОКР по теме «Создание опытного образца энергетического комплекса для электронно-лучевой сварки».**



Перспективы практического использования

Потенциальные потребители результатов проекта

*Предприятия машиностроения,
реализующие технологии ЭЛС*

ОАО «НИКИЭТ им. Н.А. Доллежаля»,
ОАО «Ижорские заводы», ОАО «ЭМК-
Атоммаш», НПО «НИКИМТ», ОАО «Калужский
турбинный завод», ФГУП ГНЦ ВИАМ, ФГУП «ГНЦ
газотурбиностроения «Салют», ФГУП
«Российская самолетостроительная корпорация
«МиГ», НПО «Энергомаш» им. академика В.П.
Глушко, ЦНИИ КМ «Прометей», ЦНИИТСМ
«Сириус»

*Предприятия – производители
комплексов для ЭЛС*

ОАО «НИТИ «ПРОГРЕСС», г. Ижевск
ПАО «Электромеханика», г. Ржев
ООО «ТЭТа», г. Томск
ООО «Текарте», г. Москва

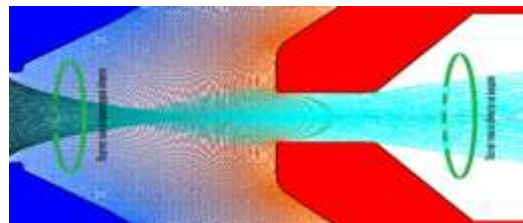
Внедрение и коммерциализация результатов ПНИЭР возможны как путем **замены энергетического комплекса в существующих технологических установках ЭЛС**, так и путем **создания полностью новых образцов технологических комплексов для ЭЛС**.

В результате **освоения результатов ПНИЭР** будет создан **опытный образец современного энергетического комплекса для ЭЛС мощностью 40 кВт**.

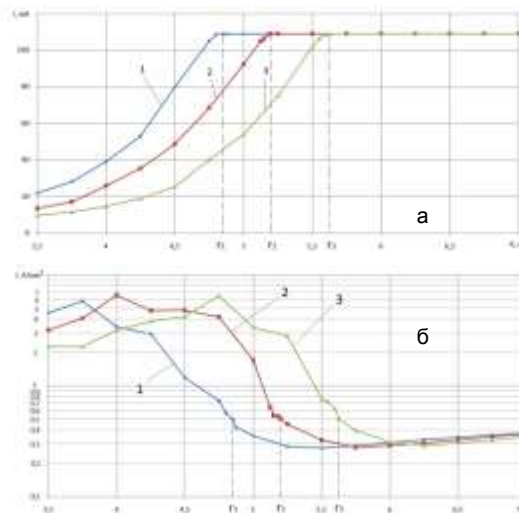
Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

Математическое моделирование электронного пучка при различных режимах работы сварочной электронной пушки с термоэмиссионным катодом.

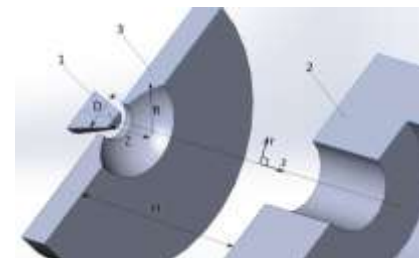
- Предложен метод параметрического анализа, позволяющий свести задачу проектирования электронных пушек к классической оптимизационной. Показано, что при учете технических ограничений, обусловленных электрической прочностью межэлектродных промежутков и использованием унифицированных конструктивных элементов и соединений число варьируемых параметров можно свести даже к двум.
- Получена зависимость радиуса сферической поверхности управляющего электрода от расстояния между катодом и центром этой поверхности при выполнении которой обеспечивается формирование пучка с максимальным током и плотностью тока.
- Показано, что выборочный анализ вольтамперных характеристик при использовании предложенного метода параметрического анализа позволяет сузить диапазон варьируемых параметров по таким критериям, как напряжение записывания пушки и ток насыщения, а сам процесс определения исходных данных может быть автоматизирован.



