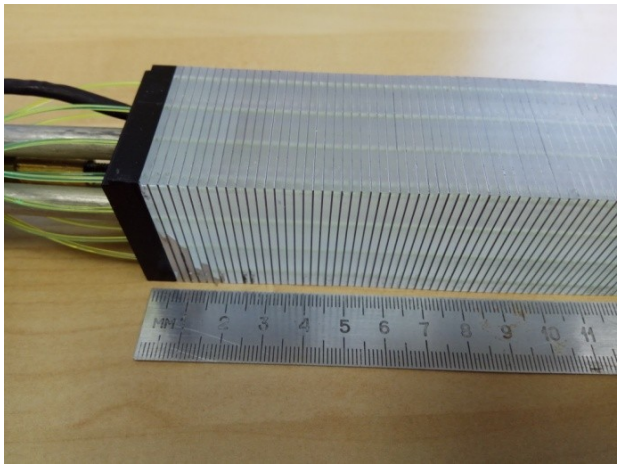
Результаты выполнения Этапа №2 научно-исследовательских работ
по Соглашению между ОИЯИ и Минобрнауки
о предоставлении субсидии № 05.615.21.0005
для реализации в 2018-2020 г.г. проекта
«Создание опытной партии модулей для Электромагнитного калориметра
в составе экспериментальной установки Многоцелевой детектор (MPD) на
коллайдерном комплексе НИКА»

ПЛАН-ГРАФИК ИСПОЛНЕНИЯ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ
при проведении исследований (выполнении проекта)
по теме: «Создание опытной партии модулей для Электромагнитного калориметра в составе экспериментальной установки Многоцелевой детектор (MPD) на коллайдерном комплексе НИКА»

№ этапа	Наименование этапов	Сроки выполнения этапов (начало-окончание)	Состав выполняемых работ	Состав разрабатываемых документов
2	Создание Технического задания на тестирование модулей Электромагнитного калориметра (ECal). Макетные исследования ВТСП кабеля и обмоток	Начало: 01.01.2019 Окончание: 31.12.2019	***Работы Получателя за счет собственных средств, затраты которых возмещаются грантом*** 2.1 Создание Технического задания на тестирование модулей Электромагнитного калориметра (ECal) 2.2 Создание экспериментального стенда для тестирования модулей Электромагнитного калориметра (ECal) 2.3 Экспериментальное исследование параметров модулей ECal 2.4 Разработка верхней сборочной пластины для вывода и крепления световодов и лавинных фотодиодов 2.5 Изготовление оснастки для изготовления обмоточного ВТСП и макетов обмотки 2.6 Изготовление и испытание образцов обмоточных ВТСП нарабочий ток 2,5-10 кА ***Работы Получателя, выполняемые за счет собственных средств из внебюджетных источников*** Не предусмотрено ***Работы Получателя, выполняемые за счет средств Индустриального Партнера*** Не предусмотрено ***Работы Индустриального партнера, выполняемые за счет собственных средств из внебюджетных источников*** Не предусмотрено ***Работы Иностранных партнеров, выполняемые за счет собственных средств***	Промежуточный отчет о проведенных исследованиях. Техническое задание на тестирование модулей Электромагнитного Калориметра (ECal). Конструкторская документация. Акт изготовления экспериментального стенда. Акт изготовления модулей ECal. Программа и методики экспериментальных исследований модулей ECal. Акт и протоколы экспериментальных исследований модулей ECal. Акт изготовления образцов обмоточных ВТСП. Программа и методики экспериментальных исследований образцов обмоточных ВТСП на рабочий ток 2,5-10 кА. Акт и протоколы экспериментальных исследований образцов обмоточных ВТСП на рабочий ток 2,5-10 кА

