

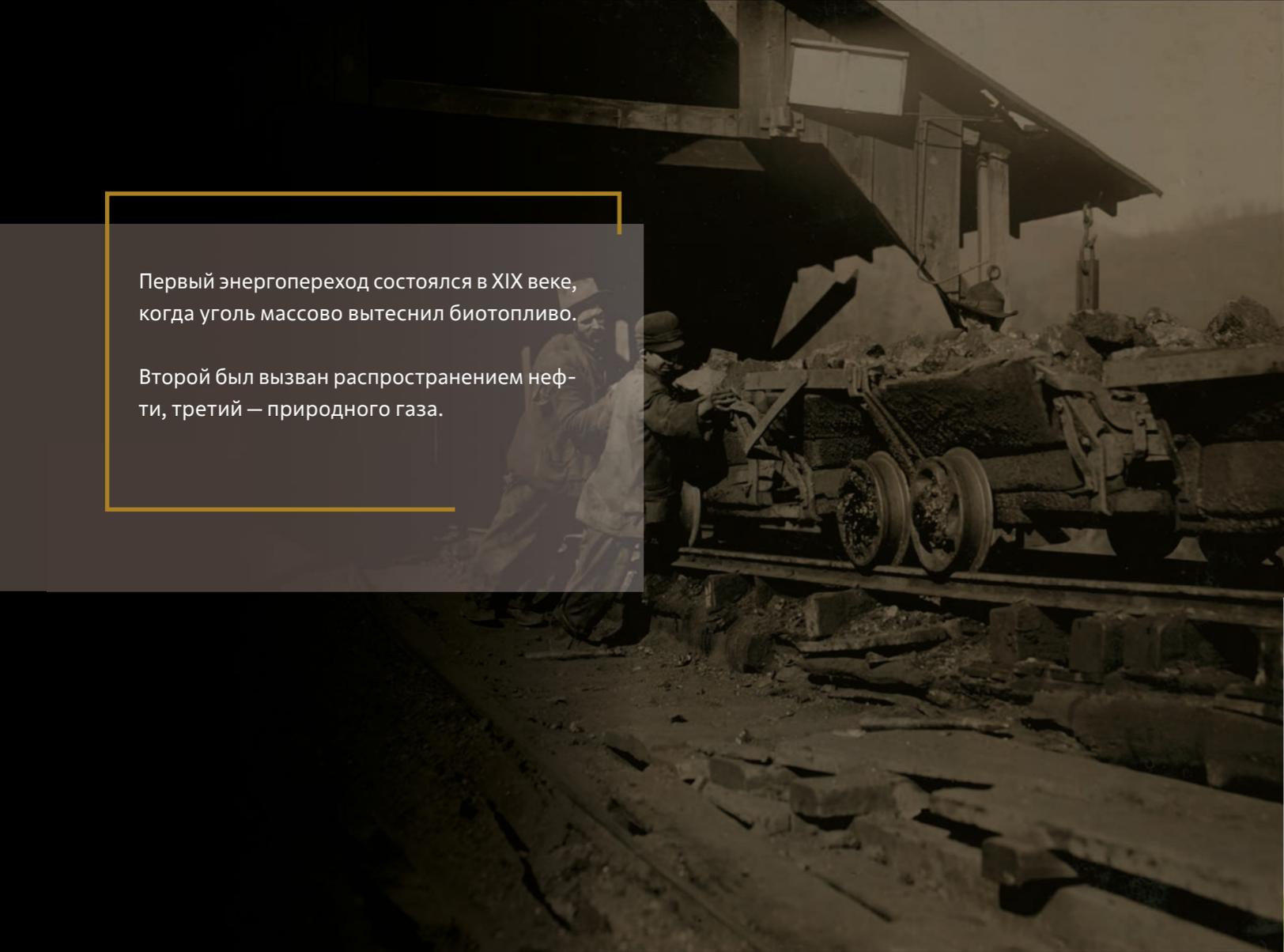


РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

ТЕХНОЛОГИИ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

экспериментальная база по
безопасности

vniitf.ru



Первый энергопереход состоялся в XIX веке, когда уголь массово вытеснил биотопливо.

Второй был вызван распространением нефти, третий — природного газа.

Мы живем в эпоху четвертого энергоперехода, который нацелен на значительное уменьшение углеродного следа, оказывающего отрицательное влияние на климат и экосистему планеты Земля.

МИР НАХОДИТСЯ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ДВИЖЕНИЯ К БЕЗУГЛЕРОДНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Именно по этой причине в настоящее время в мире делают ставку на возобновляемые источники энергии, наблюдается рост интереса к использованию водорода, как эффективного экологически чистого энергоносителя. Однако проблема обеспечения водородной безопасности все ещё остается актуальной.





Несмотря на почти вековую историю исследований, остаются «пробелы» в знаниях по аварийным процессам с масштабным истечением водорода. Об этом свидетельствуют произошедшие аварии на зарубежных площадках (взрыв стандартного трейлера с водородом Muskingum River Power Plant's Unit 5 (США) 08.01.2007, взрыв резервуара с водородом Gangwon Technopark восточное побережье Gangneung (Ю. Корея) 24.05.2019, Взрыв водорода на кремниевом заводе в США 19.12.2019).

