



# Итоги научной деятельности Шатурского филиала ОИВТ РАН в 2013 году

Директор ШФ ОИВТ РАН,  
к.ф.-м.н. Шурупов Алексей Васильевич

# Основные направления исследований и разработок ШФ ОИВТ РАН

## По темам госбюджета

- (I) Создание взрывомагнитных генераторов с энергией порядка 1 МДж, развивающих на индуктивно-резистивной нагрузке напряжение до 2 МВ
- (II) Плазмодинамические ускорители макротел

## По договорам

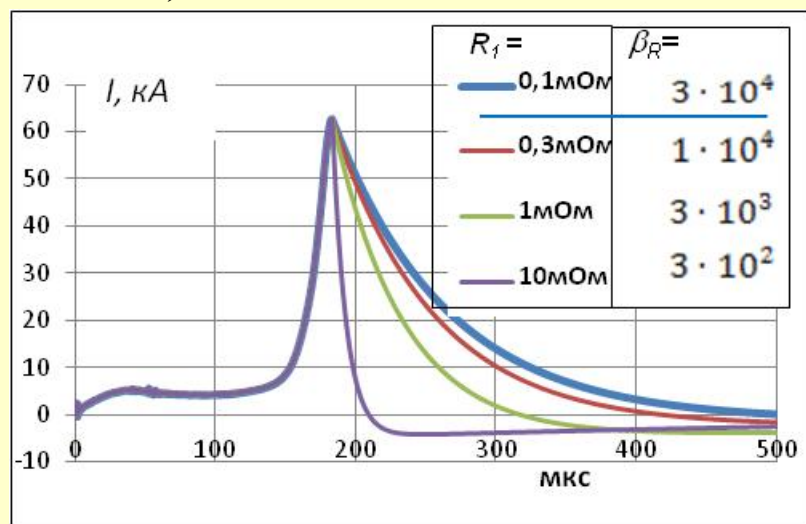
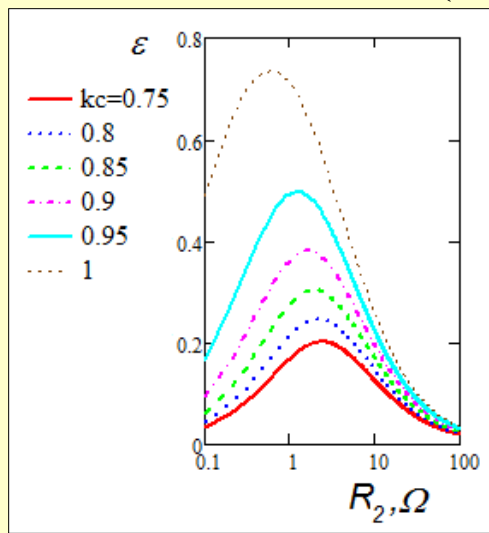
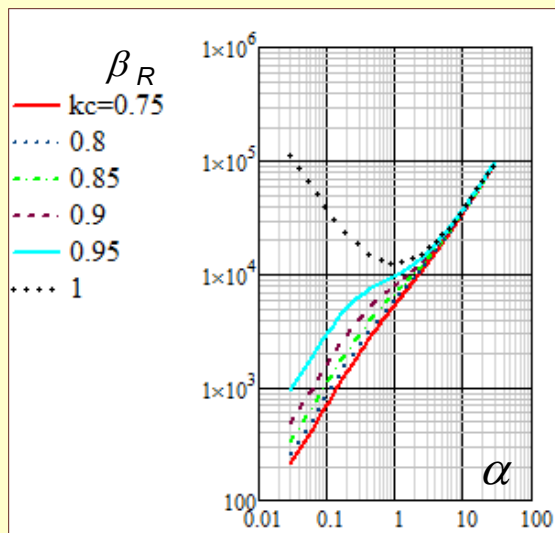
- (III) Мобильный испытательный комплекс на основе взрывомагнитного генератора
- (IV) Токоограничивающие устройства класса напряжений 35-220 кВ
- (V) Прибор непрерывного контроля влажности бумажно-масляной изоляции
- (VI) Испытание высоковольтного маслонаполненного электрооборудования на взрывобезопасность

# Создание ВМГ с энергией порядка 1 МДж, развивающих на индуктивно-резистивной нагрузке напряжение до 2 МВ

Обеспечение эффективной передачи энергии ВМГ в нагрузку потребовало численного решения задачи согласования ВМГ и нагрузки с применением импульсного трансформатора.

