Итоги научной деятельности Шатурского филиала ОИВТ РАН в 2014 году

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

Основные направления исследований и разработок ШФ ОИВТ РАН

По темам госбюджета

(I) Исследования по созданию мощных генераторов импульсов тока и излучения для проверки электромагнитной устойчивости энергетических систем

(II) Расчетно-экспериментальные исследования плазмодинамических ускорителей макротел:

Исследование коаксиальных ускорителей с целью оптимизации их характеристик и создания мобильного метательного устройства с источником энергии на основе ВМГ.

Исследование линейных электродинамических ускорители с целью получения скоростей метания свыше 20 км/с.

Получение экспериментальных данных о процессах разрушения различных мишеней при высокоскоростном ударе.

По договорам

(III)) Разработка технологии и создания источника питания на основе ВМГ для сжатия замагниченной плазмы.

(IV) Разработка прибора непрерывного контроля влажности бумажно-масляной изоляции. (VI) Разработка токоограничителей на основе взрывных коммутаторов.

(V) Выполнение НИР по гос. контракту № 6628.

За 2014 год разработаны, изготовлены и испытаны макетные образцы мегаджоульных импульсных генераторов

Взрывомагнитные генераторы

14 генераторов 3-х модификаций с энергией в нагрузке до 400 кДж
Испытано 10 генераторов

6 каскадных ВМГ 2-х модификаций с энергией в нагрузке 4 МДж

Емкостные накопители
напряжением 30 кВ с энергозапасом 60 кДж – 2 шт
напряжением 5 кВ с энергозапасом 0,5 МДж
напряжением 6 кВ с энергозапасом 0,9 МДж
напряжением 6 кВ с энергозапасом 1,8 МДж

(II) Математическое моделирование

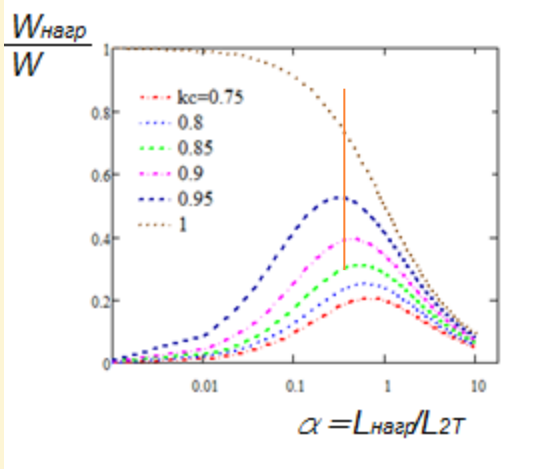
I этап

Расчет эквивалентной схемы замещения для эффективной ~ 50% передачи энергии ВМГ через ИТ в нагрузку (при k_c ~ 0,95), $k_{тр}$ ~10

$$L_{экв} = L_{2T} + L_{нагр} - \frac{M^2}{L_{1T}}, \quad M = k_c\sqrt{L_{1T}L_{2T}}$$

$$R_{экв}^{ЭВП} = (R^{ЭВП}(t) + \frac{\partial R(t)}{\partial t}\cdot t)\frac{M^2}{L_{1T}^2}$$

$L_{экв} \cong 15{,}6$ мкГн, $R_{экв} \cong 5 \rightarrow 240$ Ом



II-й этап - до разрыва ЭВП, $T_{хар}$ z $t_{ВМГ}$ ~ 70-100 мкс

Передающая линия замещается эквивалентными цепями **с сосредоточенными параметрами**

Количество и сечение проволочек ЭВП из меди определяется из интеграла действия тока в нагрузке

$$NP \cdot \pi \cdot d^2/4 = \sqrt{\frac{\int I^2(t)dt}{h_c}}, \quad$$ ***NP* ~ 100, *d* ~ 200 (33) мкм**

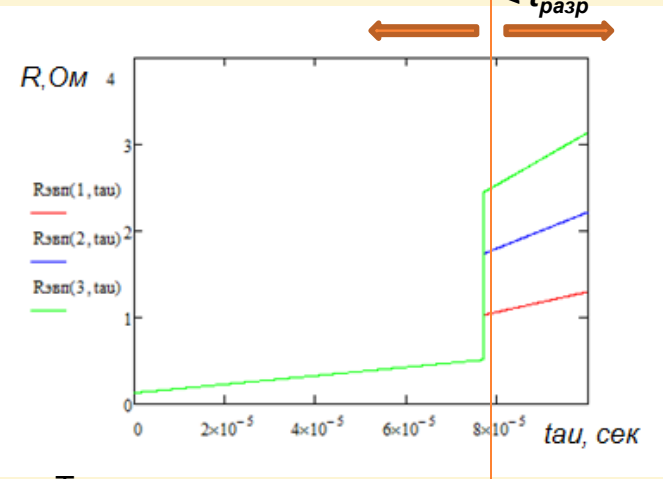
III этап – разрыв ЭВП,

Передающая линия замещается цепью с распределенными параметрами для вычисления напряженности электрического поля и длины ЭВП.