MPD Electromagnetic Calorimeter



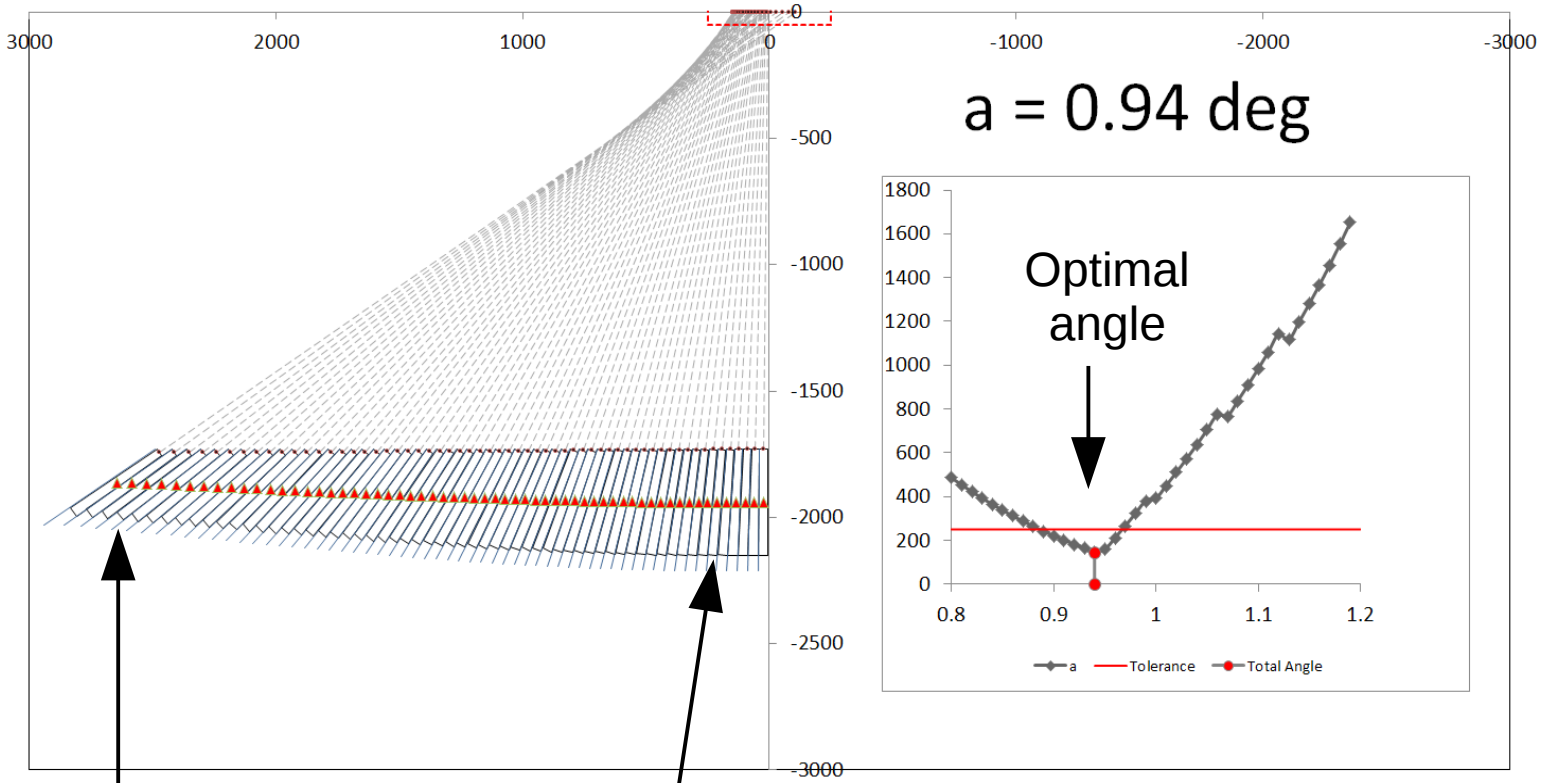
- "Shashlyk"-type calorimeter
- 210 layers of 1.5-mm-thick scintillator
- 210 layers of 0.3-mm-thick lead
- Rad. thickness of 11.2 X_0
- Moliere radius of 62 mm
- Max cell cross-section of 40×40 mm^2
- Diffuse reflector (white glue-paint) on the cell sides and the fibers ends
- Light collection and transport with 16 WLS fibers (Kuraray Y11 (200))
- Light read-out with 6×6 mm^2 Hamamatsu S13360-6025 MAPD

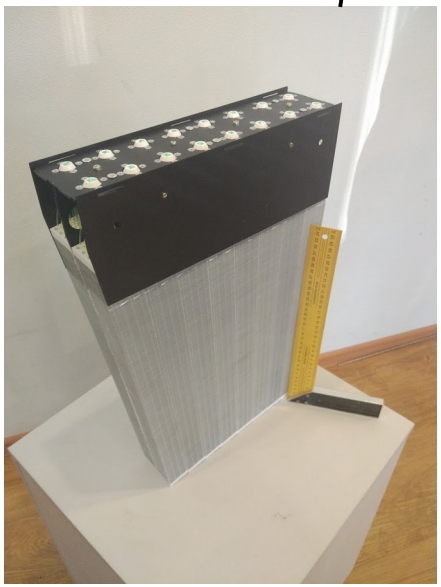
Expectations from simulations:

- Sampling fraction (SF) of about 34-39%
- Energy leak of about 6-11%
- $\sigma_E/E \approx 3\%/\sqrt{E} \oplus 2\%$

Projective Geometry

The towers are inclined along the beam axis to keep the tower axis to be consistent with the direct view to the beams intersection region (± 150 mm)





Modules of 2×8 cells (8 types)

Each module type has an original geometry

2.1 Создание Технического задания на тестирование модулей Электромагнитного калориметра (ECal)