2011

СВЕЖА В ПАМЯТИ АВАРИЯ НА АЭС ФУКУСИМА



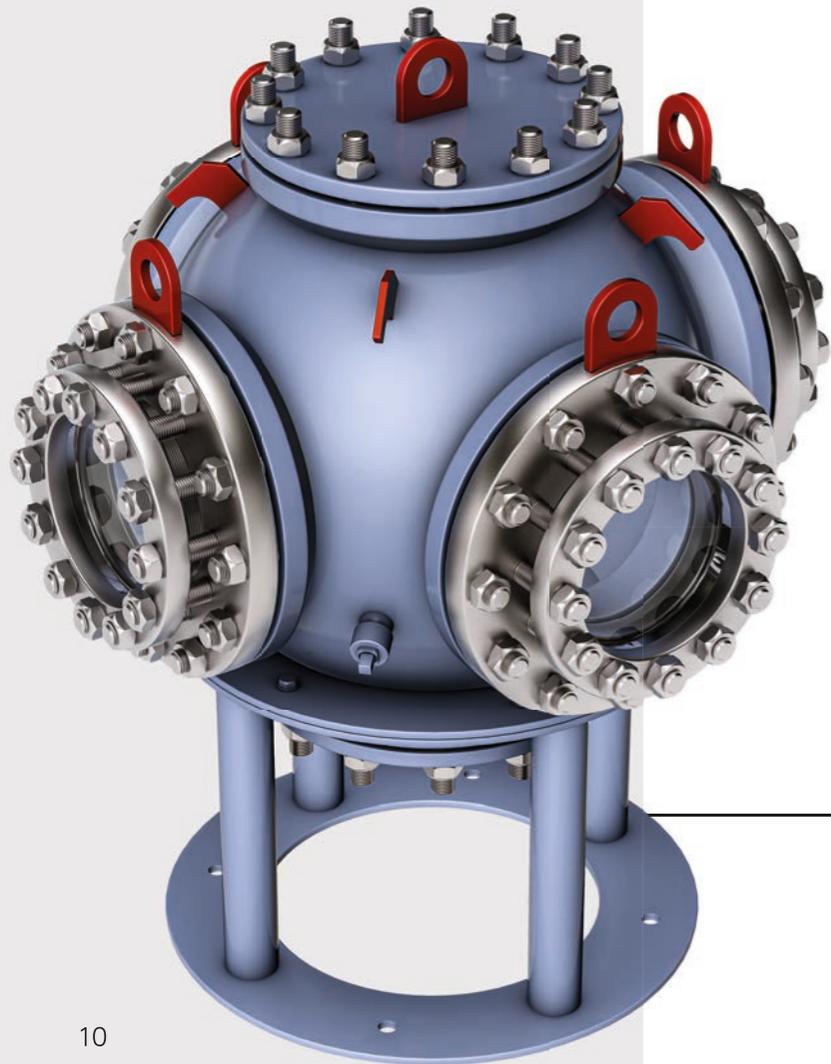
Во ВНИИТФ создан и развивается экспериментальный комплекс для решения задач по обеспечению безопасности на объектах водородной энергетики.

В этом издании представлены лабораторные и полигонные установки, на которых уже сейчас экспериментаторы получают ценные результаты.

С развитием водородной энергетики придется иметь дело с массовым производством, хранением, перевозкой и потреблением водорода, при этом необходимо создать культуру безопасности, такую как, например, в атомной промышленности. Разрабатываемые новые технологии для водородной энергетики слабо исследованы, в том числе в вопросах безопасности их применения и использования.

Необходимо создать новые инструменты анализа пожаро- и взрывобезопасности. Необходимы новые достоверные данные для обоснования безопасности при внедрении новых технологий. Такие данные можно получить только при наличии развитой экспериментальной и расчетной базы. Этими возможностями обладает РФЯЦ-ВНИИТФ.