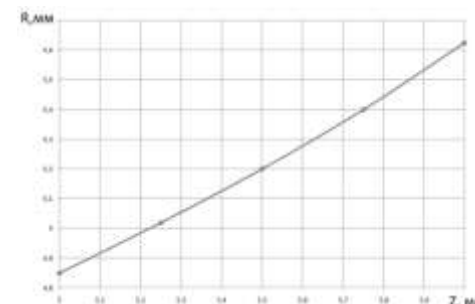
Пример расчета траекторий частиц в тестовом примере с ускоряющим напряжением 60 кВ



Зависимости тока пучка (а) и максимальной плотности тока пучка (б) от R , построенные для различных $Z=5$ мм(1), 5,5 мм (2) и 6 мм(3)



1 – катод; 2 – анод; 3 – управляющий электрод; D – диаметр цилиндрического отверстия в управляющем электроде; R – радиус сферической поверхности управляющего электрода; Z – расстояние между катодом и центром сферы радиусом R ; H – расстояние между анодом и управляющим электродом
Геометрическая модель электродов сварочной электронной пушки



Оптимальная зависимости радиуса R от Z ,

Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

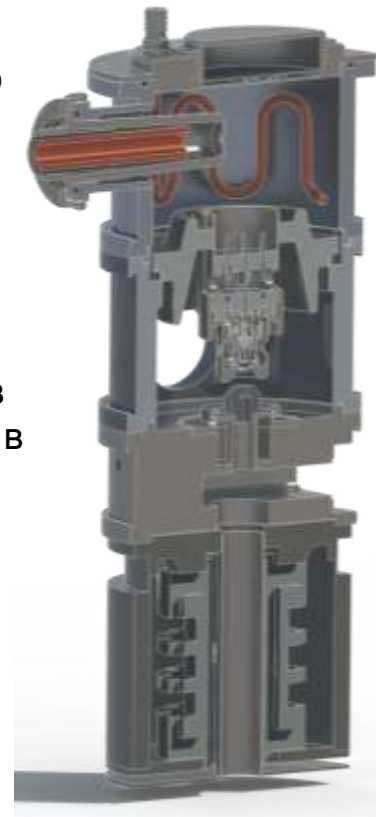
Разработка эскизной конструкторской документации на макет сварочной электронной пушки с термоэмиссионным катодом.



- Конструкция генератора электронного пучка предусматривает наличие быстросъемного катодного узла, позволяющего существенно сократить время сервисного обслуживания электронной пушки.
- Совмещенные блоки фокусировки и отклонения позволяют уменьшить габаритную длину пушки.
- Конструкция корпуса позволяет использовать пушку в камерном положении, а так же во внутрикамерном в составе комплекса перемещения.

Разработана эскизная конструкторская документация на макет сварочной электронной пушки с термоэмиссионным катодом в составе:

- схема оптической системы;
- чертеж общего вида в соответствии с ГОСТ 2.102-68;
- чертеж общего вида узла высоковольтного изолятора с блоком катода в соответствии с ГОСТ 2.102-68;
- чертеж общего вида узла магнитной фокусирующей системы в соответствии с ГОСТ 2.102-68.

