



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Экспериментальная база для проведения исследований в интересах взрывобезопасности водородной энергетики

XVI международная конференция «Забабахинские научные чтения»

Михаил Валерьевич Никифоров
начальник научно-исследовательской лаборатории

Снежинск, 2023 г.

Актуальность вопросов водородной безопасности



Последствия взрыва стандартного трейлера
с водородом
Muskingum River Power Plant's Unit 5 (США)
08.01.2007



Последствия взрыва резервуара
с водородом
Gangwon Technopark восточное
побережье Gangneung (Ю. Корея)
24.05.2019



Взрыв водорода на кремниевом заводе в
США 19.12.2019

Основные цели и задачи работ по обеспечению ВБ

Цель: минимизация рисков аварийных ситуаций на объектах ВЭ.

1. Создание инженерных расчетно-аналитических средств для проектных и эксплуатирующих организаций.
2. Накопление и формирование исходных данных для уточнения существующих или создания новых нормативных документов в целях обеспечения безопасности технологий ВЭ (включающих производство, хранение, транспортировку и потребление водорода).
3. Экспериментальное и расчетное моделирование фрагментов аварийных процессов, свойственных конкретным технологиям.



Команда проекта



РФЯЦ-ВНИИТФ



НИЦ КИ



ИБРАЭ РАН



НТЦ ЯРБ



Кинтех лаб



Команда обладает опытом



Участия в международных бенчмарках, в конференциях по водородной безопасности



Разработки исходных данных для нормативных документов



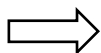
Проведения экспериментов в части обоснования водородной безопасности на АЭС с ВВЭР*

*высоко оценены Ростехнадзором

Кооперация



Обоснование безопасности технологий ВЭ, испытания систем безопасности



ВТГР



ХТЧ



Электролизёры, топливные элементы, баллоны



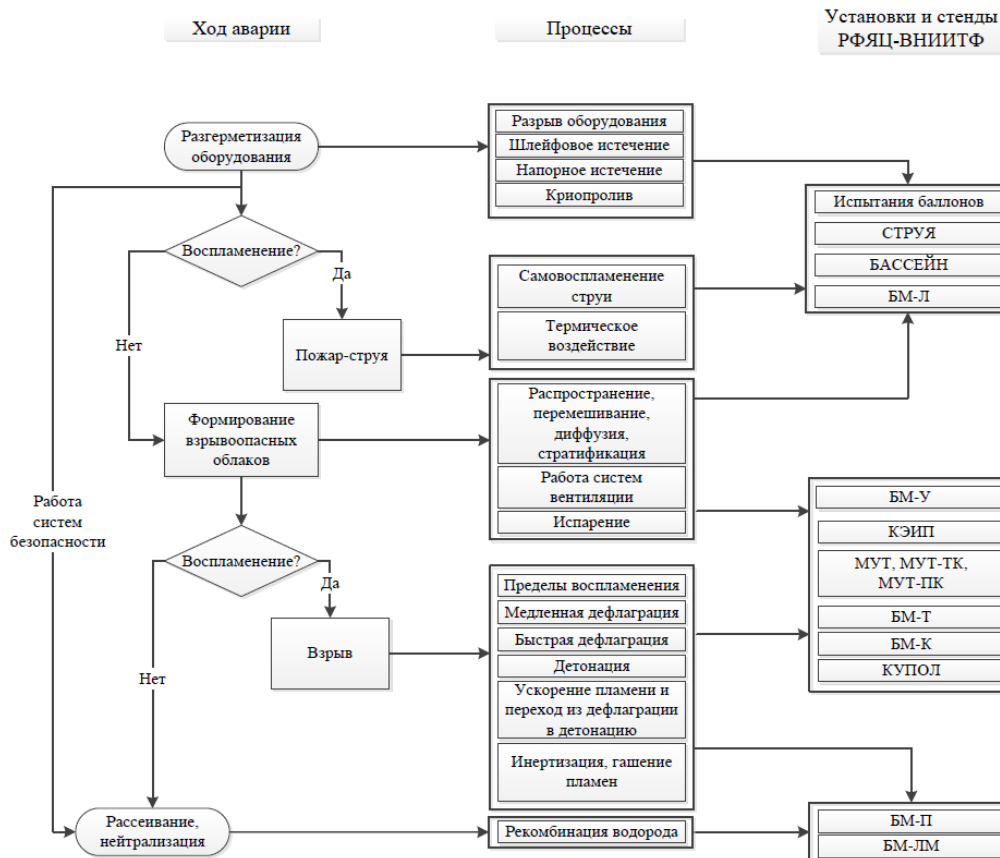
Безопасность АЭС, рекомбинаторы водорода