## Расчет и численное моделирование

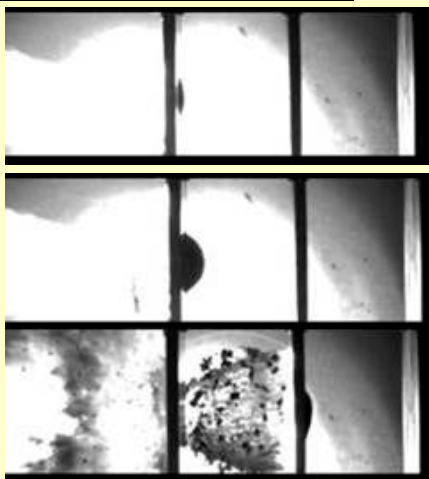
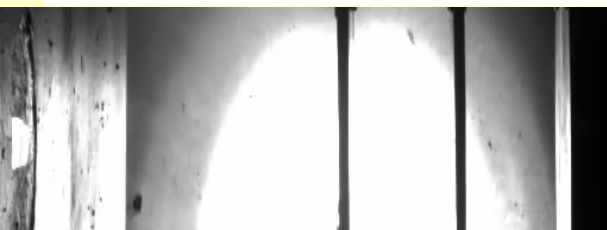
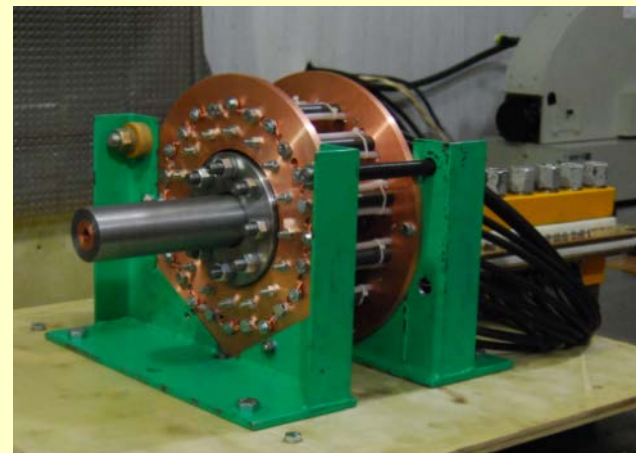
Расчет передачи энергии в индуктивно - омическую нагрузку и численное моделирование импульса в нагрузке в зависимости от  $\beta_R = R_2/R_1$  и  $\alpha = L_L/L_{2T}$  позволили определить влияние активных потерь в первичной обмотке трансформатора ( $R_1$ ) и получить условие эффективной передачи энергии в нагрузку ( $\varepsilon$ ):

$$\frac{R_1}{R_2} \leq \frac{L_{1T}}{L_{2T}\alpha} \left( 1 - \frac{k_c^2(1+2\alpha)}{(1+\alpha)^2} \right)$$


Применение ВМГ, построенного по специальному закону вывода индуктивности и согласование его с индуктивно-омической нагрузкой через импульсный трансформатор, позволили отказаться от взрывных размыкателей тока в первичной обмотке и твердотельных замыкателей в цепи нагрузки.