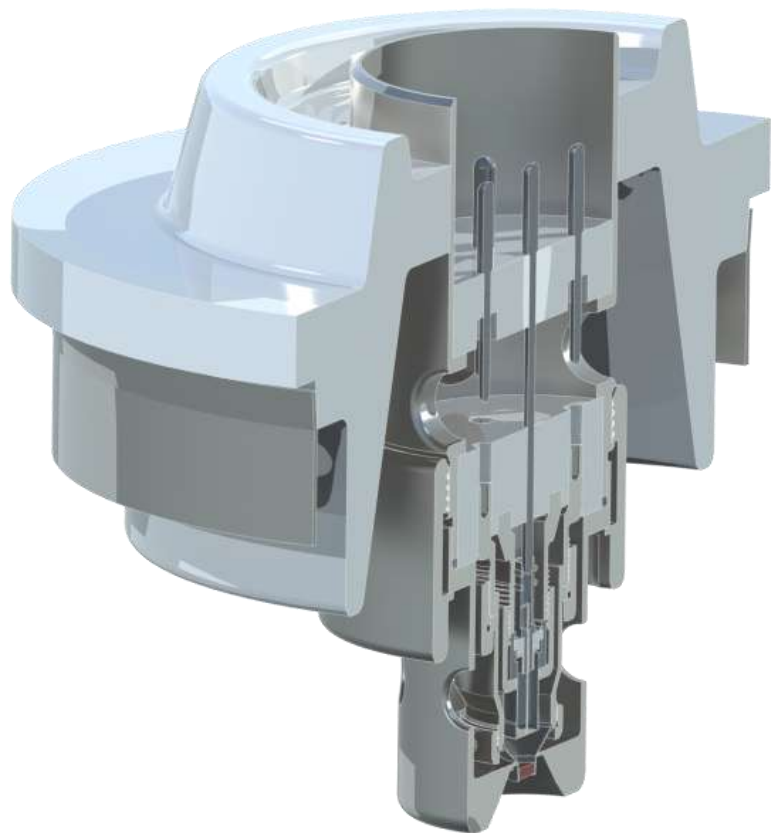


На основании ЭКД разработана технологическая инструкции на изготовление макета сварочной электронной пушки с термоэмиссионным катодом, маршрутные карты и карты эскизов в рамках разработки предварительного проекта технологии.

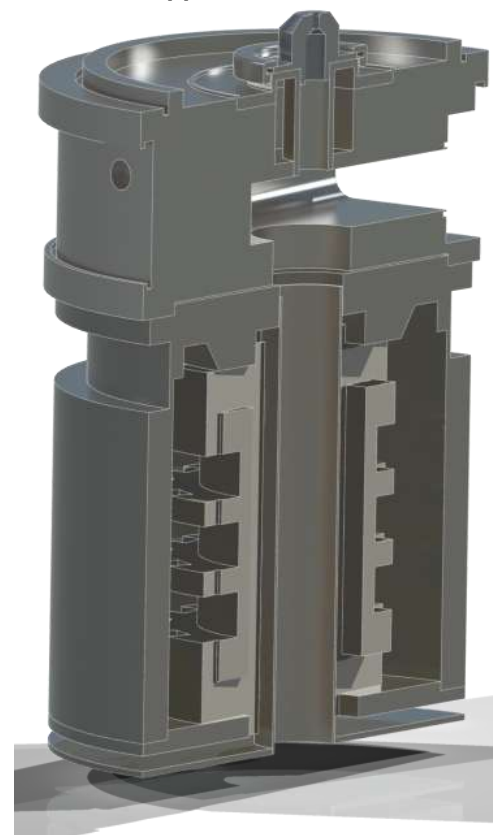
Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

Разработка эскизной конструкторской документации на макет сварочной электронной пушки с термоэмиссионным катодом.