Исследуемые процессы в экспериментах

Цель – получение новых данных по протеканию аварийных процессов, ликвидация «пробелов» в знаниях

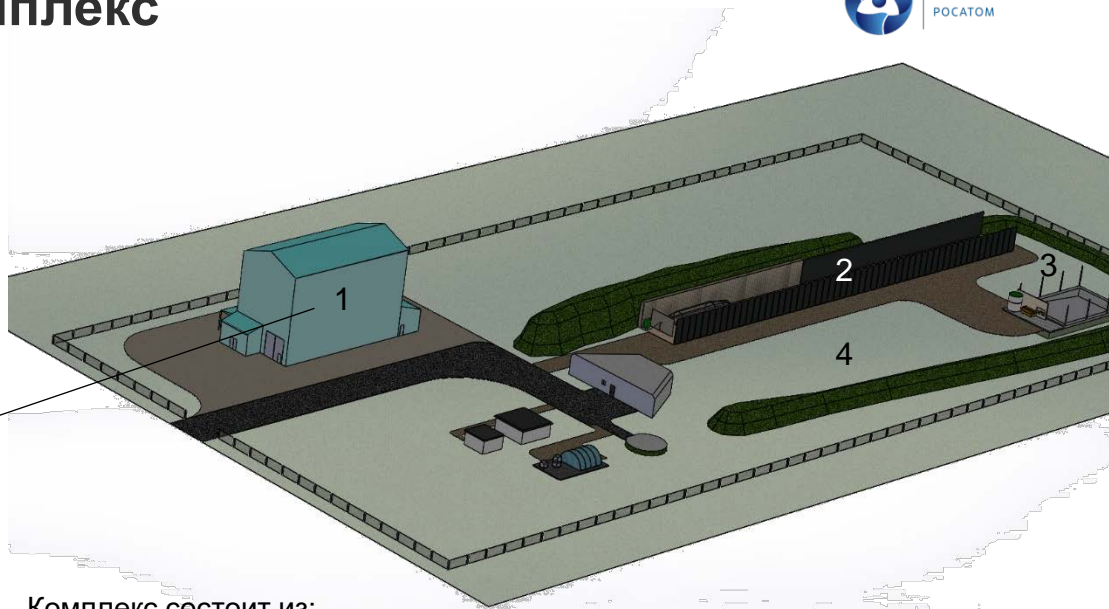
Результат – база экспериментальных данных для

- формирования исходных данных в нормативные документы;
- валидации численных моделей и программных средств;
- разработки средств снижения взрывоопасности и риска аварий.



Экспериментальный комплекс

Для исследования перечня процессов в РФЯЦ-ВНИИТФ создан и продолжает развиваться экспериментальный комплекс.