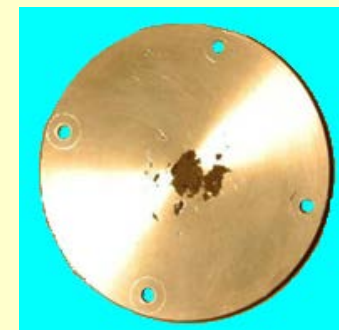
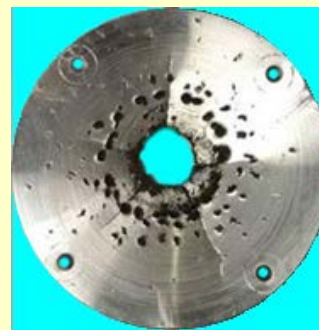
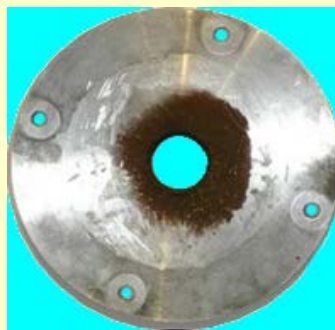
Результаты расчетов получили экспериментальное подтверждение при создании МИК ВМГ. Выполнение условия минимизации потерь в первичном контуре ВМГ, при  $R_1 \sim 0,1$  мОм позволило увеличить эффективность передачи энергии ВМГ в нагрузку до значения **свыше 50%**.

1. Создан и испытан коаксиальный плазодинамический ускоритель. Ожидаемая скорость метания при использовании емкостного накопителя на 0,5 МДж – на уровне 5 км/с, при массе ударника – 3 г. В этом ускорителе была достигнута скорость 4,2 км/с. На базе ускорителя с источником энергии в виде ВМГ можно создать малогабаритную метательную установку с металлическими ударниками.



Скорость ударника – 3,3 км/с.  
Расстояние между экранами – 50 мм.

2. На рельсотроне проведены исследования процессов разрушения различных мишеней при скоростях 3 - 4 км/с и массе ударника 2 г.  
2.1 На кадрах скоростной съемки (200000 кадров/с) представлено испытание макета защиты КА от «космического мусора» в виде двух дюралевых экранов толщиной 5 мм. Экраны были пробиты насквозь, третий экран («корпус» КА) толщиной 10 мм остался неповрежденным.



Экраны после испытаний

**2.2** Исследована реакция (воспламенение или детонация) эластита ЭЛ-2 на высокоскоростной удар. Пластинки ЭЛ-2, закрытые экраном толщиной 5 мм, устанавливались на поверхности диска. Реакция ЭЛ-2 зависела от расстояния от оси удара до эластита  $s$  и от его толщины  $h$ . При  $s < 20$  мм и  $h = 2$  мм происходила детонация эластита; при  $h = 1$  мм и при  $s < 30$  мм происходило воспламенение.



Детонация ( $h = 2$  мм), скорость 3,3 км/с

**2.3** Проведена серия экспериментов по исследованию разрушения мишеней из симиналов (синтетических минеральных сплавов на основе  $\text{SiO}_2$ ), которые способны диссипировать кинетическую энергию удара. Результаты свидетельствуют о том, что симиналы могут представлять интерес для создания средств индивидуальной защиты.



Воспламенение ( $h = 1$  мм), скорость 3,0 км/с

**3.** Рассчитаны параметры линейного электродинамического ускорителя (ЛЭДУ), в котором диэлектрическая пластина (4) ускоряется давлением плазмы, возникающей при взрыве литиевого инициатора (5). Показано, что на базе емкостного накопителя с параметрами 220 кДж, 25 кВ (ШФ ОИВТ РАН) может быть создан ЛЭДУ на скорости метания свыше 10 км/с при массе пластины порядка 0,3 г. Рассмотрена схема ЛЭДУ с источником энергии в виде ВМГ.