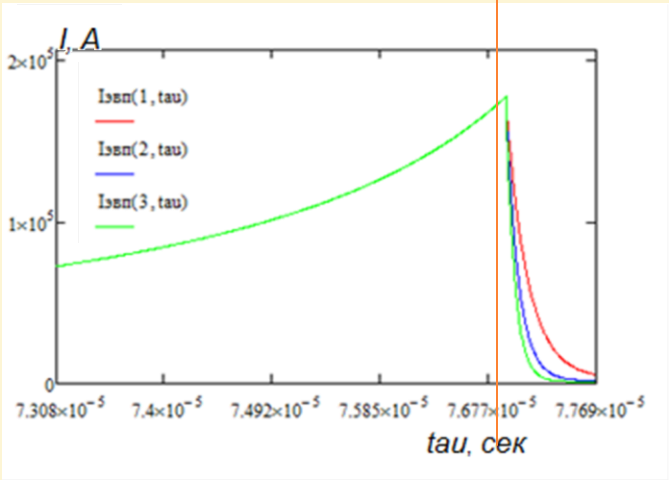
$$E_{max} \sim A\frac{\exp(-\frac{B}{d\cdot I^2})}{\sqrt{d}},$$ **где *A* =10E+4, В/м^{0,5} , *B* = 2,2E+18, А^2/м^3**

***$U_{эвп}$* ~ 2,2 МВ, *E* $_{мах}$ ~ 340 кВ/м, $\ell_{эвп}$~ 6,4 м**

I-я модель: $\tau < t_{ВМГ}$ II-я модель: $t_{ВМГ} < \tau < t_{разр}$



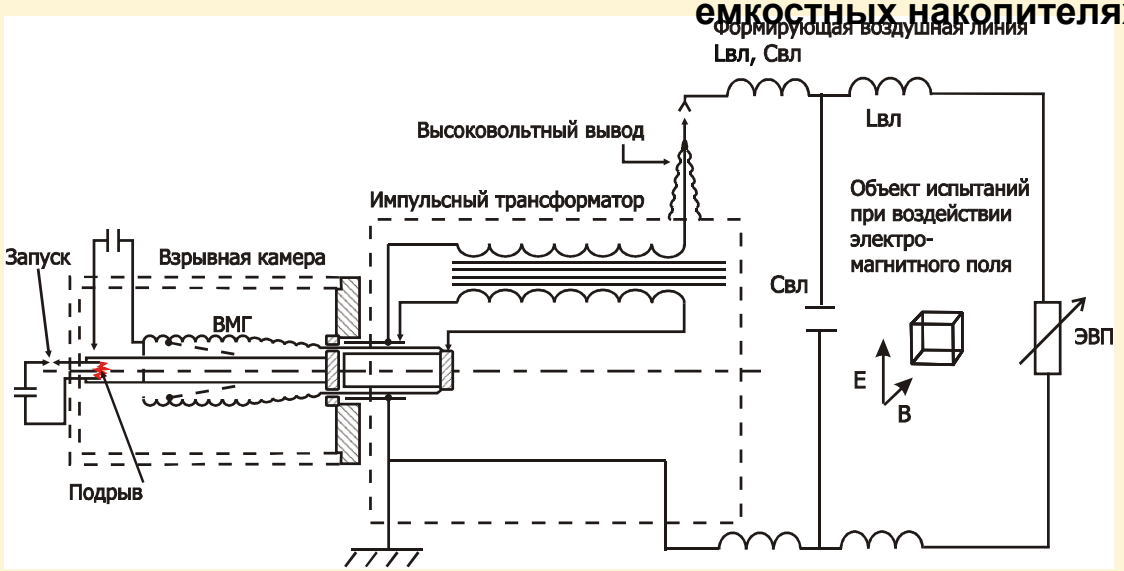
Темп роста сопротивления в конце импульса ВМГ достигает десятков кОм/с



Импульс тока в нагрузке во время работы ВМГ и после разрыва, декремент тока ~ десятки нс

(II) Исследования по созданию мощных генераторов импульсов тока и излучения для проверки электромагнитной устойчивости энергетических систем/Этап 2014 года

Разработка и экспериментальное исследование новых типов мощных генераторов быстронаростающих импульсов тока, базирующихся на взрывомагнитных генераторах и емкостных накопителях



Планируется создание передвижной системы в контейнерном исполнении предназначенной для проверки (ПСП) ЭМУ стационарных объектов

Характеристики передающей формирующей линии:

Объем: ~ *50м × 20 м × 10м*

Удельная индуктивность ФЛ ~ 0,235 мкГн/м

Удельная емкость ФЛ ~ 47 пФ/м

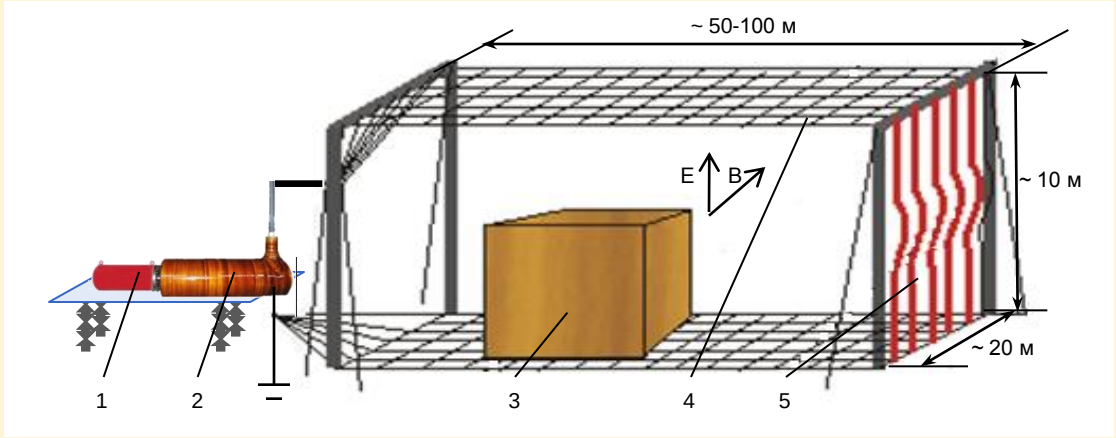
Волновое сопротивление ~ 70 Ом

Параметры ИТ:

L_{1T} ~ 0,4 мкГн, L_{2T} ~ 40 мкГн, $к_{тр}$ ~ 10.