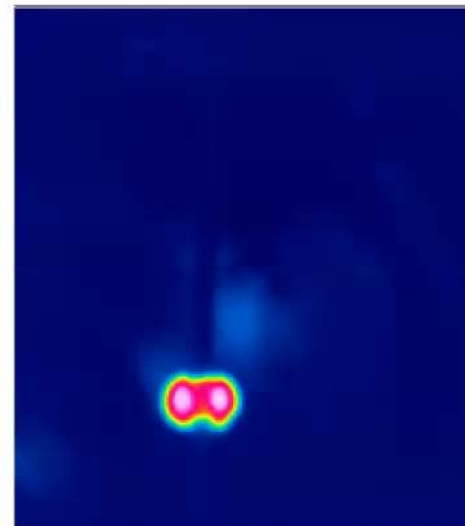
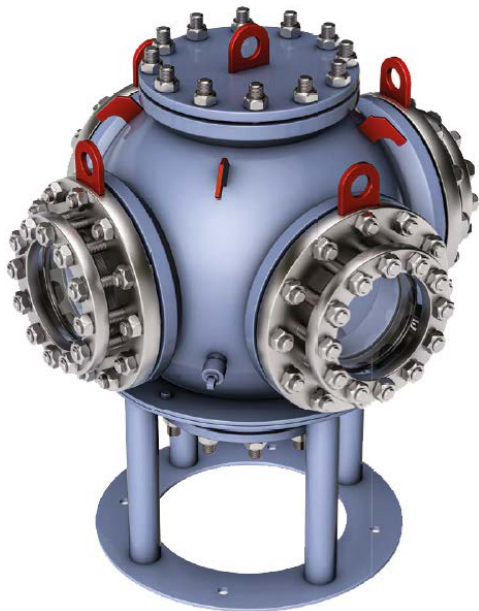
Комплекс состоит из:

- 1) утепленного ангара с установками большого масштаба;
- 2) стенд для исследований негорящих и горящих струй газа с давлением до 700 атм при разгерметизации оборудования;
- 3) стенда для исследований криопротонов водорода на водную и твердую поверхности, в том числе с горением;
- 4) стенда для исследований взрывов в открытом пространстве при разгерметизации крупнотоннажного оборудования.

Установка КЭИП

Цель – определение концентрационных пределов воспламенения газовых смесей.

Результат – степень взрывоопасности смесей (энергия воспламенения, пределы воспламенения) с горючими газами, являющимися продуктами технологий ВЭ (например, конгаз - смесь водорода, монооксида углерода и пара, образующаяся при конверсии метана на ХТЧ).



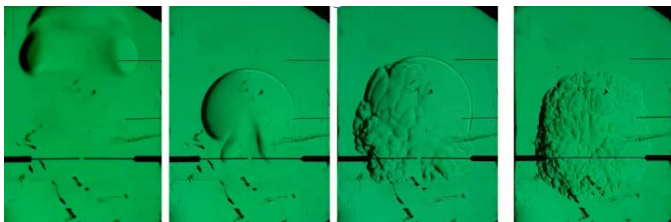
Распространение пламени в инфракрасном спектре в камере КЭИП

Стенд МУТ

Цель: исследование процессов горения в бедных водородно-воздушных смесях.

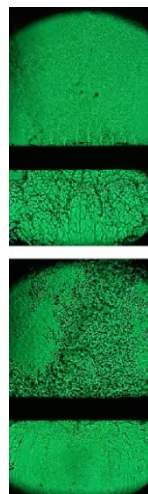
Результат:

- данные для верификации численных моделей распространения пламен,
- количественные характеристики повышения давления в зависимости от состава газовой смеси,
- параметры смягчения процессов горения при инертзации атмосферы,
- данные для разработки средств противодействия распространению и гашения пламен.