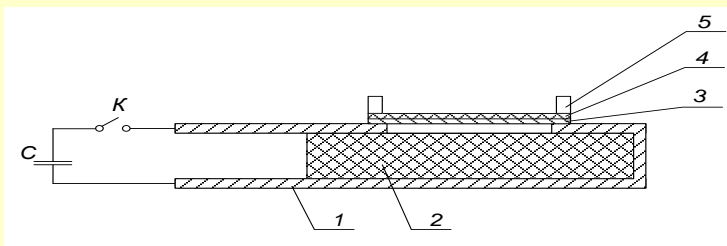


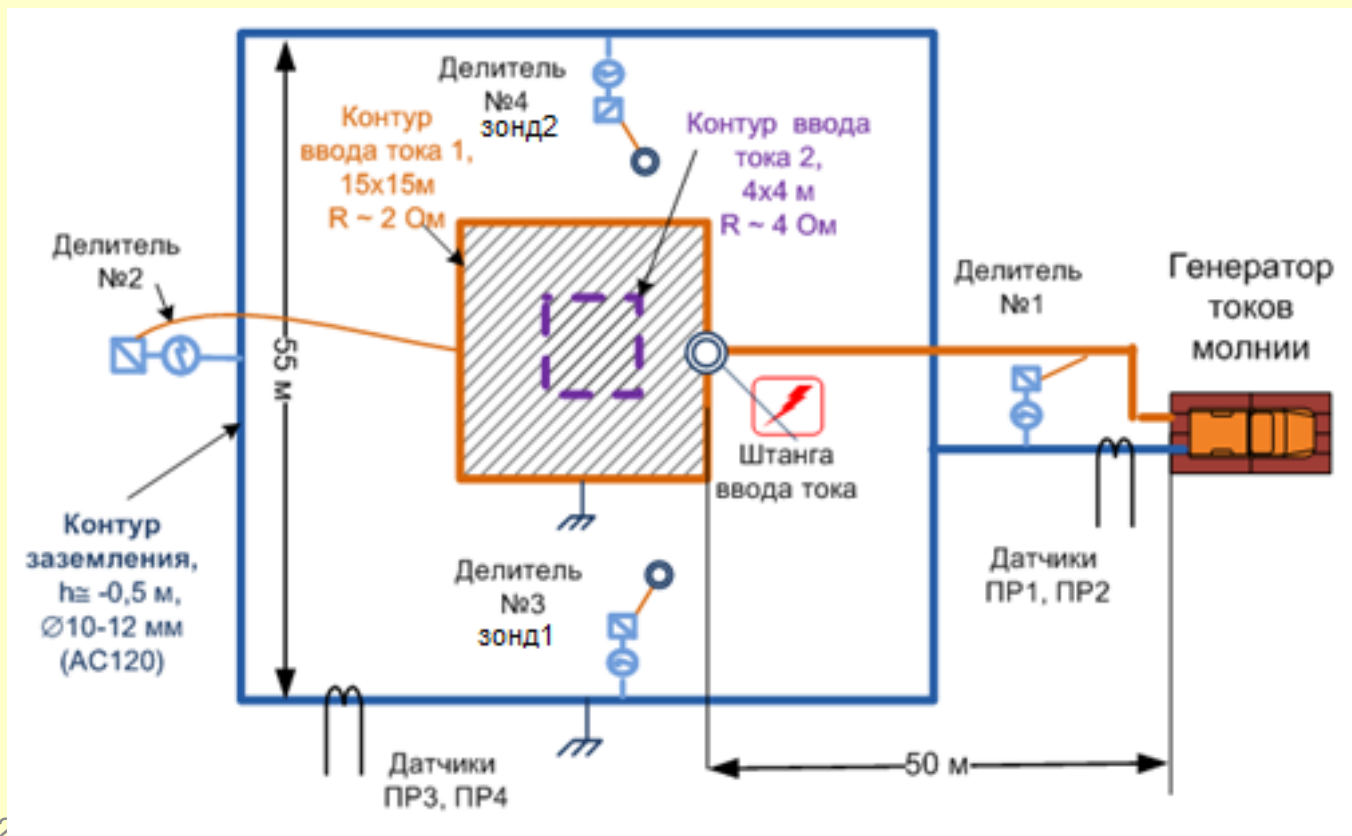
Схема ЛЭДУ

# Мобильный испытательный комплекс на основе взрывомагнитного генератора (МИК ВМГ)

Заказчик - ОАО «ФСК ЕЭС»

**Задача:** Проведение полномасштабных испытаний мобильного испытательного комплекса на основе ВМГ с комплектом контрольно-измерительной аппаратуры на местности с целью отработки схемы измерений и методики измерения импульсных характеристик грунтов

**Схема проведения испытаний:** контуры ввода импульса тока и расположение датчиков



# Полевые испытания МИК ВМГ

Место проведения – Московская область,  
с. Дмитровский погост. Время - сентябрь 2013 г.