узел высоковольтного изолятора с блоком катода



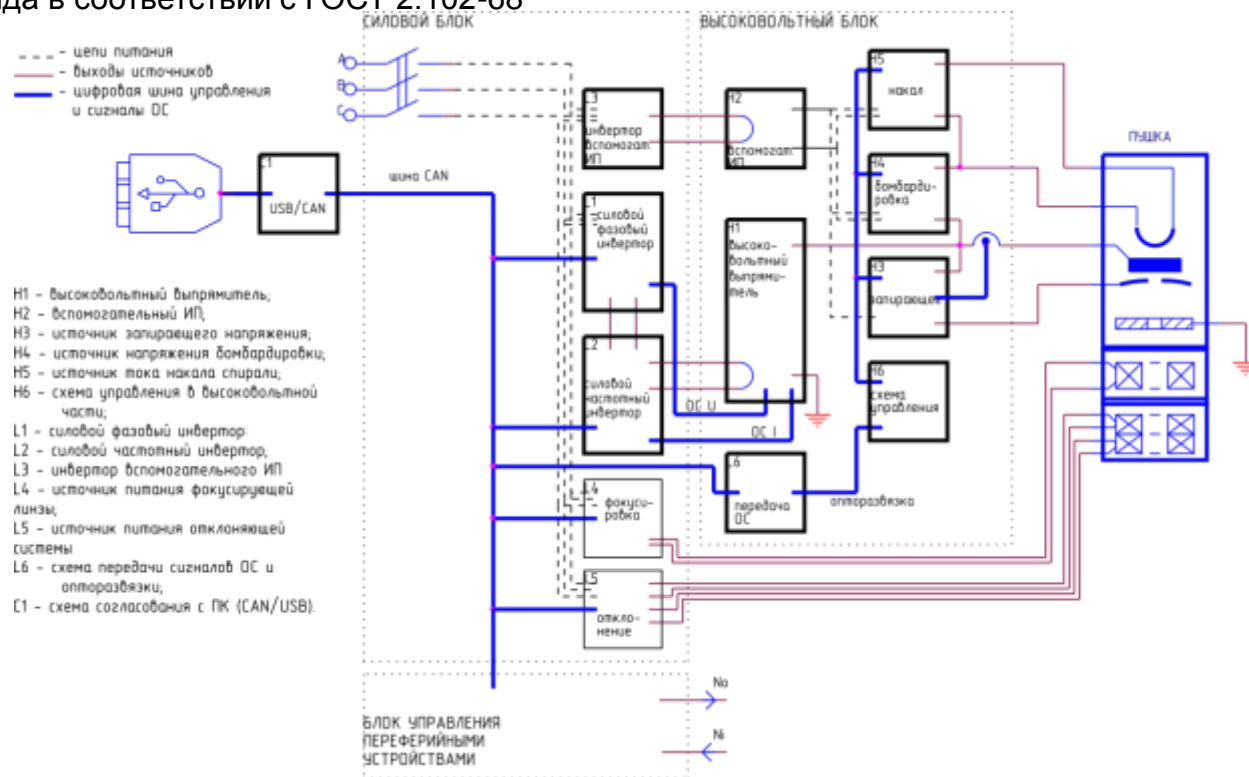
узел магнитной
системы с
анодным блоком



Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

Разработана эскизная конструкторская документация на экспериментальный образец высоковольтного источника питания сварочной электронной пушки с термоэмиссионным катодом в составе:

- структурная схема в соответствии с ГОСТ 2.701-84;
- схема электрическая принципиальная в соответствии с ГОСТ 2.701-84;
- схемы электрические принципиальные печатных плат узла инверторного источника первичного преобразователя в соответствии с ГОСТ 2.701-84;
- чертежи печатных плат составных частей и узлов в соответствии с ГОСТ 2.417-91.
- чертеж общего вида в соответствии с ГОСТ 2.102-68

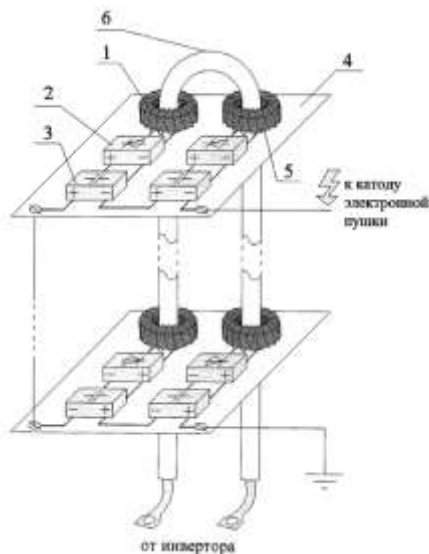


Структурная схема источника питания

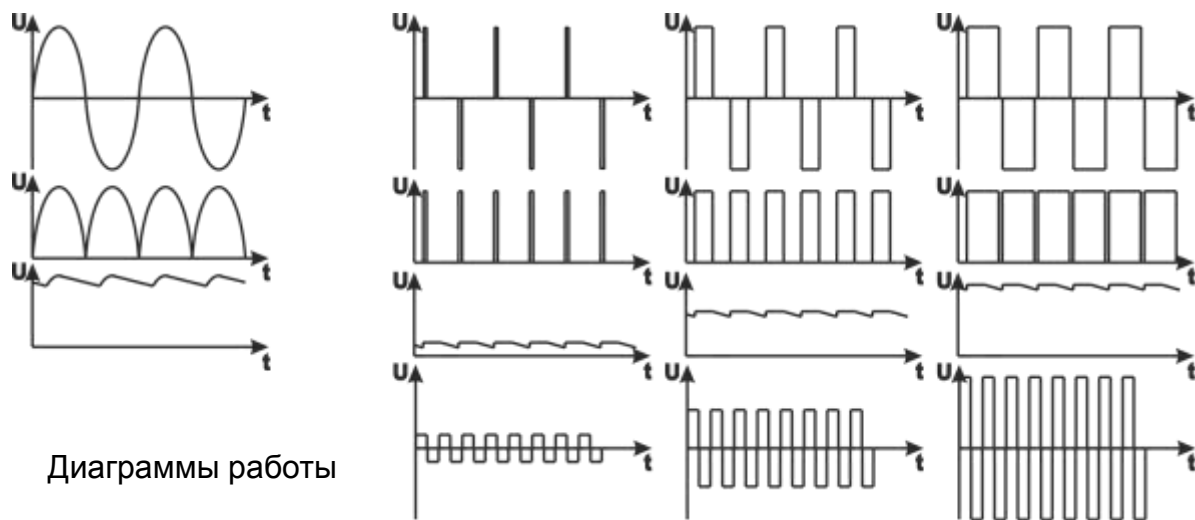
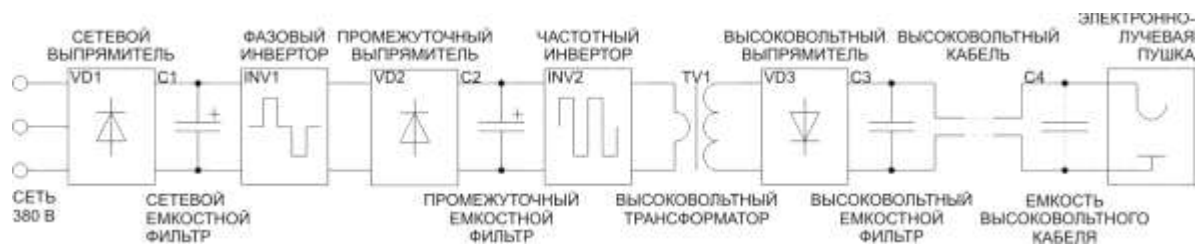
Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