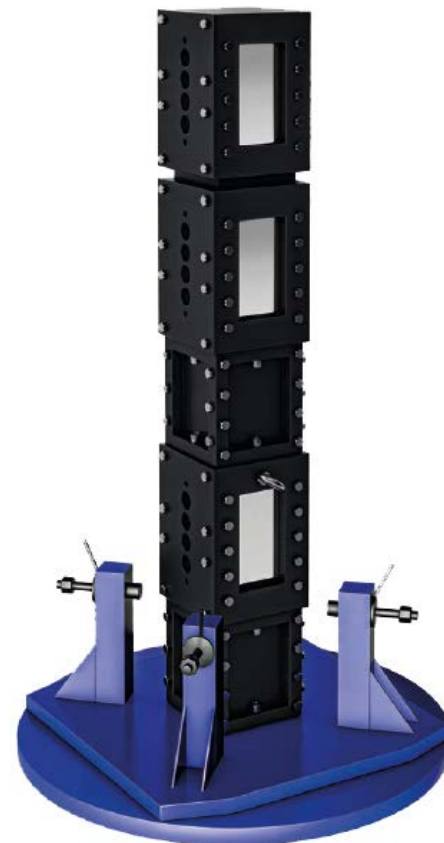


Различные режимы горения смесей водород-воздух в зависимости от содержания водорода

Отверстие R1 –
пламя не проходит



Отверстие R2 –
пламя проходит

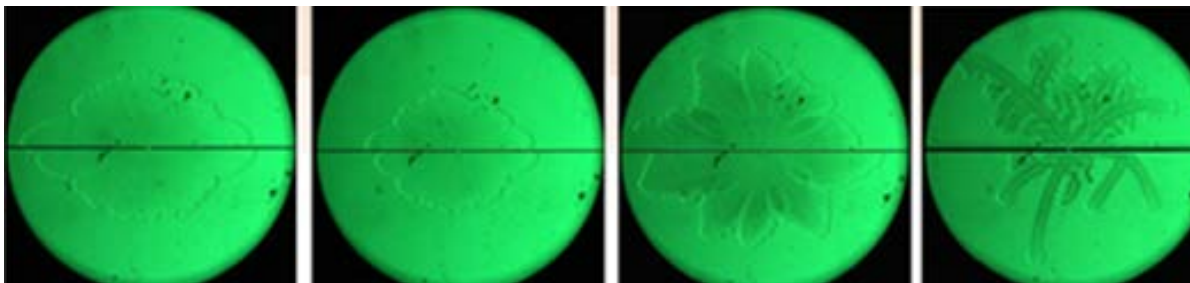
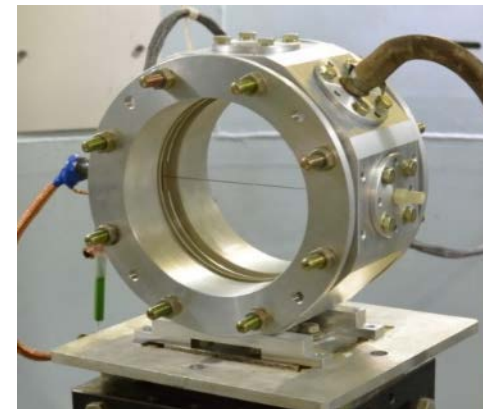


Камера МУТ-ТК

Цель: определение критических параметров системы (ширина зазора, давление), влияющих на процессы горения водородосодержащих составов.

Результат применим для:

- верификации численных моделей распространения пламени;
- разработки средств гашения пламени или снижения последствий горения.

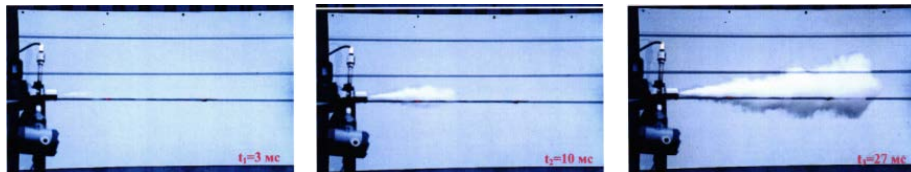


Горение составов водород-воздух при разных давлениях в зазоре

Стенд СТРУЯ

Цель: данные по длине горячей струи и тепловому потоку, данные по воздействию горящих струй на материалы для 1) валидации кодов, 2) проверки инженерных корреляций.

Результат: безопасные расстояния для персонала и оборудования (в целях снижения риска каскадных аварий), зоны образования взрывоопасных облаков.