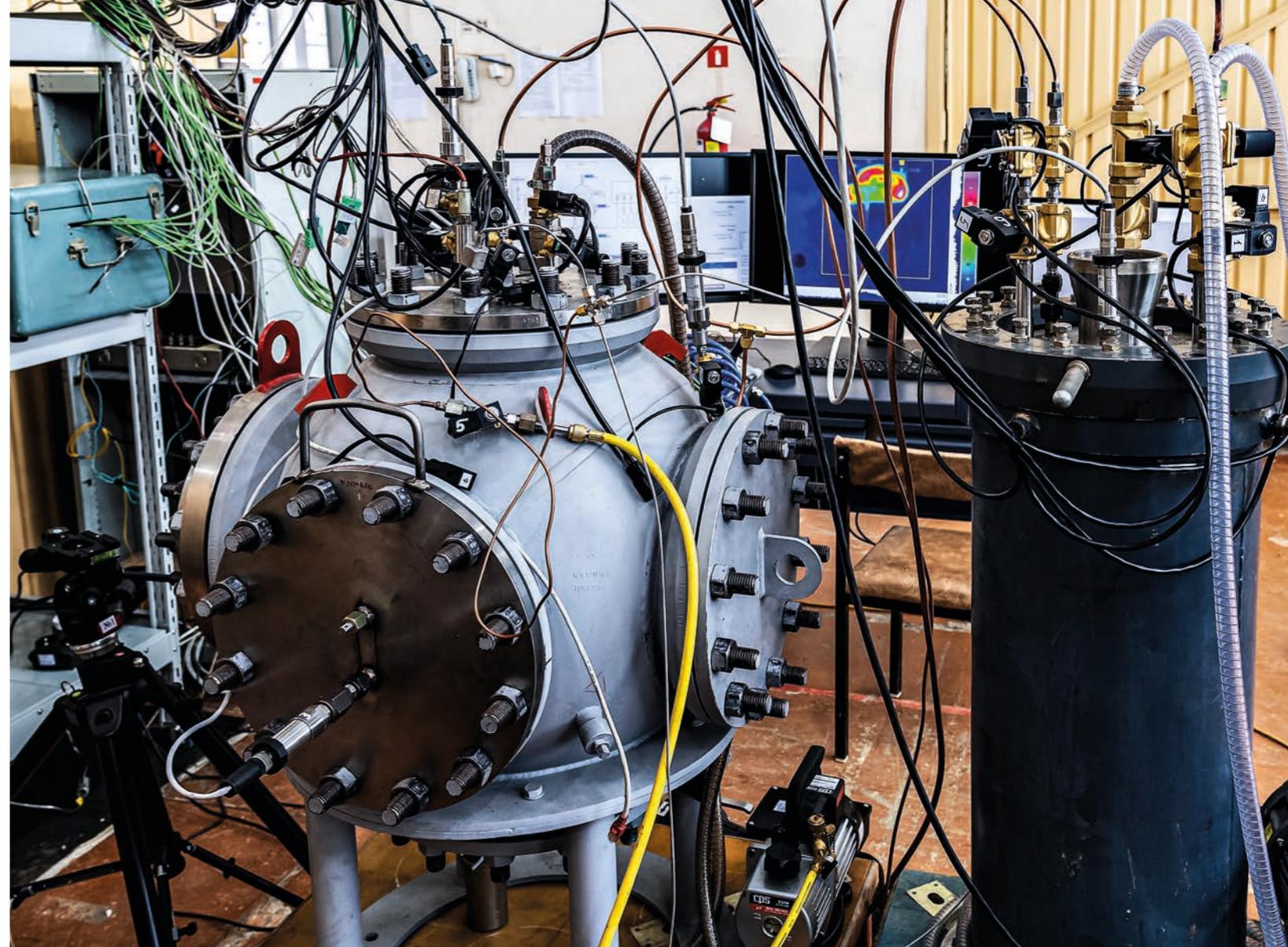




КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДЕЛОВ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

Комплекс КЭИП предназначен для экспериментального определения концентрационных пределов воспламенения и распространения смесей водород-метан-монооксид углерода-водяной пар-воздух при различных температурах и давлениях. Комплекс включает в себя пять модификаций камер различных форм и объемов от 2 до 100 литров. В двух модификациях предусмотрены окна с сапфировыми стеклами для визуализации процессов горения газовых смесей.

Результаты экспериментов важны для оценки пожаро-взрывобезопасности смесей, характерных для площадок производства и хранения водорода.