Параметры нагрузки:

$L_{нагр}$ ~ 117мкГн; $R_{нагр}$ ~ 0,065 до 5,5 Ом

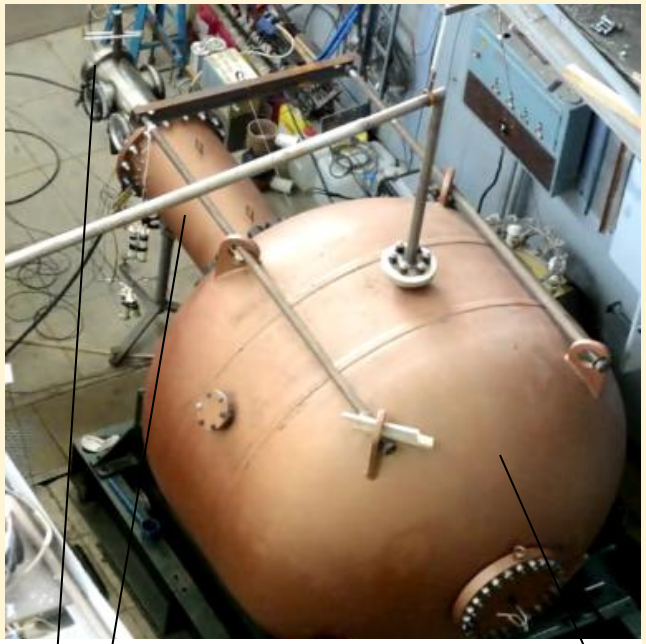


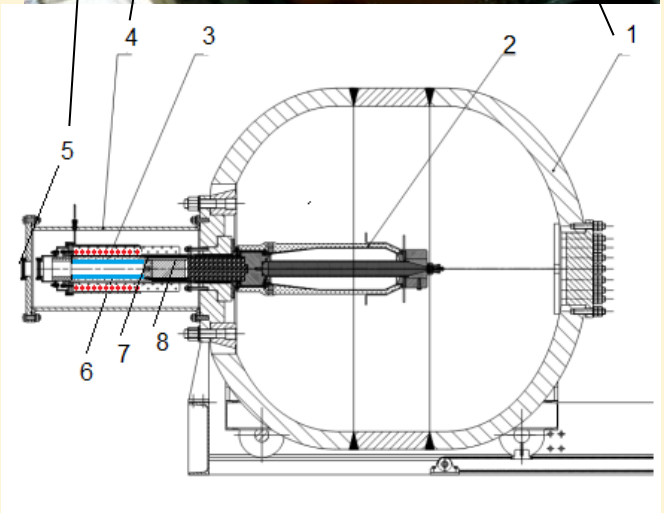
1 – Взрывная камера с генератором токов на основе ВМГ, 2 – импульсный трансформатор (ИТ), 3 – испытываемый объект,
4 – формирующая линия, 5 – электровзрывные прерыватели

Лабораторный стенд на основе взрывной камеры для испытаний ВМГ – прообраз ПСП ЭМУ

- Максимальный вес заряда в тротиловом эквиваленте - 5 кг
- Габариты и вес: 1920 × 810 мм; 2800 кг