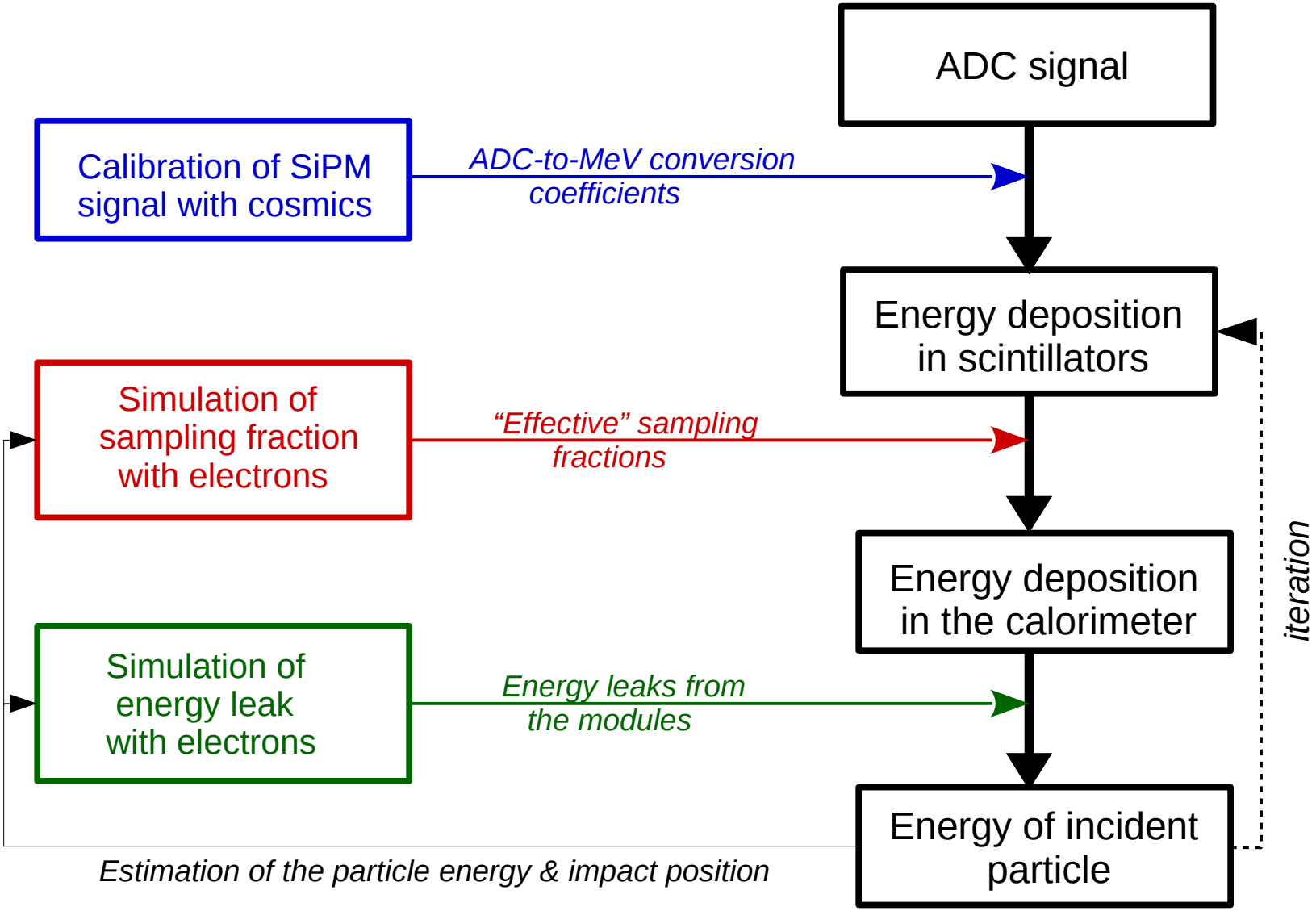
1. Выходной контроль:

- Соответствовие конструкторской документации (КД).
- Оценка относительного световыхода башен (светодиод, источник)

2. Входной контроль в ЛФВЭ ОИЯИ:

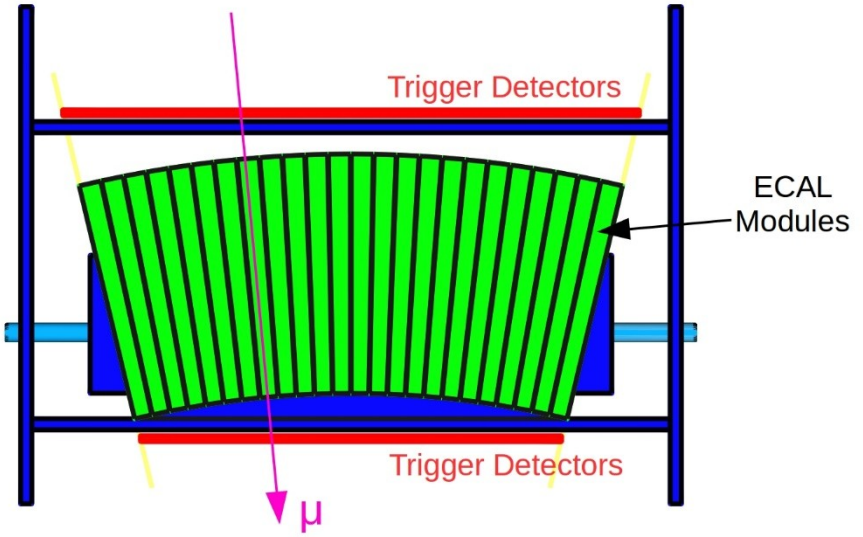
- Сохранность модуля после транспортировки.
- Соответствовие КД.
- Разброс относительного световыхода не должен превышать 20%.
- Отклик башен модуля (оборудованного штатной Front-End электроникой) на прохождение MIP (космических мюонов) вдоль оси башен.
  Разброс для башен одного модуля не должен превышать 20%.