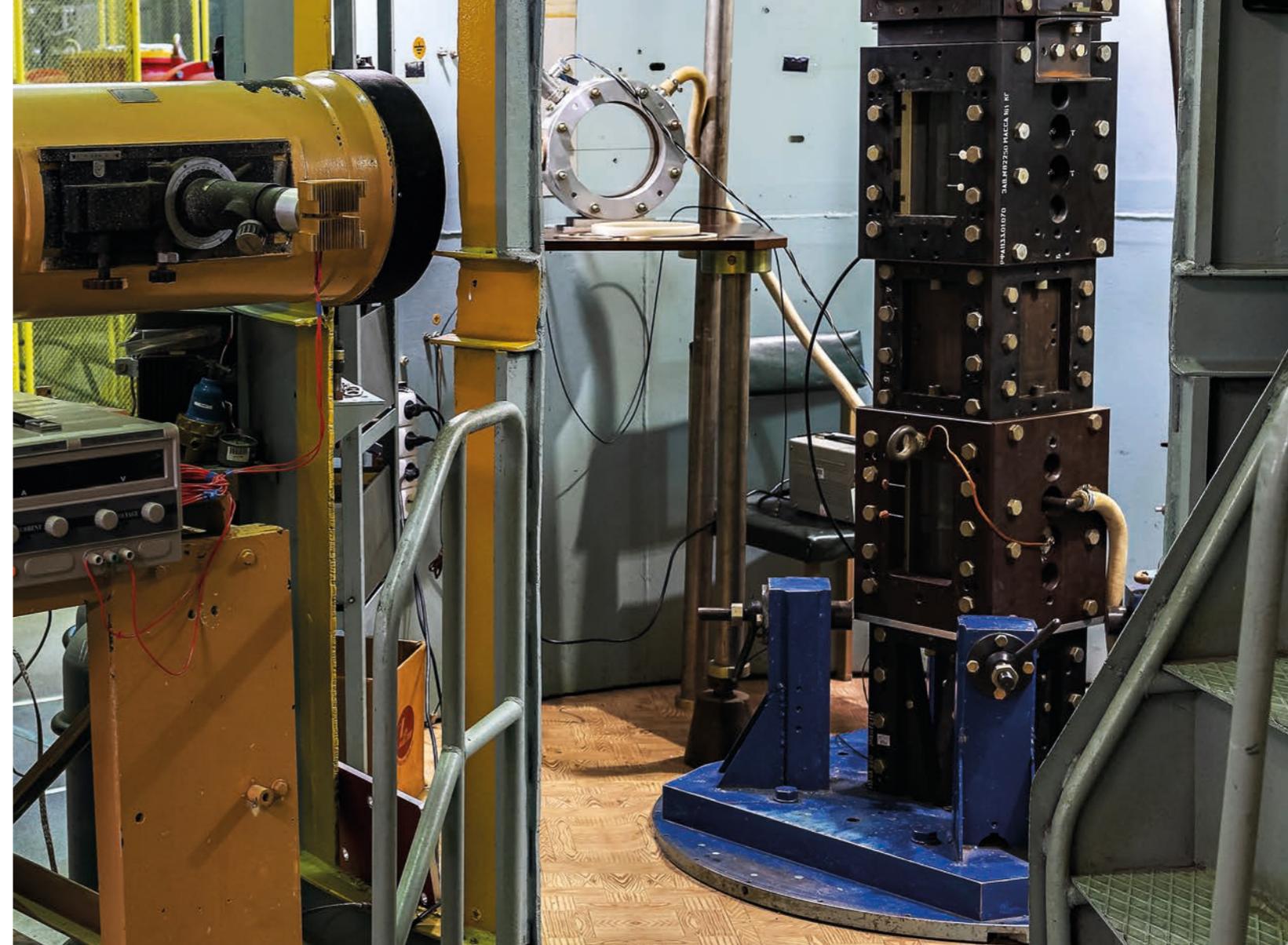


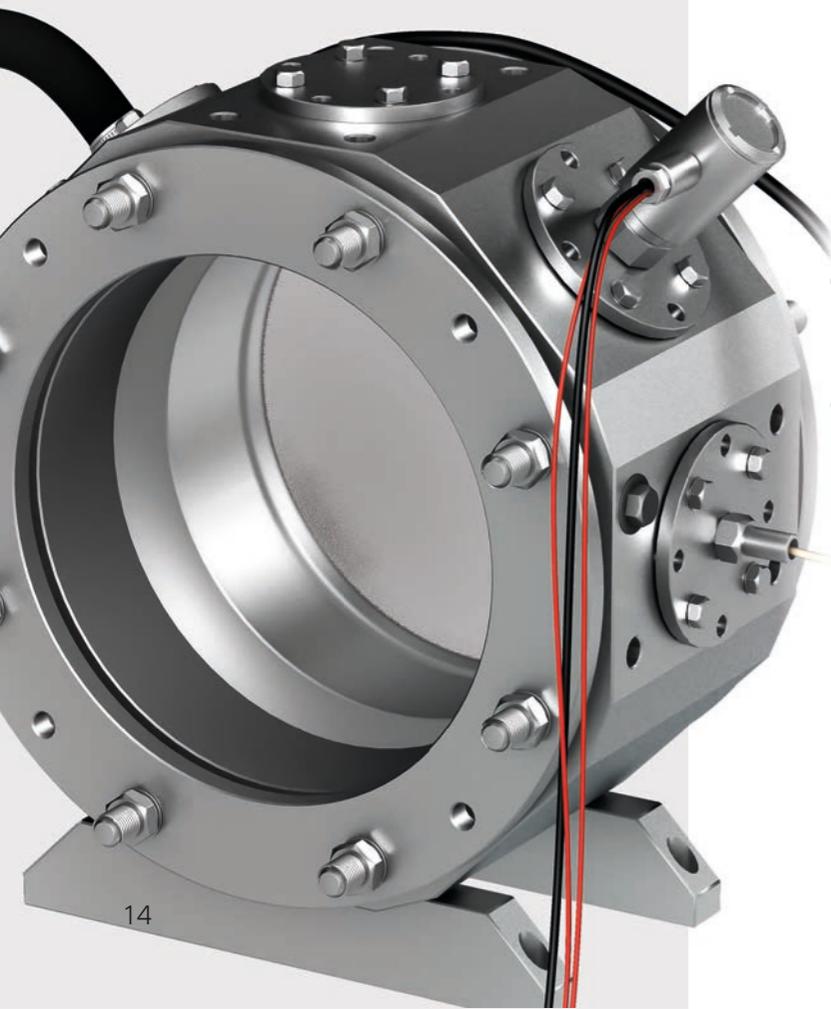
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ УДАРНАЯ ТРУБА

Стенд МУТ – это вертикально ориентированная труба квадратного сечения 138×138 мм с набором высоты трубы до 4 м. Труба состоит из отсеков, в которых имеются оптические стекла для визуального наблюдения за фронтом пламени с помощью теневого прибора, который визуализирует пламя в видимом спектре.

На стенде МУТ:

- определяются границы режимов распространения пламен вверх и вниз в гомогенных водородно-воздушных смесях;
- исследуются параметры отверстий, при которых происходит гашение пламен для гомогенных (однородных) водородно-воздушных смесей.