(IV) ВМГ для малогабаритного источника тока для сжатия замагниченной плазмы





Экспериментальная установка

Выходные характеристики источника

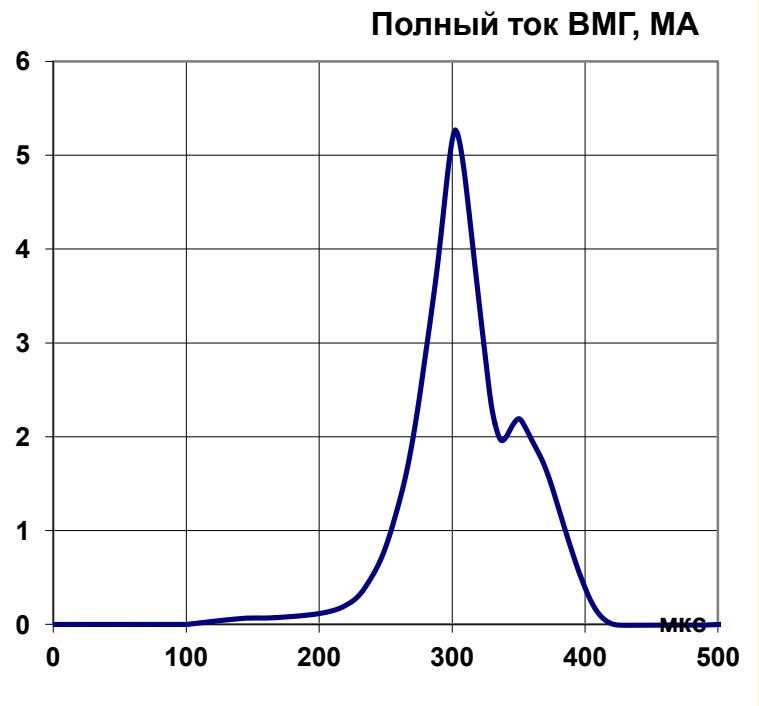
Начальная энергия ВМГ, кДж 15 - 50

Максимальное значение тока в нагрузке (МО), МА 8,0

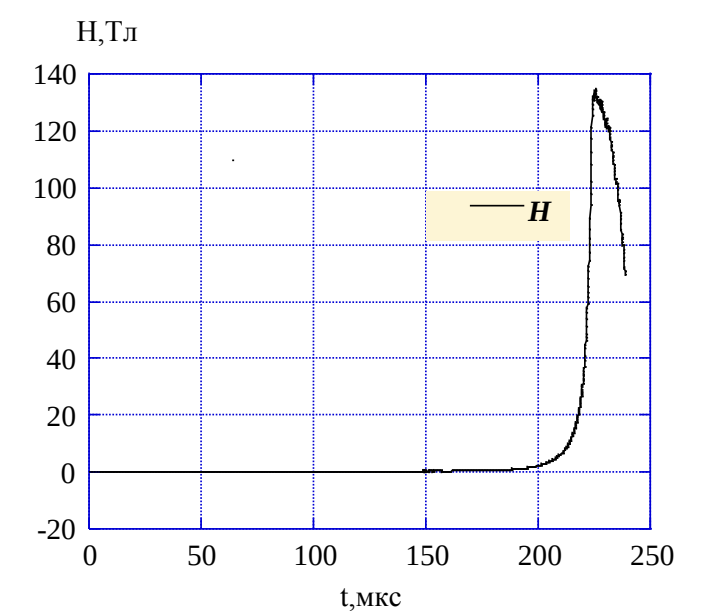
Максимальное напряжение на нагрузке, кВ 20,0

Магнитная энергия в нагрузке (без учёта изменения индуктивности) при работе ВМГ, МДж 2,0

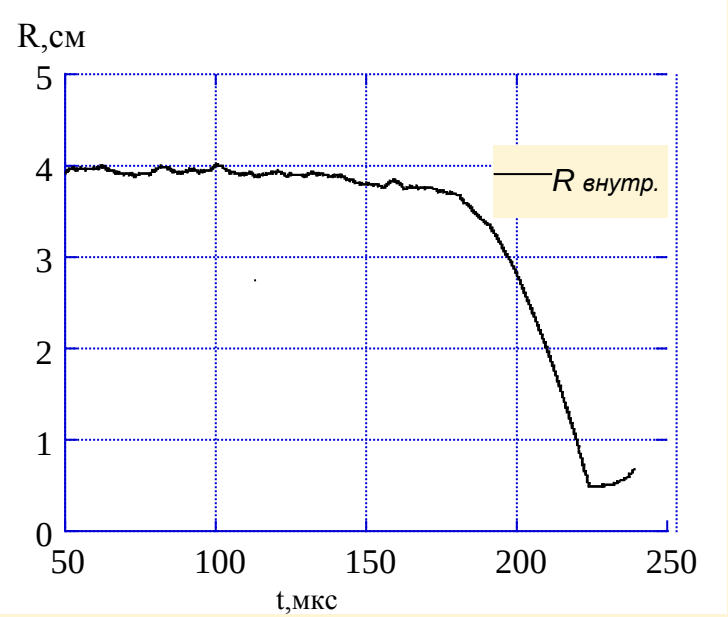
1- взрывная камера (ВК)
2 – ВМГ (внутри ВК),
3 - модуль метаемой оболочки (МО) внутри защитной камеры (4)
5 - окно для диагностики
6 - катушка внешнего магнитного поля
7- внешний электрод
8 - внутренний электрод



(IV) Экспериментальные данные по сжатию МО



Динамика магнитной индукции на оси экспериментальной сборки



Динамика изменения внутреннего радиуса оболочки

Внешний вид оболочки после эксперимента

Оболочка сохранила осесиметричную форму при 10-кратной деформации сжатия-расширения