Разработка эскизной конструкторской документации на экспериментальный образец высоковольтного источника питания

Принцип секционирования высоковольтного трансформатора



Высоковольтный источник питания для ЭЛП, 60 кВ, 40 кВт.
Версия 2. Совмещение фазового и частотного инверторов.



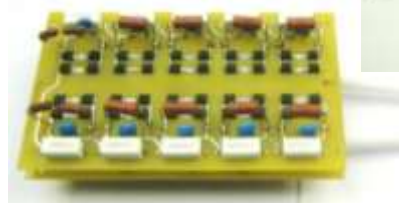
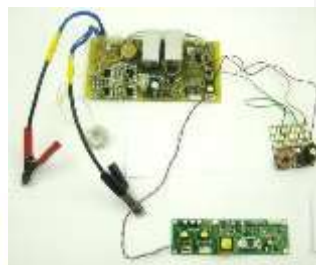
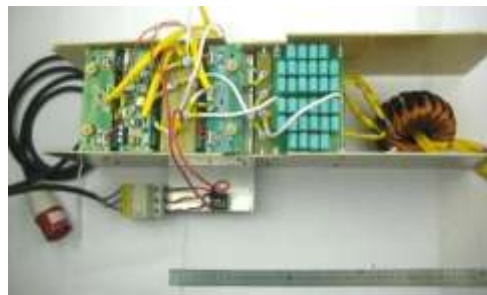
Диаграммы работы

Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

Изготовление компонентов экспериментального образца высоковольтного источника питания сварочной электронной пушки с термоэмиссионным катодом



силовые
инверторы



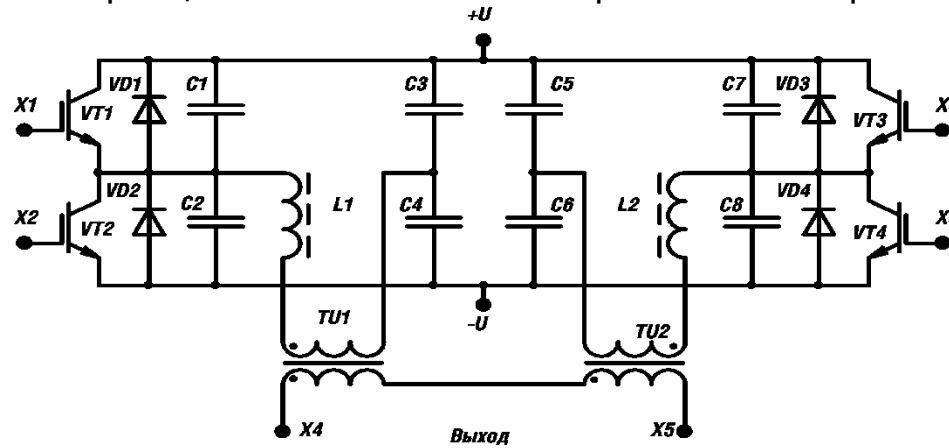
Вспомогательные источники питания
(источник напряжения бомбардировки,
источник управляющего напряжения,
источник накала)