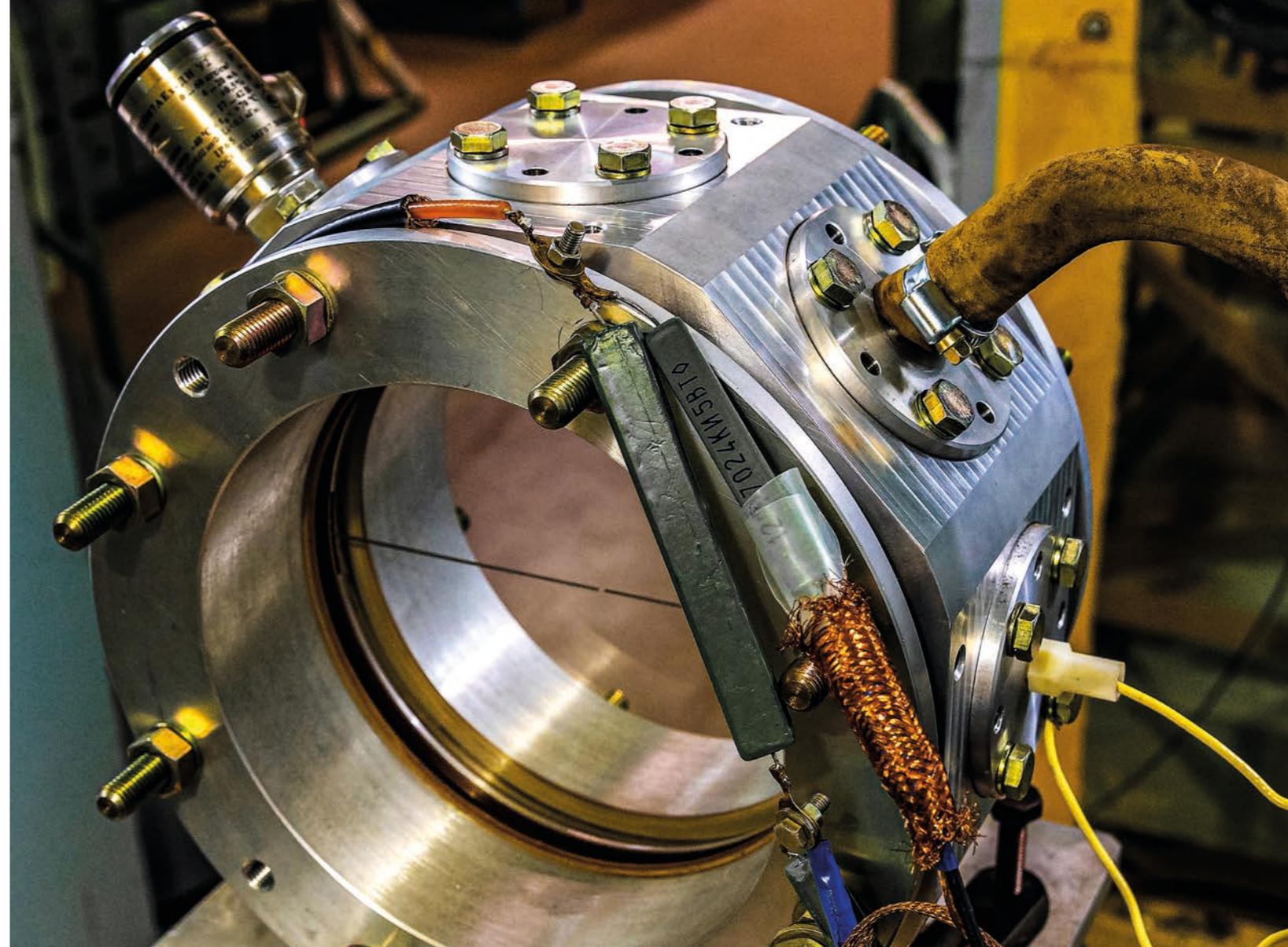


МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ УДАРНАЯ ТРУБА ТРАНСФОРМИРУЕМАЯ КАМЕРА

Стенд МУТ-ТК – камера диаметром ≈ 200 мм, состоящая из двух прозрачных цилиндрических окон из кварцевого стекла с изменяемым зазором между стеклами.

На стенде МУТ-ТК:

- экспериментально исследуются процессы горения водородовоздушных смесей в условиях ограниченной конвекции;
- определяются предельные величины зазора между пластинами из кварцевого стекла, при котором происходит затухание пламени или переход горения от пламени с характерными двухмерными структурами в свободное пламя.





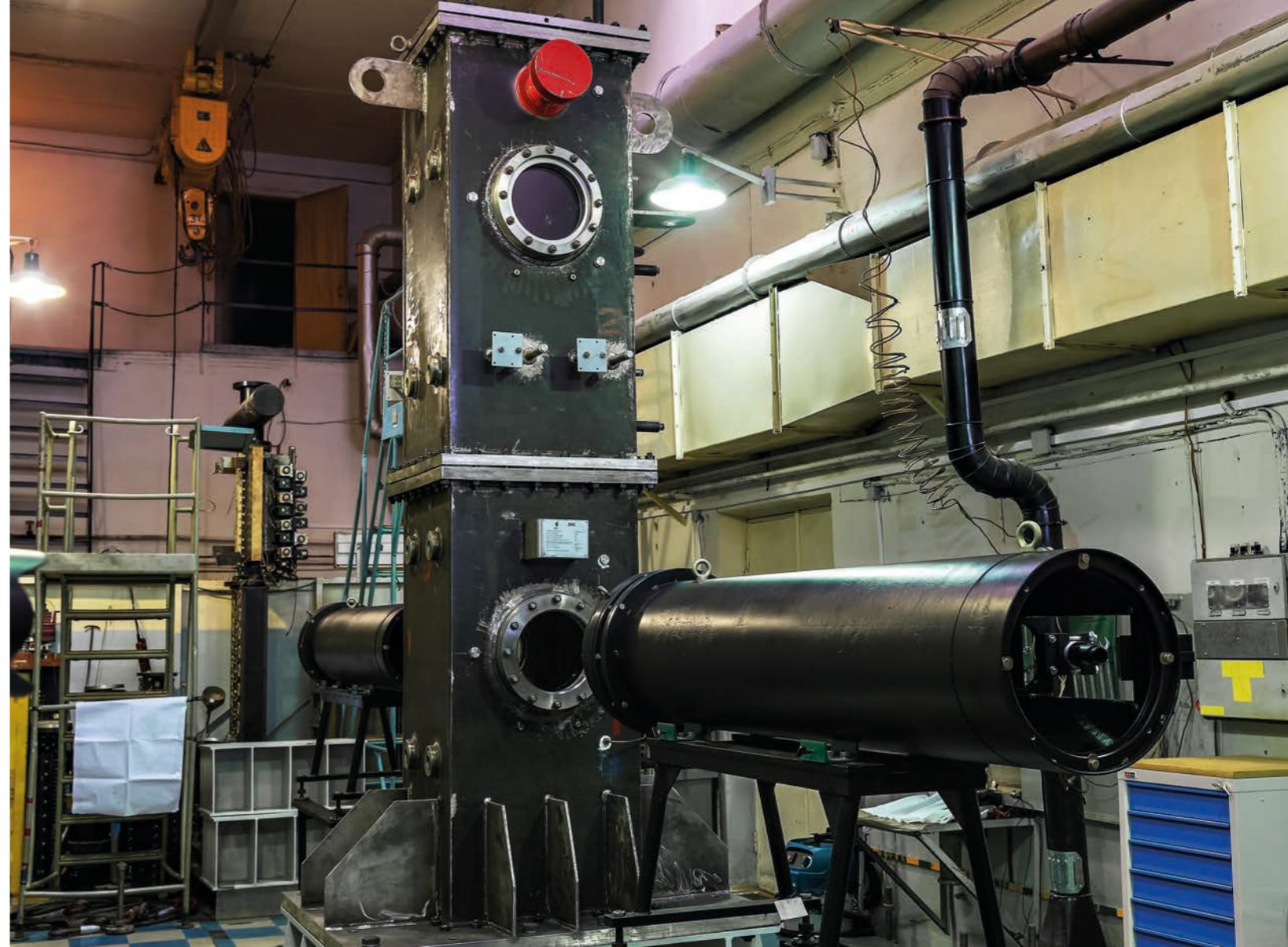
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ УДАРНАЯ ТРУБА ПРОЧНАЯ КАМЕРА