(IV) Взрывомагнитный генератор на энергию 1 МДж для плазменных ускорителей

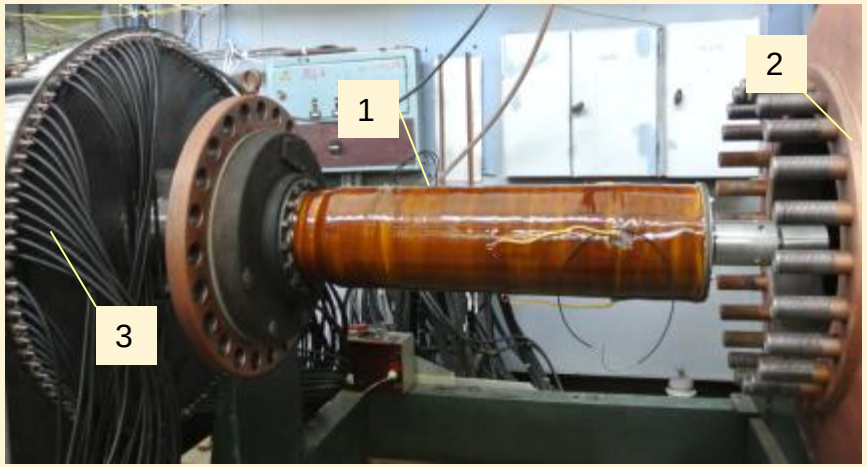
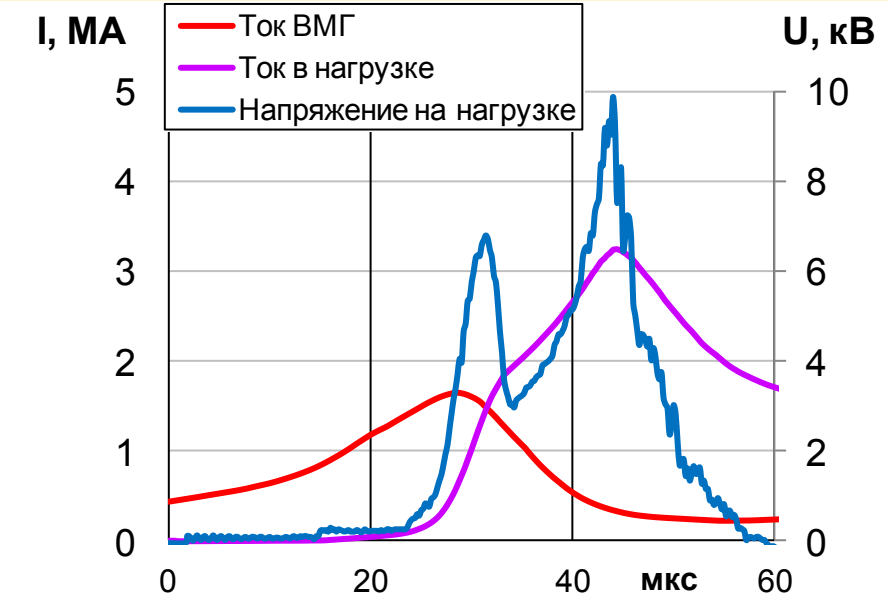
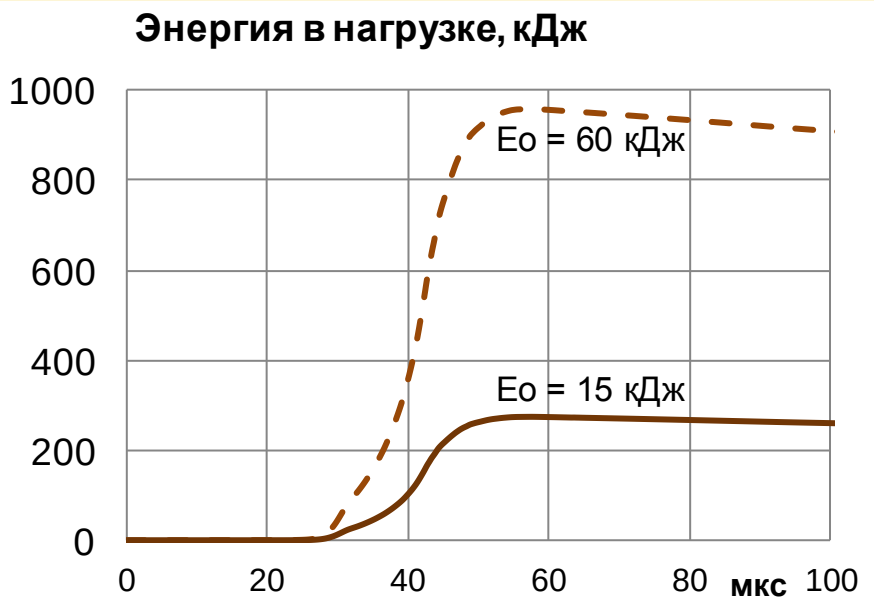


Фото ВМГ при работе на плазменный ускоритель.
Начальная энергия ВМГ Eo ~ 15 - 60 кДж.

<u>Основные элементы:</u>
1 – взрывомагнитный генератор (ВМГ)
2 – взрывозащитная камера
3 – токовый коллектор для присоединения плазменного ускорителя

Результаты испытаний ВМГ на плазменный ускоритель с переменной индуктивностью 40 – 130 нГн





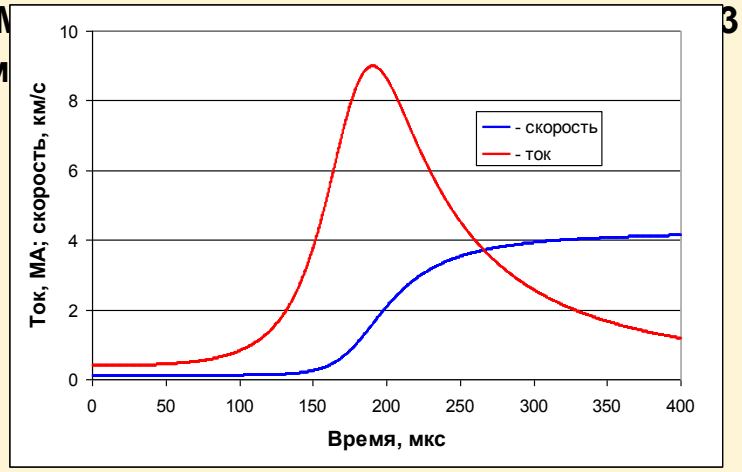
(I) Расчетно-экспериментальные исследования плазмодинамических ускорителей макротел

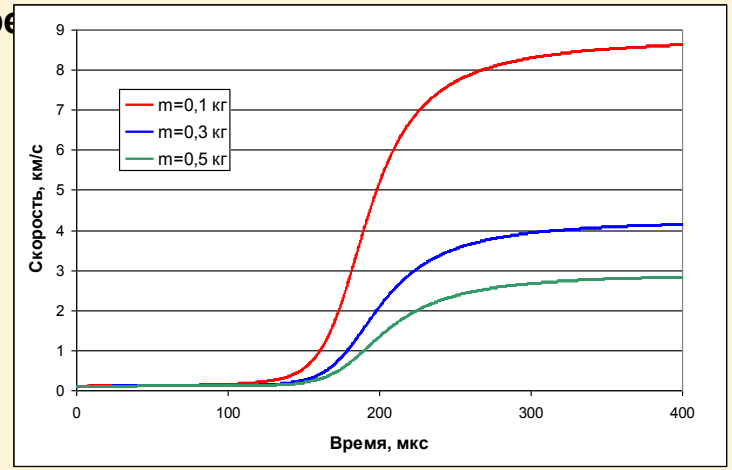
3. Проведена глубокая модернизация емкостного накопителя для рельсового ускорителя. Число независимых секций накопителя уменьшено с 8 до 3, энергия накопителя увеличена с до 1,2 МДж, вдвое снижены потери на коммутацию.