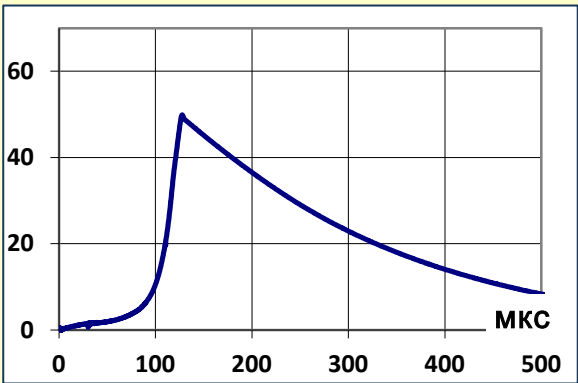
Для размещения автомобилей  
после ливневых дождей пришлось привлечь трактор



## Исходные условия испытания №1

Начальная энергия ВМГ, кДж **23**  
Активное сопротивление нагрузки, Ом **2**  
Индуктивность нагрузки (контура заземления), мкГн **75**

## Осциллограммы тока в грунте, кА



## Выходные параметры: испытание №1 | испытание №2

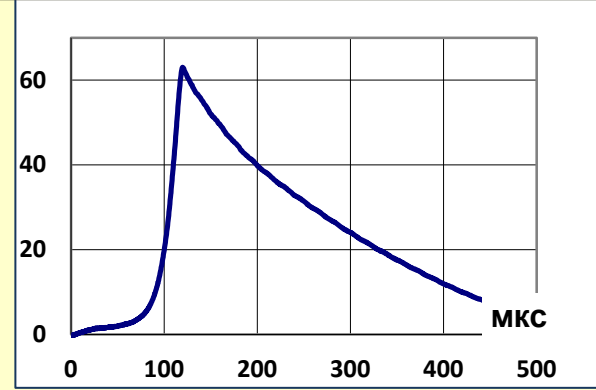
Фронт импульса тока, мкс **30**  
Длительность импульса тока (по уровню 0,5), мкс **150**

Амплитуда тока на нагрузке:  
**50 кА | 63 кА**  
Амплитуда напряжения:  
**250 кВ | 450 кВ**  
Энергия в нагрузке:  
**0,51 МДж | 0,88 МДж**  
Усиление энергии, выделившейся в нагрузку к начальной энергии ВМГ:  
**22 раза | 20 раз**

## Исходные условия испытания №2

Начальная энергия ВМГ, кДж **43**  
Активное сопротивление нагрузки, Ом **4**  
Индуктивность нагрузки (контура заземления), мкГн **86**

## Осциллограммы тока в грунте, кА



## Осциллограммы напряжения между контурами и на зонде при подаче импульса тока от МИК ВМГ





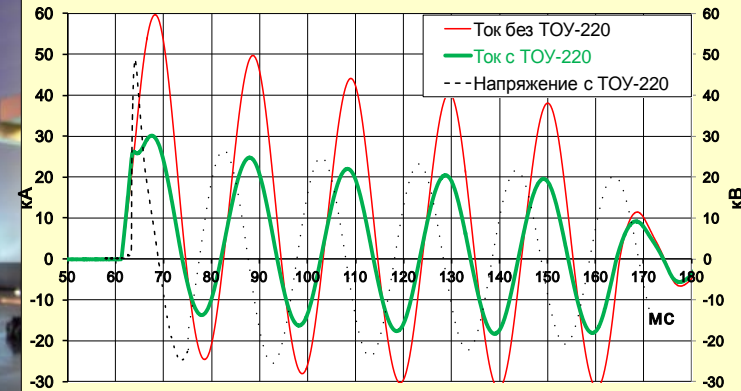
# Токоограничивающие устройства класса напряжений 35-220 кВ