Самовоспламенение струи H_2 (150 атм)

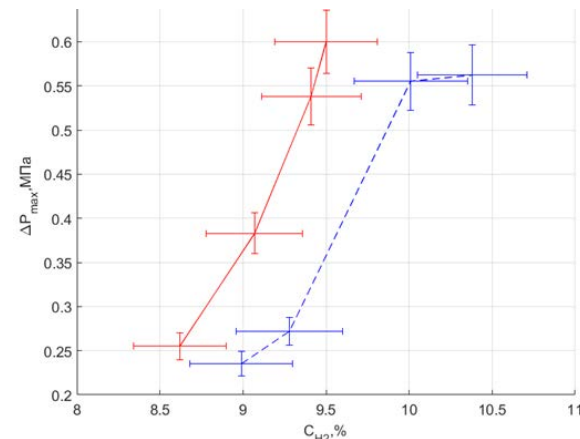
Установка БМ-Т



Цель: определение пределов ускоренного пламени, приводящего к опасным повышениям давления на фронте горения.

Результат: пределы ускоренных пламен, предельные давления при взрывах, скорости фронта пламени.

Применение: валидация моделей быстрых и детонационных пламен, консервативно опасные уровни концентраций для норм и правил



Некоторые результаты на установке БМ-Т

Установка БМ-К



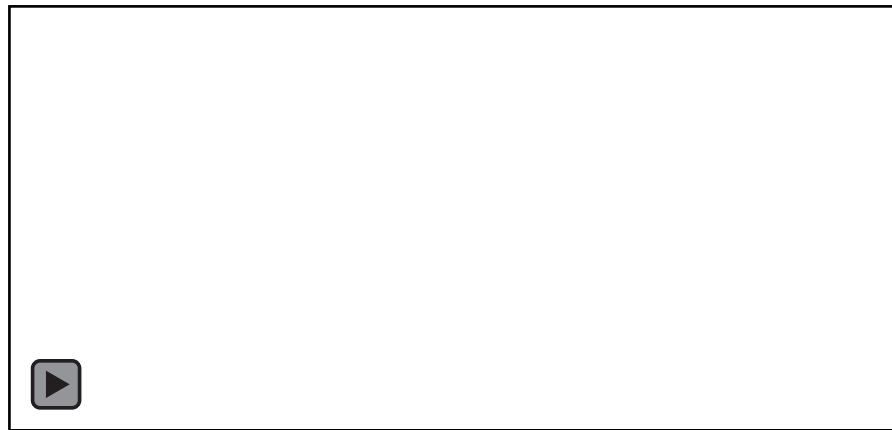
Труба с квадратным сечением длиной 12 м, перегородки двух типов с разным коэффициентом загромождения. Возможность перевода положения трубы из горизонтального в вертикальное положение, иллюминаторы для наблюдения за фронтом пламени.



Цель: степень отклонения характеристик горения стратифицированных смесей от равномерно перемешанных.

Результат: данные по давлению, скорости, форме фронта.

Применение: верификация кодов в части моделирования процессов горения неоднородных по составу смесей.



Стенд БМ-Л

Цель – исследование процессов распространения и горения водородосодержащих смесей в макете помещения-хранилища водорода.

Результат – данные по оптимизации вентиляционных систем для снижения опасности взрывов при разгерметизации баллонов с водородом или электролизеров.



Макет 2x2x2 м – стальной каркас со вставками поликарбоната для визуализации процессов горения