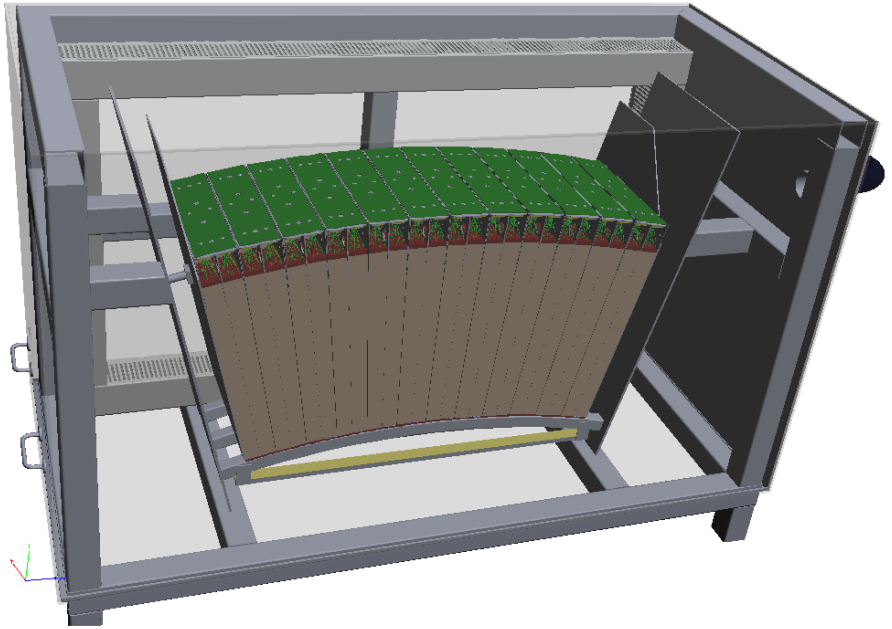
Iterative Procedure of Preliminary Calibration



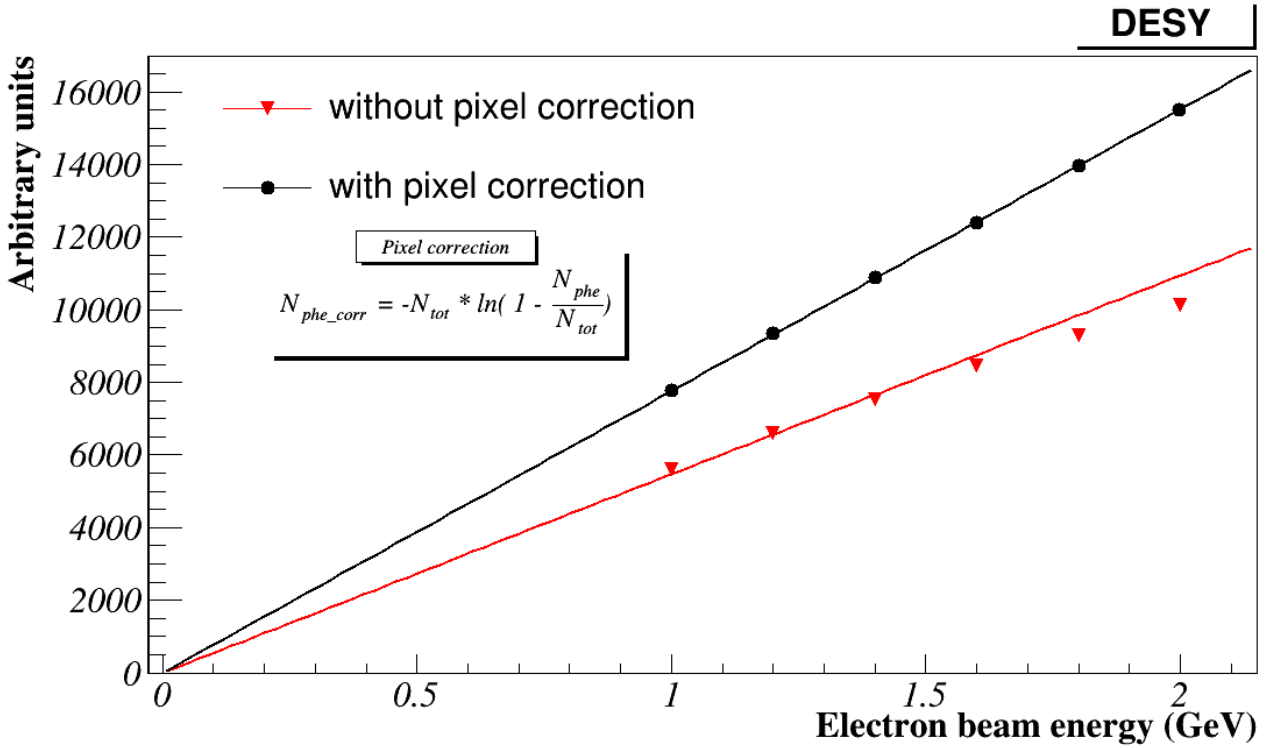
2.2 Создание экспериментального стенда для тестирования модулей Электромагнитного калориметра (ECal)

- All ECal modules with specific electronic boards & operation conditions.
- Trigger selects muons that travel along the module axis.
- 8 stands for 8 types of modules.
- Test 12 modules per stand in 2 weeks.
- All modules calibration in 1 year.