В установке МУТ-ПК исследуются процессы горения водородо-содержащих смесей с учетом масштабных эффектов с детальной визуализацией фронтов горения. Установка представляет собой трубу квадратного сечения 600 × 600 мм длиной 3 м.

На установке МУТ-ПК:

- проведены реперные эксперименты по исследованию горения обедненных водородно-воздушных смесей. Отработана система визуализации пламени в ультрафиолетовом спектре с помощью электронно-оптического преобразователя и скоростной видеокамеры.

Задачами экспериментальных исследований на установках семейства МУТ являются получение данных о процессе развития и распространения фронта пламени с последующим сравнением результатов с численными расчетами для верификации программных кодов, а также выявление характерных особенностей горения смесей и их различий для разных масштабов.



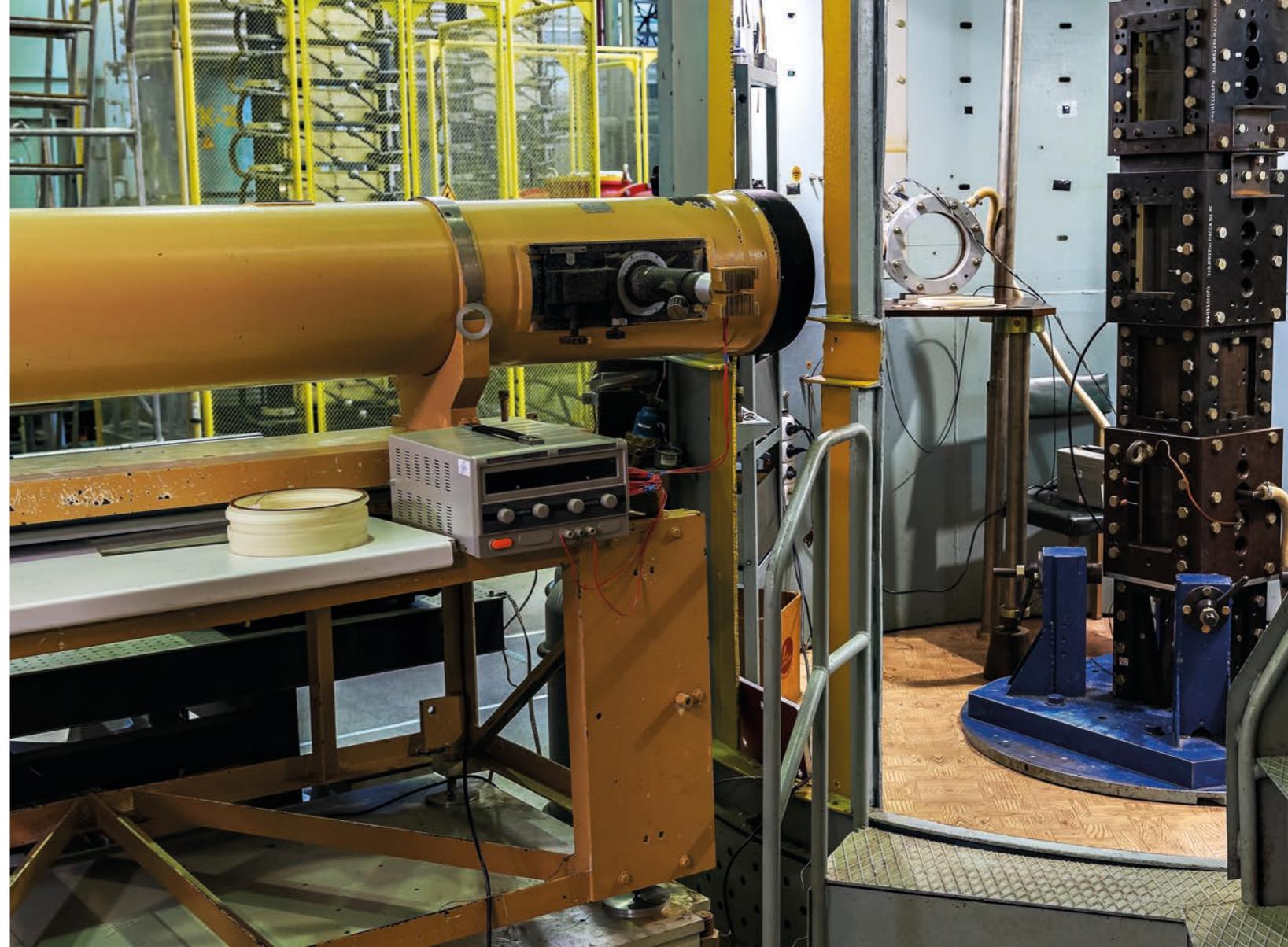


ТЕНЕВОЙ ПРИБОР

При помощи теневых приборов получают теневые изображения шлирен-методом. По чувствительности шлирен-метод превосходит другие, в том числе интерференционные методы. Шлирен-метод позволяет увидеть любое изменение плотности в прозрачных средах.