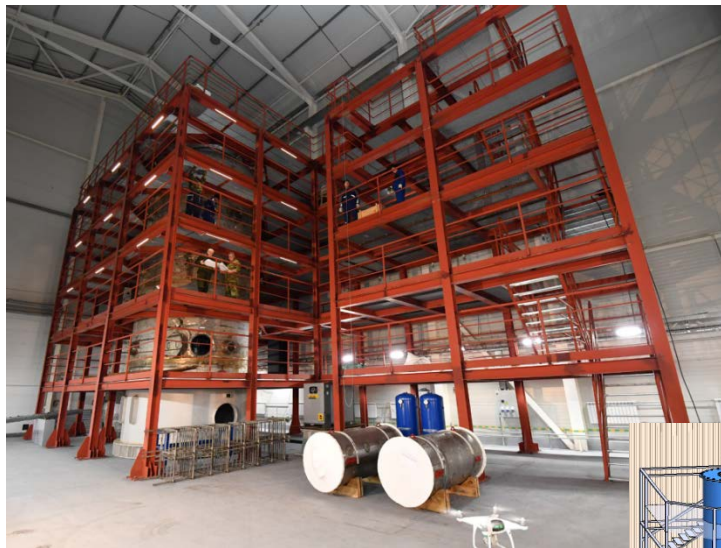
Видео

Контролируемый взрыв водорода на стенде БМ-Л (кадры с внешней видеокамеры)



Горение различных составов (объемная доля горючих газов в среднем в смеси составляет 10 % в воздухе)

Установка БМ-У

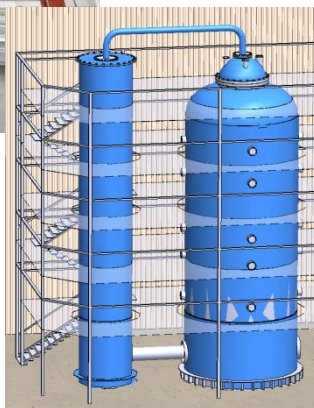


Цель и результат: экспериментальное моделирование фрагментов аварий с истечением горючих веществ, для валидации расчетных методик.

Применение расчетных методик: численное моделирование полномасштабных аварийных процессов на площадке для разработки компенсирующих мероприятий (минимизация риска).

Объекты моделирования:

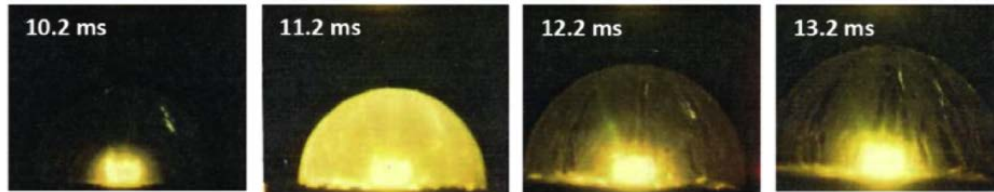
1. Зона около аппарата конверсии метана (колонна) – имитация аварии выхода конгаза;
2. Помещение с теплообменником для нагрева парометановой смеси – имитация аварии выхода пара и метана;
3. Защитная оболочка реакторов – имитация аварийного заполнения водяным паром, водородом, монооксидом углерода, работа систем безопасности



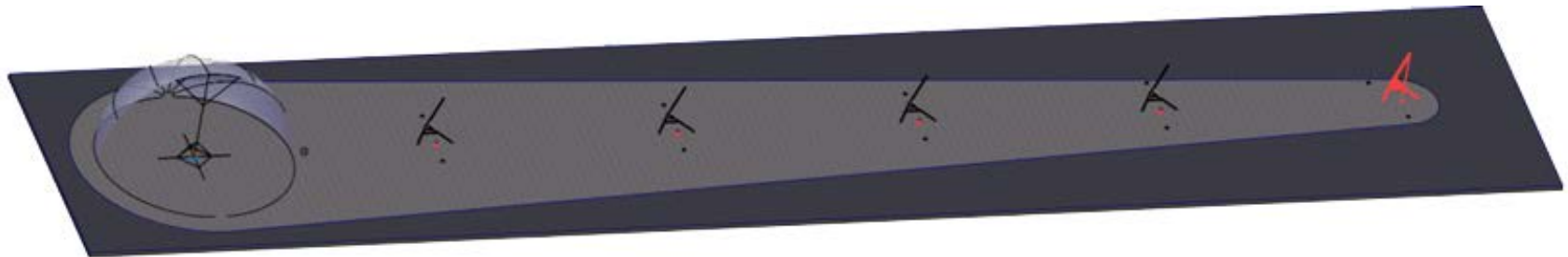
Стенд КУПОЛ

Цель и результат: исследование взрывных воздействий в открытом пространстве с наличием макетов оборудования для получения данных по барическим нагрузкам для валидации расчетных методик.