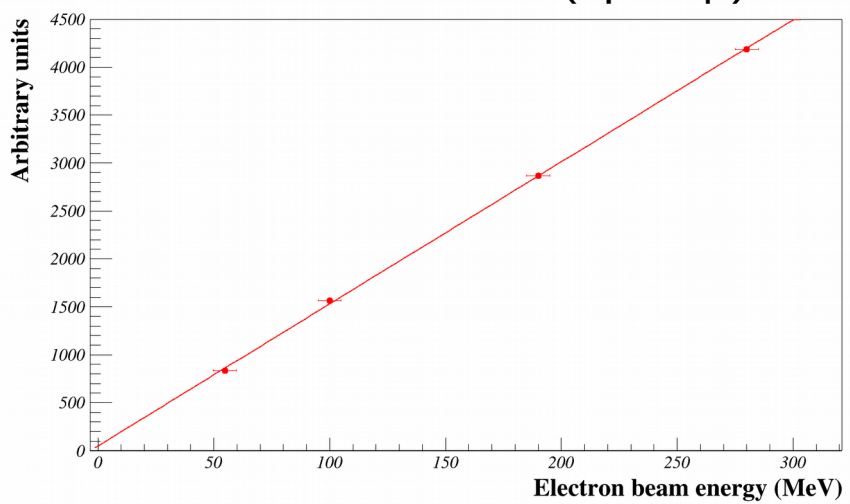




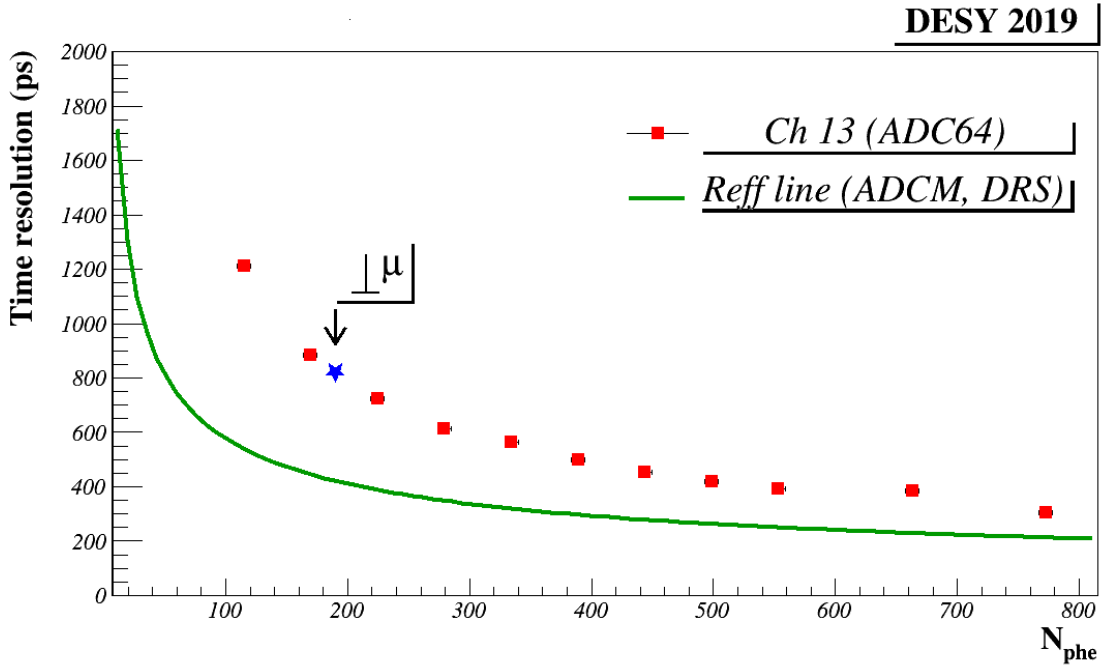
2.3 Экспериментальное исследование параметров модулей ECal