Данный метод позволяет увидеть любое изменение плотности в прозрачных средах и наблюдать конвекцию.

Шлирен-метод широко применяется в экспериментальных исследованиях газодинамических течений в ударных и аэродинамических трубах, перемешивания газов, процессов теплообмена, баллистики и т.п., позволяя повысить информативность и достоверность получаемых экспериментальных результатов.





СТРУЯ

На стенде под наименованием «СТРУЯ» проводится исследование струйных истечений из сосудов под давлением, в том числе с горением.

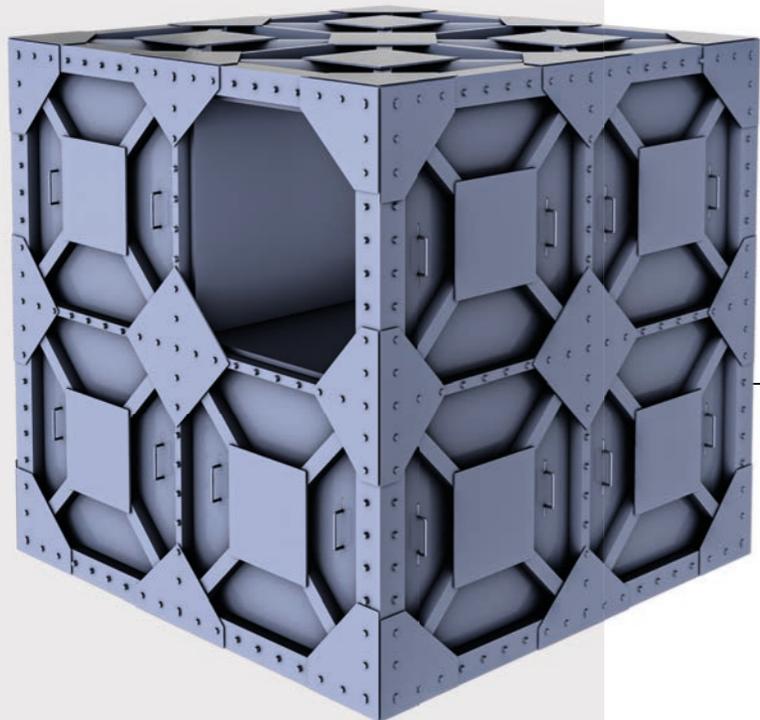
Основным результатом экспериментов являются данные по зонам образования взрывоопасных облаков и безопасным расстояниям для персонала и оборудования, в том числе в целях снижения риска каскадных аварий при плотном размещении на промышленных площадках ресиверов, баллонов (т.е. однотипных сосудов под давлением).



СТРУЯ-700

Современные газовые баллоны могут хранить водород под давлением до 700 атм. Для оценки воздействий при разгерметизации таких баллонов во ВНИИТФ адаптируется легкогазовая пушка.

На установке, помимо зоны разлета газовой струи, будут определены параметры её излучения в случае горения, а также условия самовоспламенения.



БОЛЬШОЙ МАКЕТ ЛЕГКИЙ

Стенд БМ-Л предназначен для исследования процессов распространения, вентилирования и горения водородосодержащих смесей. Данная установка представляет собой полый куб размером $2 \times 2 \times 2$ м, с вентиляционными отверстиями сверху и снизу.

Результаты экспериментов представляют интерес для верификации расчетных кодов, а также для оптимизации вентиляционных систем с целью снижения опасности взрывов при разгерметизации баллонов с водородом или в случае аварий на электролизном участке производства водорода.





БОЛЬШОЙ МАКЕТ ТРУБА

Установка БМ-Т — это труба диаметром 325 мм и длиной 6 м. В ней проводятся исследования процессов ускорения пламен в однородных смесях, приводящих к значительному повышению давления, что является определяющим фактором степени разрушений при взрывах.

Уникальность установки заключается в возможности проведения экспериментов в горизонтальном и вертикальном положении трубы. В прошлом году впервые в мире обнаружено влияние гравитации на смещение предела ускорения пламен в смеси водород-воздух.