4. **Разработана схема метания «тяжелых» ударников массой от 0,1 кг в рельсовом ускорителе с ВМГ как источником энергии. Расчеты показывают, что при использовании ВМГ с энергией**

5 М 3 кг пре

км



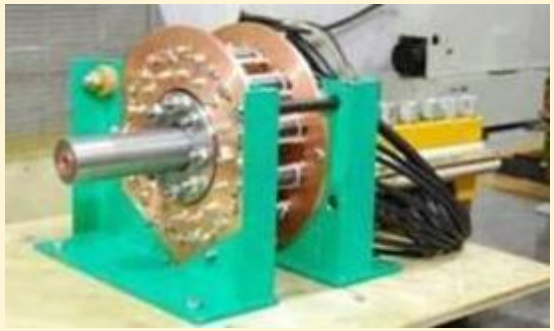


Расчет «идеального» режима работы рельсотрона, источник энергии – двухкаскадный ВМГ
Рельсотрон подключен ко второму каскаду ВМГ с начальным током, генерируемый первым каскадом, 400 кА, скорость ударника на входе в рельсотрон – 0,1 км/с

В 2015 г. планируется экспериментальная проверка разработанного метательного комплекса.

Отв. исполнитель: к.ф.- м.н. Полищук Владимир Павлович

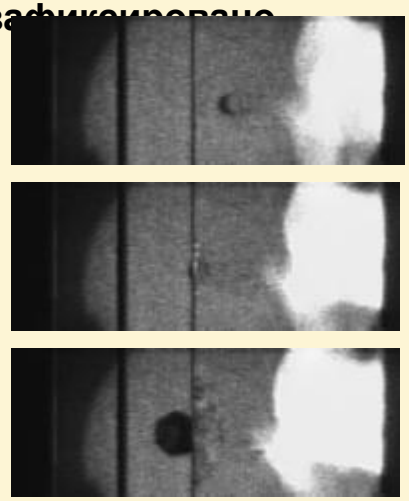
(I) Расчетно-экспериментальные исследования плазмодинамических ускорителей макротел

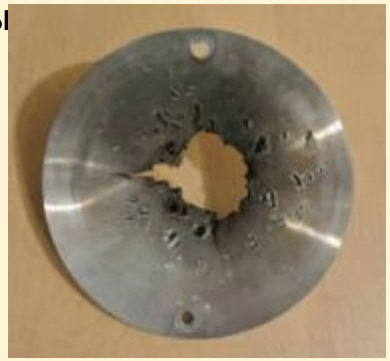


1. Проводилась отладка элементов конструкции коаксиального плазмодинамического ускорителя, на базе которого может быть создана мобильная метательная установка с источником питания от ВМГ. Найдены решения, которые обеспечивают динамическую прочность электродного узла при давлении порядка 1 ГПа.

2. Отработана конструкция комбинированного ударника в виде обоймы из поликарбоната и насадки из дюраля. Показано, что такие ударники могут разгоняться в магнитоплазменном ускорителе до скорости свыше 3 км/с с ускорением порядка 1 Mg.

На кадрах съемки с лагом 10 мкс представлено начало разрушение составной мишени из трех дюралевых пластин подобным ударником массой 3,1 г. Две пластины пробиты насквозь, на третьей, толщиной 10 мм, - видна вмятина от удара дюралевой насадки, на ее тыльной стороне зафиксировано





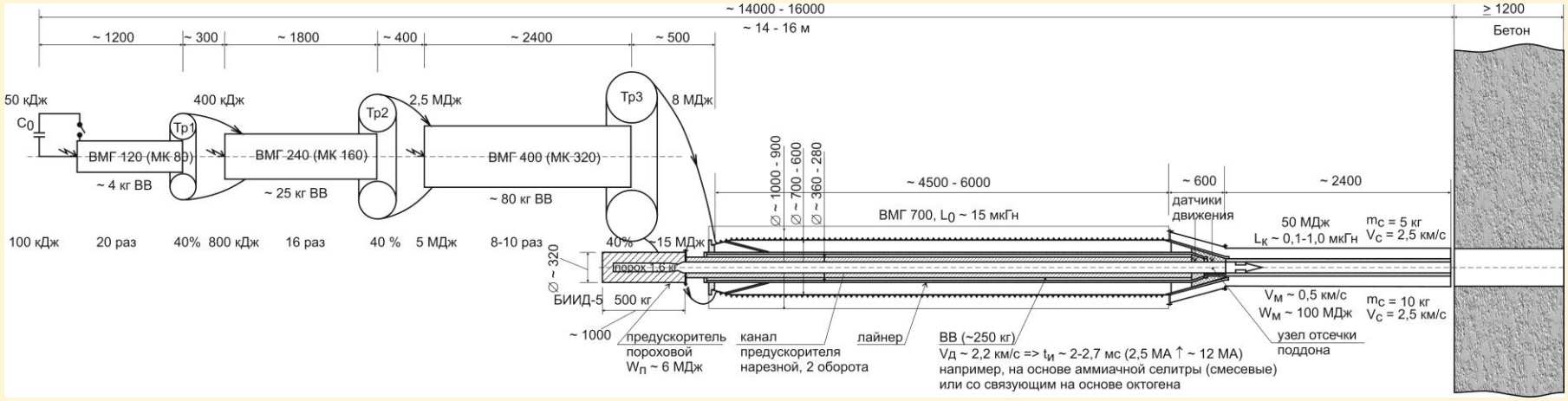
H = 5 мм H = 5 мм H = 10 мм

Пластины составной мишени после «выстрела»