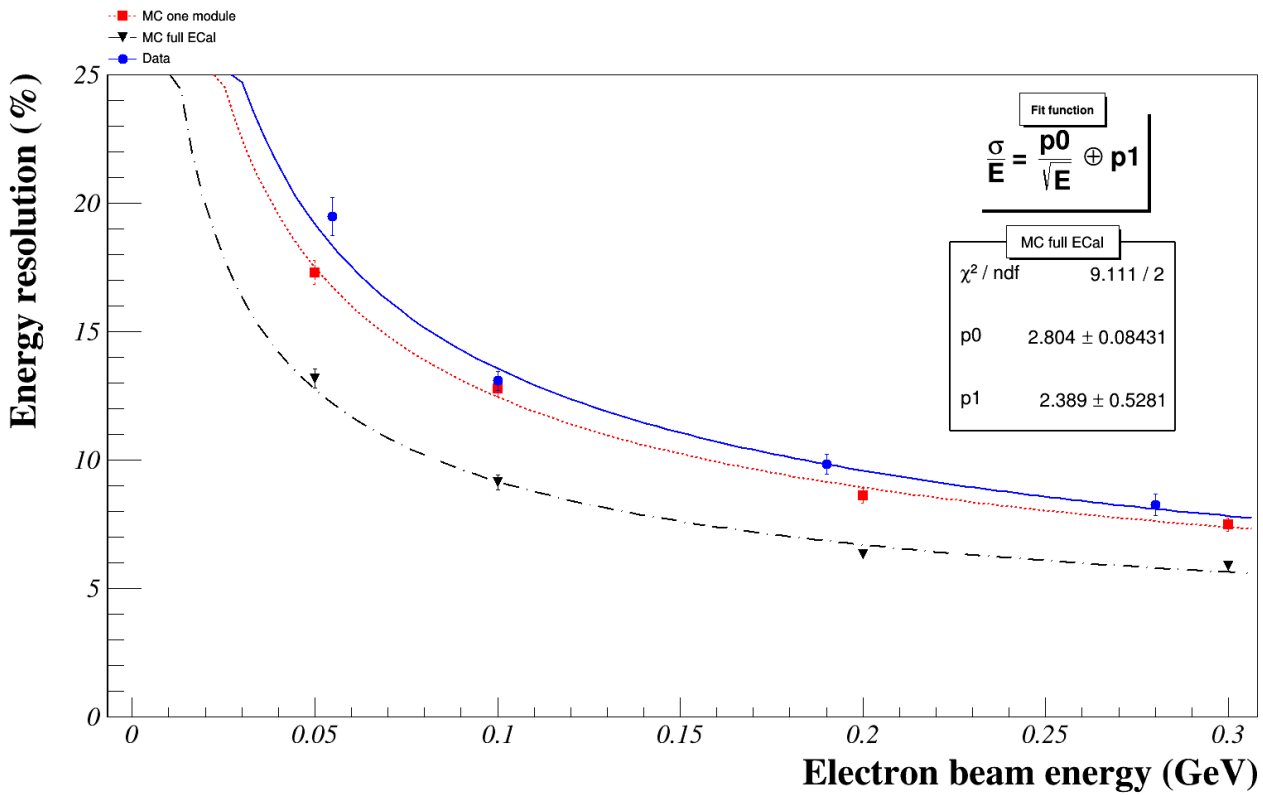
ФИАН (Троицк)