ТОУ-220 (в однофазном исполнении)  
на международном электротехническом форуме  
UPGRID, Москва, 23-25 октября 2012 г

Комплексные испытания ТОУ-220 прошли успешно и  
подтвердили функционал работы устройства и,  
поэлементно, все его основные характеристики

## Основные параметры ТОУ-220

Номинальный рабочий ток - 2 кА  
Мгновенное значение тока  
отключения - 8 кА  
Глубина ограничения тока - 10 кА  
Время переключения в режим  
ограничения тока - не более 2мс



Приказ ОАО «ФСК ЕЭС» №712 от 20.11.2012 г. «Об организации и проведении мероприятий по обеспечению пилотного внедрения инновационного оборудования по титулу «Установка токоограничивающего устройства ТОУ 220 кВ на ПС 500 кВ Каскадная» филиала ОАО «ФСК ЕЭС» - МЭС Центра»

В 2013 году предложена новая концепция ТОУ с функцией АПВ. Найдены решения, позволившие уменьшить строительный объём ТОУ-220 не менее чем в 4 раза.  
**Выигран 1 этап конкурса ФСК. Но !!!!!!!!!!!!!**

Фото ТОУ-220 в новой концепции

# Прибор непрерывного контроля влажности бумажно-масляной изоляции в высоковольтном маслонаполненном электротехническом оборудовании

Заказчик: ОАО «Тюменьэнерго» (2012-2014 гг.)

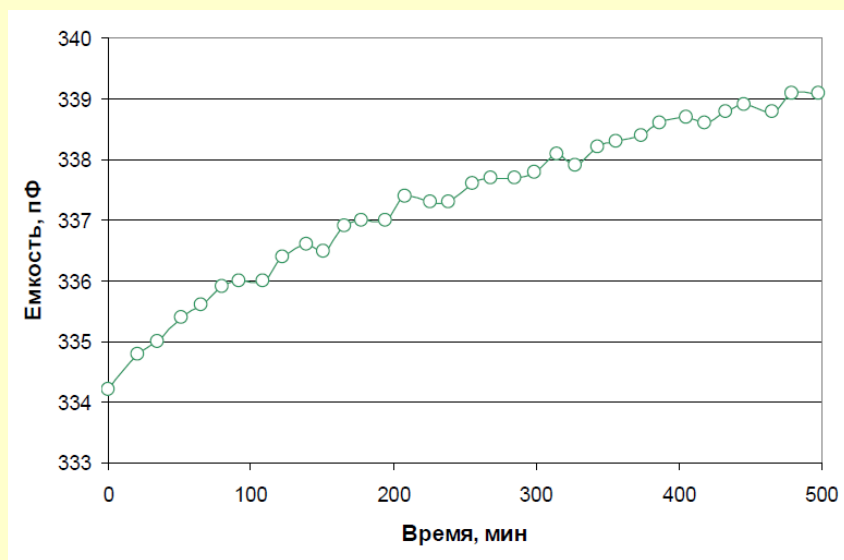
В настоящее время нет прямых методов измерения влажности бумажно-масляной изоляции (БМИ). Влажность БМИ рассчитывается из измеренной влажности трансформаторного масла по эмпирическим соотношениям. Погрешность этих расчетов является высокой из-за сложного характера диффузии влаги из масла и ее образования внутри БМИ вследствие старения.

В создаваемом приборе датчик влажности представляет собой конденсатор с диэлектриком из бумаги, поэтому процессы накопления влаги в нем подобны тем, что происходят в БМИ.