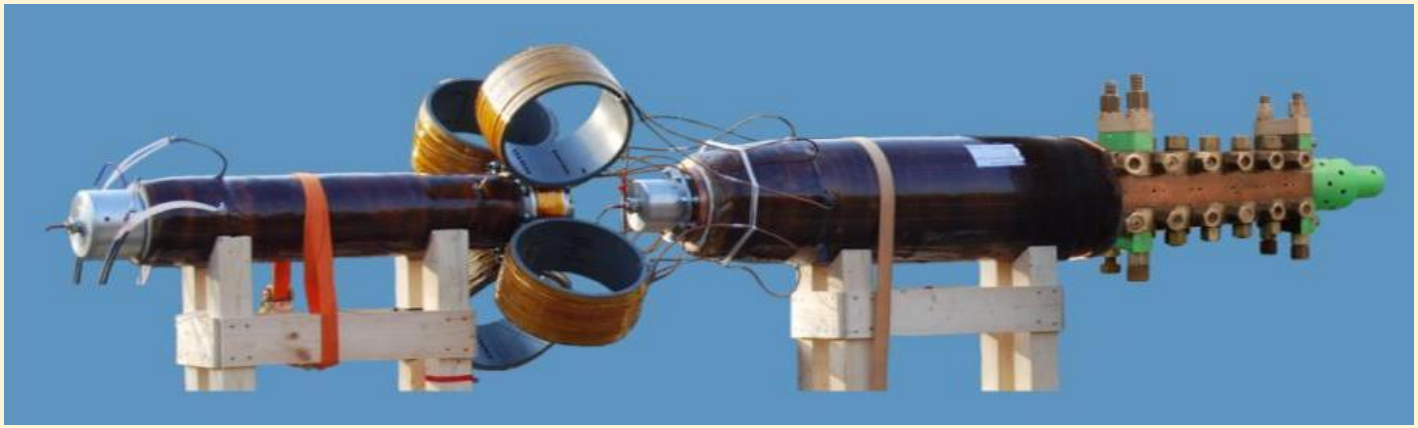
Отв. исполнитель: к.ф.- м.н. Полищук Владимир Павлович

(I) Расчетно-экспериментальные исследования плазмодинамических ускорителей макротел

Перспективная схема рельсотрона с запиткой от четырехкаскадного ВМГ для метания снаряда массой 10 кг со скоростью 2,5 км/с

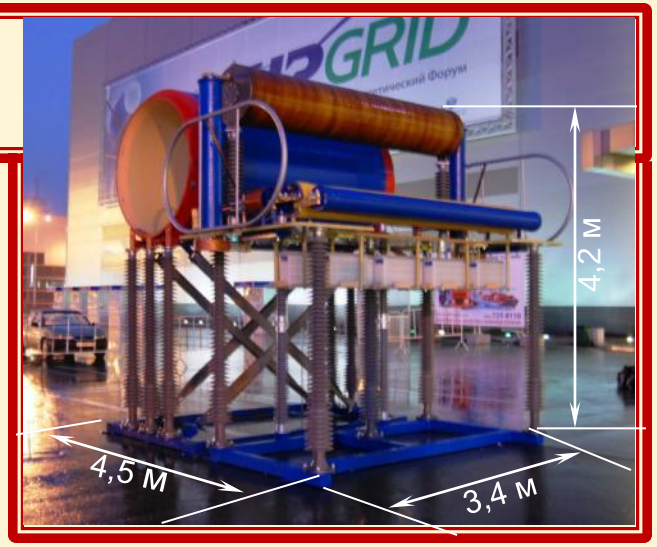


На первом этапе предполагается провести эксперименты по метанию «пули» массой 100 г
Расчетная скорость – 3 км/с
При этом будет использован двухкаскадный ВМГ с выходной энергией до 4 МДж, разработанный в 2014 г.



Отв. исполнители: к.ф.- м.н. Полищук Владимир Павлович, к.ф.-м.н. Завалова В.Е.

(V) ТОУ-220



В сентябре 2014 г. получено положительное заключение НТС «Россети» развивать технологии токоограничения на основе взрывных коммутаторов по проекту «ТОУ-220 кВ с функцией АПВ»

Разработан технический проект системы интеграции ТОУ-220 с АСУ подмосковной ПС «Каскадная»

Заключен договор ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» «на разработку рабочей (технической) документации, поставку оборудования и материалов по титулу: «Расширение ПС 500 кВ Каскадная. Установка токоограничивающего устройства (ТОУ) 220 кВ» для нужд филиала ОАО «ФСК ЕЭС» - МЭС Центра»

ТОУ -220 имеет ограничение по максимальному току ≈ 2-3 кА из-за цилиндрической геометрии взрывных коммутаторов

Разработаны взрывные размыкатели плоского типа на основе новых ВМ со специальными свойствами
(изготовитель – ОАО «НИИ «Кристалл»)

Взрывные коммутаторы плоской геометрии могут быть рассчитаны на токи до ~ 30 кА, что открывает перспективы их применения в системах защиты генераторов любой мощности (до 800 МВт)