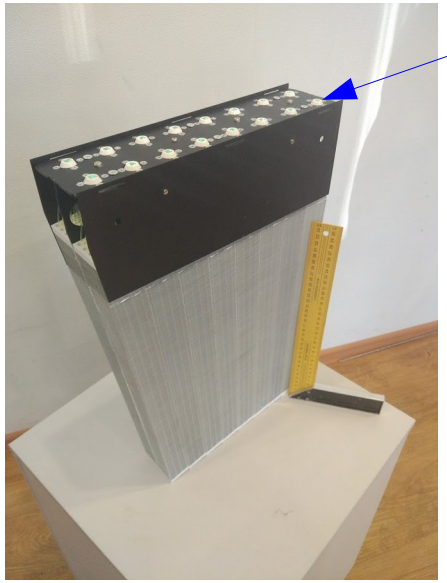
Time Resolution

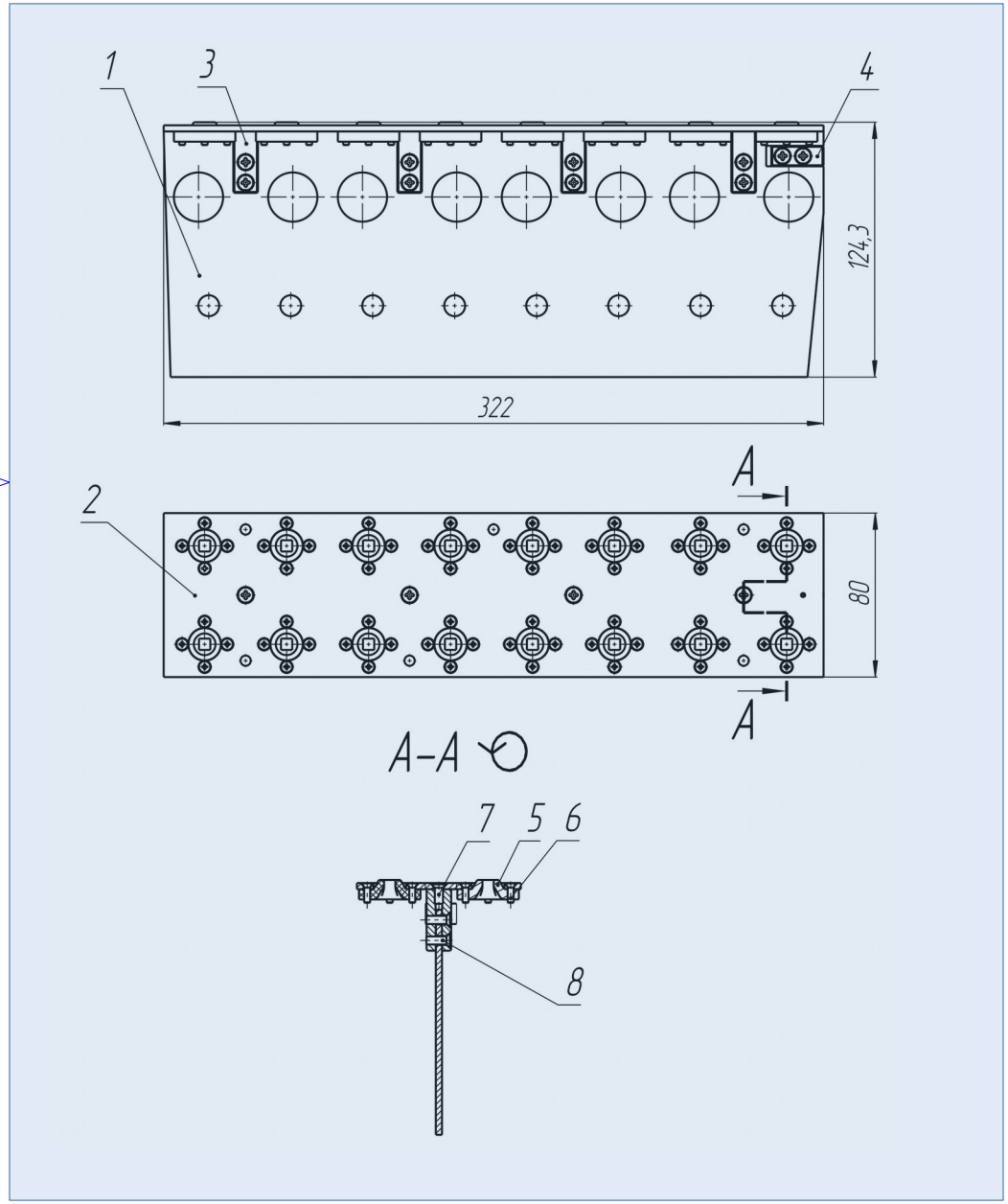


Energy Resolution (ФИАН)



2.4 Разработка верхней сборочной пластины для вывода и крепления световодов и лавинных фотодиодов





НИОКР в целях создания ВТСП SMES для питания Бустера и Нуклотрона

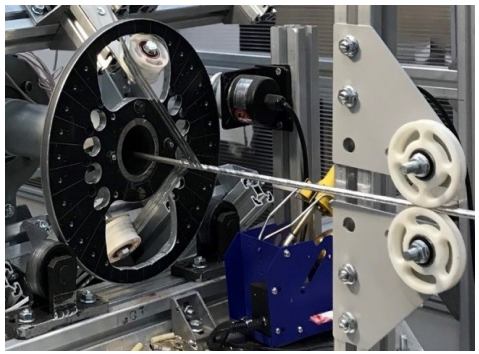
В 2019 году (в рамках гранта Министерства образования и науки) проведены

по тематике **«Макетные исследования ВТСП кабеля и обмоток», работы:**

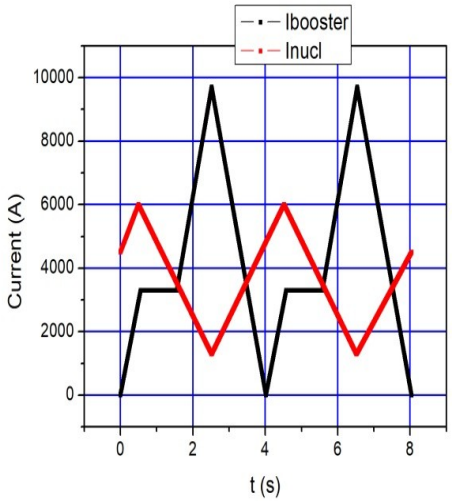
- **Изготовление оснастки для изготовления обмоточного ВТСП и макетов обмотки**
- *Оборудован опытный участок по изготовлению ВТСП кабелей и магнитов*
- *Создано экспериментальное устройство для изготовления ВТСП кабелей*
- **Изготовление и испытание образцов обмоточных ВТСП**

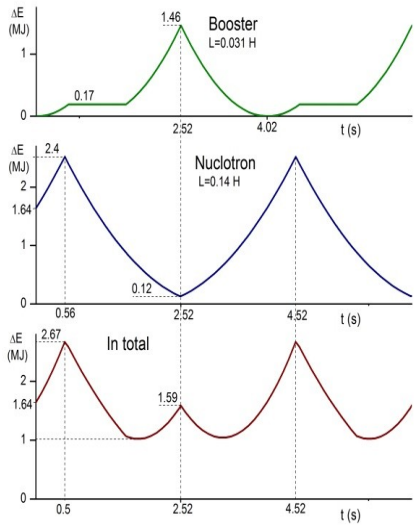
кабелей на рабочий ток 2,5-10 кА

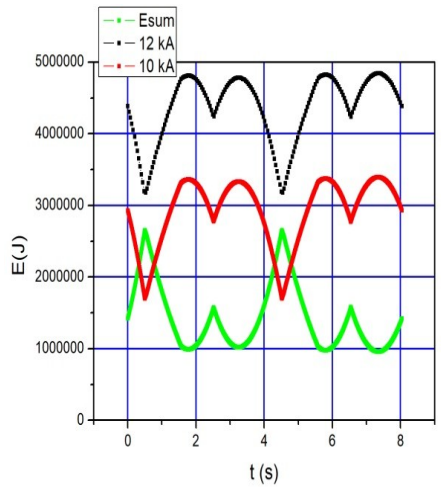
- *Изготовлен короткий образец ВТСП кабеля*
- *Проведено токовое испытание этого образца при 78 К*