Применение расчетных методик: оценка перепадов давления и импульсов давления при воспламенении смеси,



Объекты моделирования - аппараты ХТЧ, хранилище водорода.
Моделирование – имитация крупного выброса горячего газа.

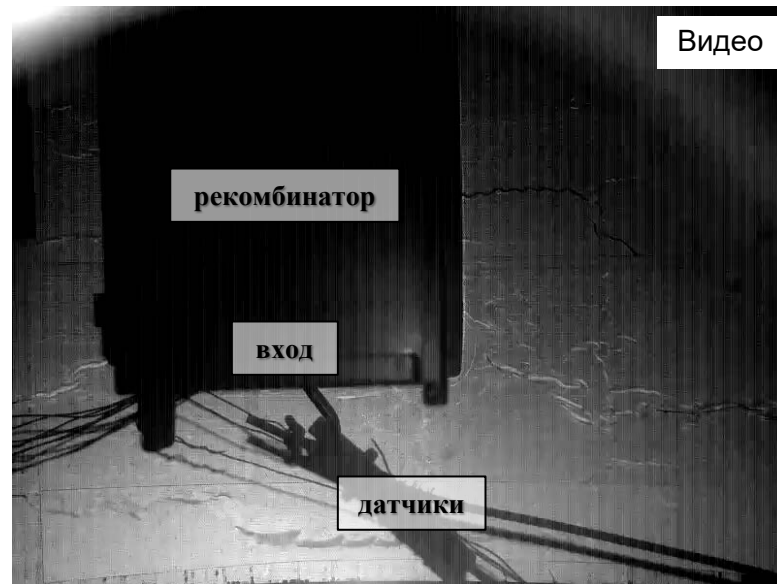
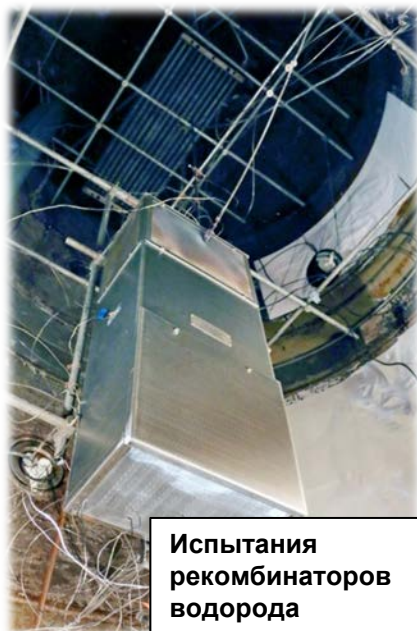


Поле 20 на 100 м, полусфера (эллипсоид) для заправки смеси 8 м диаметром. Внутри и снаружи могут быть размещены макеты оборудования, стены, перегородки. Датчики давления, датчики импульса давления, видеосъемка.

Установка БМ-П

Цель – экспериментальное и расчетное обоснование водородной безопасности на АЭС с ВВЭР.

Результат – количественные данные по протеканию аварийных процессов в макетах помещений защитной оболочки АЭС, а также данные по работе средств противодействия авариям (рекомбинаторы водорода).



Воспламенение смеси рекомбинатором

Заключение

В РФЯЦ-ВНИИТФ создан экспериментальный комплекс мирового уровня для моделирования типовых аварийных сценариев на объектах инфраструктуры «Водородной энергетики» и систем безопасности АЭС, на котором проводятся уникальные эксперименты с целью получения данных для валидации газодинамических программных комплексов.