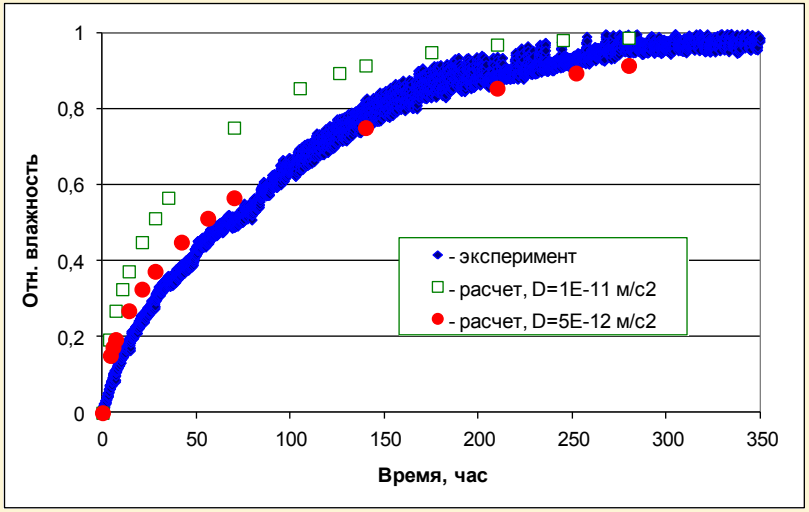
(VI) Разработка прибора непрерывного контроля влажности бумажно-масляной изоляции (БМИ)

Считается недопустимой эксплуатация маслонаполненного электрооборудования при влажности БМИ свыше 2%; методы непрерывного контроля влажности БМИ отсутствуют, определение этой величины пересчетом из влажности трансформаторного масла приводит к большой погрешности.

ШФ ОИВТ РАН по заказу ОАО «ТЮМЕНЬЭНЕРГО» разработал прибор непрерывного контроля влажности (ПНКВ) БМИ, основанный на зависимости диэлектрической проницаемости БМИ от влажности (диэлькометрический метод).

1. Стенды для исследования процессов переноса влаги в БМИ и калибровки датчиков влажности

2. Калибровка датчика влажности при влажности сенсора 2 %, температура 80 ºС



Весь процесс калибровки датчиков занимал 40-50 дней. Полученные значения коэффициента диффузии влаги близки к ожидаемым.

В настоящее время процессы переноса влаги в БМИ изучены явно недостаточно - по литературным данным коэффициент диффузии зависит от толщины образца (?).

Отв. исполнитель: к.ф.- м.н. Полищук Владимир Павлович

(VI) Разработка прибора непрерывного контроля влажности бумажно-масляной изоляции (БМИ)

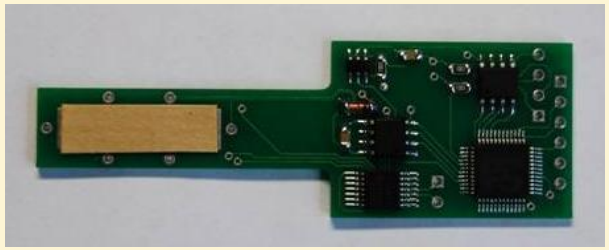
1 - датчик влажности, 2 - модуль сопряжения, к которому можно подключать до 16 датчиков влажности.

Датчик влажности и модуль сопряжения на подстанции «Каскара» ОАО «Тюменьэнерго»

Прибор непрерывного контроля влажности

Основные характеристики прибора:

диапазон измерения влажности (по массе) до 4 %
погрешность измерения (по массе) 0,5 %
диапазон температур -40 ºС… +90º С
ресурс работы 80000 часов
поддерживает протоколы обмена с АСУ верхнего уровня в стандартах МЭК 60870-5-101 и 60870-5-104



Влагочувствительный элемент датчика влажности из трансформаторного картона толщиной 0,5 мм
Емкость измеряется с погрешностью10^{-15} Ф

Результаты работы обсуждались на заседании НТС ОАО «Россети» 12.12.2014 г. Работа одобрена. Предложено расширить опытно-промышленную **эксплуатацию на большем количестве объектов (до 4-х) со сдвигом срока окончания работ до 01.09.2015 г. (реальное импортозамещение !!!)**

Отв. исполнитель: к.ф.- м.н. Полищук Владимир Павлович

Финансово экономические показатели

Доходы

	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Базовое финансирование (субсидии)	10 984,0	12 902,8	13 622,7	**15 471,7**
Хоздоговора	38 313,2	29 250,0	29 250,0	**92 880,6 (20 050,0)**
Аренда	172,5	226,8	267,7	**267,7**

Среднемесячная заработная плата (штатные сотрудники)

		К-во	2011 г.		2012 г.		2013 г.		2014 г.	
Научные сотрудники	ГБ	**8**	18 815	**40 443**	25 643	**43 948**	29 085	**50 437**	26 977	**90 104**
	ВНБ		21 628		18 305		21 352		63 127	
Инженеры	ГБ	**12**	16 488	**31 827**	19 338	**30 035**	19 247	**31 849**	23 041	**64 287**
	ВНБ		15 339		10 697		12 602		41 246	
АУП	ГБ	**5**	22 723	**40 919**	26 757	**39 747**	27 894	**39 244**	31 571	**65 701**
	ВНБ		18 206		12 990		11 350		34 130	
Рабочие	ГБ	**8**	15 114	**30 537**	17 754	**28 507**	18 987	**27 974**	19 766	**46 948**
	ВНБ		15 423		10 753		8 987		27 182	
ИТОГО		**33**	Ср. ЗП	**35 932**	Ср. ЗП	**35 559**	Ср. ЗП	**37 376**	Ср. ЗП	**66 556**

Публикации ШФ ОИВТ РАН в 2014 г.

Всего публикаций – 21 (8 научных сотрудников)

В том числе:

рецензируемые журналы и сборники – 4

нереценцизируемые журналы – 1

доклады на международных и российских конференциях – 13

тезисы докладов на международных и российских конференциях – 3

Средний ПРНД 2013 года – около 20 (максимальный – 50)