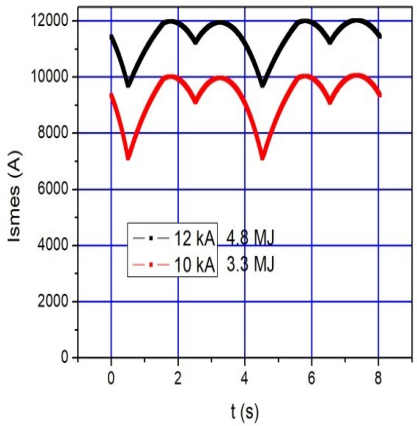


Рабочий режим и параметры соленоида SMES









- Катушка Брукса ~1,6 м в диаметре, 0,4 м в высоту
- 16 слоев по 16 витков
- Кабель CORC, от 10-15 до 40-50 ВТСП лент
- Секционирование
- Рабочий ток до 10-12 кА при 10-15 К в поле до 6-7 Тл
- Проточное охлаждение
- Сверхкритический гелий
- Каркас и криостат – диэлектрические
- Экранирование поля

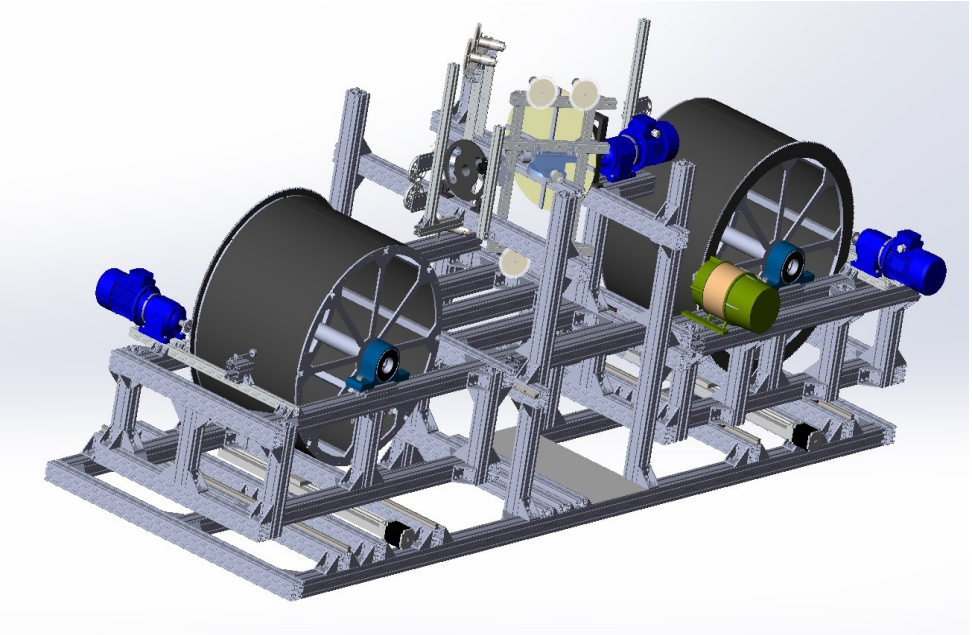
Изготовление оснастки для изготовления обмоточного ВТСП кабеля и макетов обмотки

- Параметры экспериментального кабельного устройства:

- Длина куска кабеля до 160 м
- Число ВТСП лент – 60 и более (за 1 проход сейчас - до 12)
- Диаметр формера – несколько мм
- Углы намотки лент – от 20 до 50º

- Можно добавлять обкруточные узлы (намотка по 20-40 лент)
- Применимо для намотки соленоидов из ВТСП кабеля
- Модернизируемо до опытно-промышленной установки

(намотка кабеля для SMES и т.д.)



Выводы по разделу **«Макетные исследования ВТСП кабеля и обмоток»**

- Оборудован опытный участок для изготовления ВТСП кабелей и магнитов
- Создано экспериментальное устройство для изготовления ВТСП кабелей, и соленоидов из них
- Для проверки работоспособности устройства изготовлен образец обмоточного ВТСП кабеля
- Результаты криогенного токового испытания показали практическое отсутствие снижения (при изготовлении и сгибе кабеля) токонесущей способности ВТСП лент в импульсном режиме
- Создаваемая технология изготовления ВТСП кабеля и экспериментальное кабельное устройство применимы для разработки магнита SMES
- Токонесущая способность образца подтверждает возможность получить требуемый рабочий ток ВТСП кабеля – 10-12 кА, при рабочих температурах 10-15 К, и в магнитных полях до 6-7 Тл на обмотке SMES