Создан лабораторный стенд и проведены исследования процессов влагообмена в целлюлозных материалах в типичных условиях эксплуатации БМИ (по уровню влажности и температуры).



Стенд для исследований процессов влагопереноса в БМИ  
02.04.2014



Зависимость емкости модельного датчика влажности от времени, 60°C

# Прибор непрерывного контроля влажности бумажно-масляной изоляции в высоковольтном маслонаполненном электротехническом оборудовании

На макетных образцах датчика продемонстрирована реализуемость предложенной методики измерений влажности бумажно-масляной изоляции.

На основе современной элементной базы изготовлены лабораторные образцы прибора и проведена его калибровка.

В этом году прибор будет апробирован в условиях опытно-промышленная эксплуатации на одном из силовых трансформаторов ОАО «Тюменьэнерго» .



## Характеристики прибора:

Измерение влажности в режиме on-line;  
 рабочая температура - до +90°C;  
 Диапазон измерения влажности БМИ - до 10% (по массе);  
 Погрешность (по массе) - 0,5 %  
 Диапазон изменения емкости датчика: - 10-20 пФ  
 Погрешность измерения емкости - 1 фФ  
 Погрешность измерения температуры - 1°C;  
 На один модуль сопряжения – 16 датчиков влажности.

**На сегодняшний день по своим характеристикам созданный прибор не имеет аналогов и конкурентов на рынке средств контроля состояния БМИ.**

# Испытания на взрывобезопасность высоковольтного маслонаполненного электротехнического оборудования

Проведены испытания на взрывобезопасность с помощью бездугового источника импульсного давления (БИИД) трансформатора тока и конденсаторов связи.

## 1. Испытание трансформатора тока ТОМ-110 производства ОАО «СТЗЗ» (г. Свердловск)

Трансформатор тока ТОМ-110 не является взрывобезопасным ни при энергии воздействия 1 МДж, ни при энергии воздействия 0,5 МДж.



До испытаний



После испытаний, энергия БИИД - 1 МДж

## 2. Испытание конденсаторов связи производства ОАО «УККЗ» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)



После испытаний, энергия БИИД - 1 МДж

При энергии воздействия 1 МДж конденсатор связи типа СМА -110/√3 полностью разрушен.

При энергии воздействия 0,5 МДж он является взрывобезопасным.

Конденсатор связи типа СМА -166/√3 является взрывобезопасным при энергии воздействия 1 МДж.

# Публикации сотрудников ШФ ОИВТ РАН в 2013 г.

- **Журналы**

- *Дарьян Л.А., Полищук В.П., Шурупов А.В.* Испытания систем защиты от взрыва высоковольтного маслонаполненного электрооборудования // Энергоэксперт. 2013. № 4(39). С. 28.

- **Конференции**

- *R. Kh. Amirov, N.A. Vorona, V.P. Polistchook, and other* The stationary vacuum arc as plasma source for technology of ion separation // Proceedings of Int. Conf. on Physics of Extreme States of Matter-2013. 1–6 March, Russia, Elbrus. Institute of Problems of Chemical Physics. Chernogolovka. 2013. P. 207.
- *Игнатова А.М., Котов А.В., Полищук В.П., Шурупов А.В., Артемов А.О.* «Оценка диссипативной способности синтетических минеральных сплавов по их фрагментационному разрушению вследствие высокоскоростного удара»// VI Всероссийская конференция «Будущее машиностроение России», 25-28 сентября 2013 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана. С. 309.
- *Дарьян Л.А., В.П. Полищук В.П., Шурупов А.В.* Испытания систем защиты от взрыва высоковольтного маслонаполненного электрооборудования // XVI Международная конференция «Силовые распределительные трансформаторы и реакторы» ТРАВЭК-2013. Москва (cd).
- *Полищук В.П., Шурупов А.В.* «Перспективы развития плазмодинамических ускорителей макротел»// VII Отраслевая научно-техническая конференция «Проблемы создания лазерных систем», 11-13 сентября 2013 г., г. Радужный Владимирской области (cd).