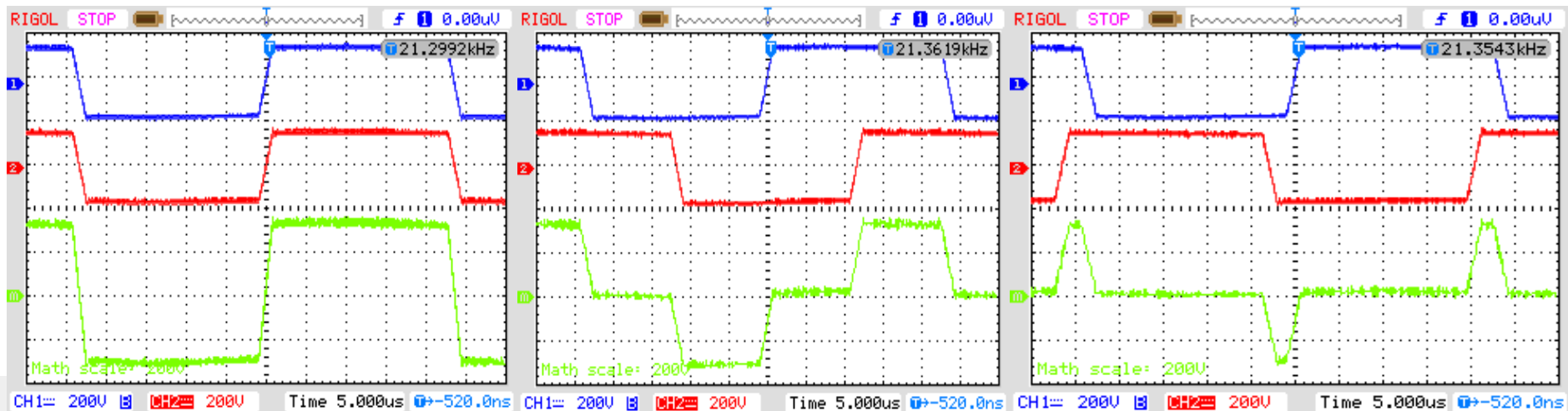
высоковольтный блок
экспериментального
образца ВВ источника
питания

Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

Упрощенная принципиальная схема квазирезонансного фазового инвертора



Оциллограммы работы при испытаниях на резистивную нагрузку



Состояние выполнения запланированных индикаторов

| № п/п | Наименование | Единица измерения | Значение | | Статус выполнения |
|-------------------|---|-------------------|----------|-------------|---|
| | | | плановое | фактическое | |
| Индикаторы | | | | | |
| 1 | Число публикаций по результатам исследований и разработок в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных "Сеть науки" (WEB of Science), не менее | единиц | 3 | 1 | 2 статьи будут опубликованы в декабре 2015 |
| 2 | Число патентных заявок, поданных по результатам исследований и разработок, не менее | единиц | 1 | 1 | выполнен |
| 3 | Доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей - участников проекта, не менее | процентов | 50 | 75 | выполнен |
| 4 | Объем привлеченных внебюджетных средств | млн. руб. | 3,34 | 2,8029956 | данные за 9 месяцев 2015 г. |
| Показатели | | | | | |
| 1 | Средний возраст исследователей – участников проекта, не более | лет | 45 | 38,9 | выполнен |
| 2 | Количество мероприятий по демонстрации и популяризации результатов и достижений науки, в которых приняла участие и представила результаты проекта организация - исполнитель проекта, не менее | единиц | 2 | 2 | выполнен |
| 3 | Число диссертаций на соискание ученых степеней, защищенных по результатам исследований и разработок | единиц | 1 | 1 | выполнен |
| 4 | Использование при выполнении исследований и разработок уникальных научных установок | единиц | 0 | 0 | выполнен |
| 5 | Использование при выполнении исследований и разработок научного оборудования центров коллективного пользования научным оборудованием | единиц | 1 | 1 | выполнен |
| 6 | Использование при выполнении исследований и разработок объектов зарубежной инфраструктуры сектора исследований и разработок | единиц | 0 | 0 | выполнен |

Спасибо за внимание!

Докладчик:

*Ответственный исполнитель
Доцент каф. Технологии металлов НИУ «МЭИ»
Гончаров Алексей Леонидович*