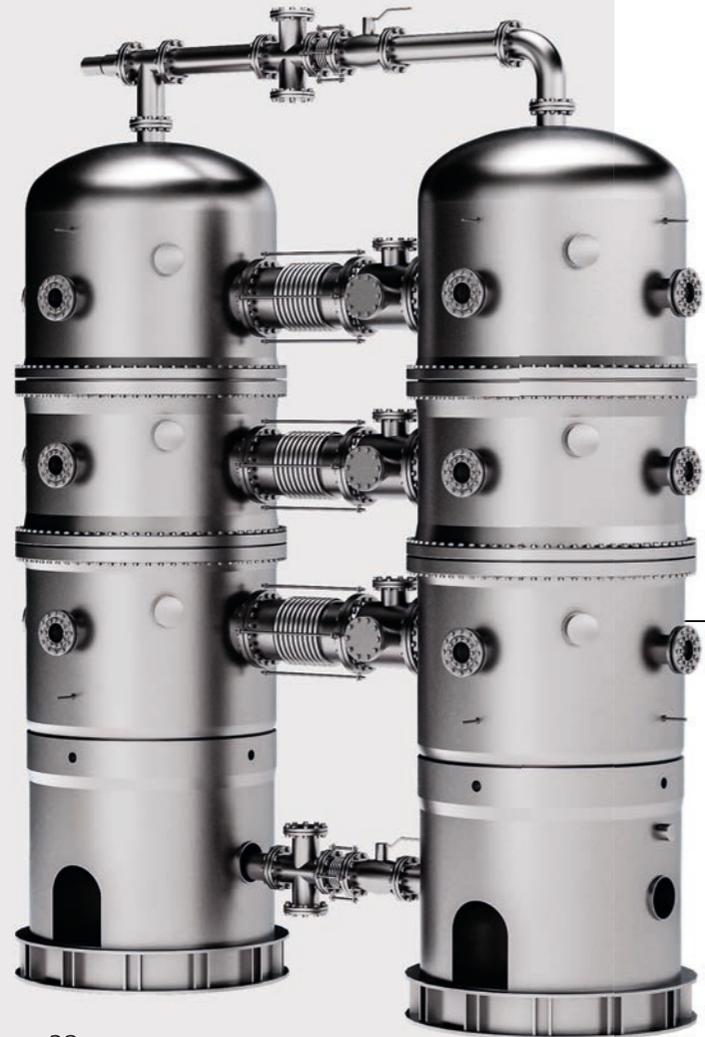


БОЛЬШОЙ МАКЕТ КАНАЛ

Если на установке БМ-Т исследуются однородно перемешанные смеси, то на установке БМ-К длиной 12 м с квадратным сечением 600 × 600 мм возможно создать неоднородные смеси. Поскольку водород является легким газом, то при его истечении в воздух происходит неравномерное распределение, так называемая стратификация.

Установка позволит определить отличия параметров горения однородных и стратифицированных смесей. Результаты экспериментов также полезны для верификации моделей горения.





БОЛЬШОЙ МАКЕТ ПРОЧНЫЙ

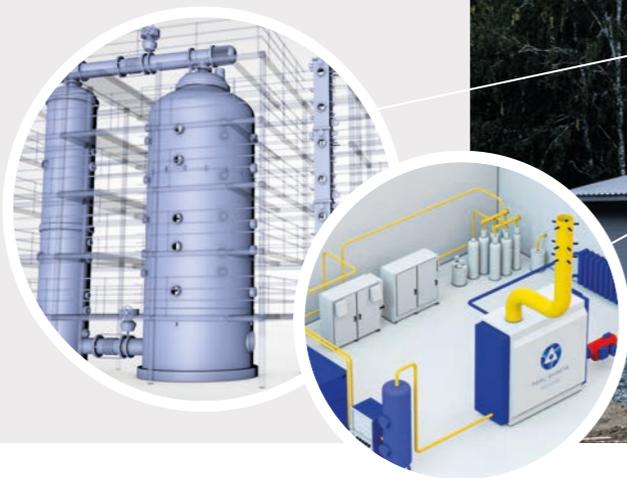
Установка БМ-П, состоящая из двух камер высотой 5 м, диаметром 2 м, соединенными между собой переходными трубами и сильфонами. В установке исследуется распространение и горение водородосодержащих парогазовых смесей, которые могут образовываться при тяжелых авариях на атомных станциях с водо-водяными энергетическими реакторами.

В настоящее время установка задействована для испытаний рекомбинаторов водорода, которые способствуют снижению концентрации водорода в смеси под защитной оболочкой реактора. Результаты работ на этой установке также полезны для направления «водородная энергетика».



ЗДАНИЕ ПОД УСТАНОВКИ БМ-УА, БМ-УС, БМ-К

На одной из площадок ВНИИТФ было построено утепленное здание для размещения в нем новых уникальных установок для проведения масштабных испытаний технологических решений при производстве и хранении водорода. В этом году будет изготовлена установка БМ-У (Большой Макет – Универсальный), в которой будут отработываться аварийные сценарии при разгерметизации крупных объектов водородной инфраструктуры – газгольдеров, ресиверов, конверсионных аппаратов и др.



В здании будет размещен участок электролизного производства водорода в целях оптимизации отечественной технологии электролиза, а также для выявления потенциально уязвимых с точки зрения безопасности мест.



На безопасном удалении от здания на открытом пространстве уже в этом году будут размещены стенды для исследований криогенных проливов, взрывных воздействий при крупных выбросах водорода, стенды для испытаний водородных баллонов.

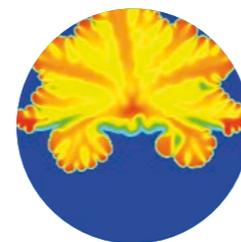
В ближайшей перспективе перечисленные установки и стенды будут использоваться для испытаний и сертификации новых российских технологий водородной энергетики.

Результаты, получаемые на установках и стендах, удается с приемлемой точностью воспроизводить численным кодом ВНИИТФ в широком диапазоне концентраций водорода в воздухе, что является уникальным результатом в мире!

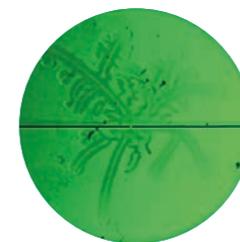
На следующей стадии работ планируется провести верификацию кода для случаев ускорения пламен и детонационных режимов. Код необходим для точных оценок перепадов давления при горении, которое может возникнуть в случае потенциальной аварии.

Создается программа для быстрой оценки взрывобезопасности и анализа наносимого ущерба от аварийных ситуаций. Для этого разрабатываются упрощенные инженерные коды опасных процессов, средства анализа деревьев отказов.

К 2024 г. специалисты ВНИИТФ выпустят первую версию программы, с помощью которой можно будет оценить зоны поражений и безопасные расстояния, а также количественно оценить меру риска конкретных технологических решений объектов водородной инфраструктуры.



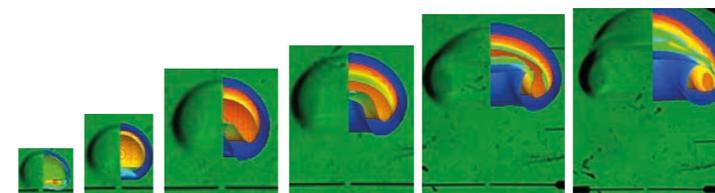
расчетный результат



фактический результат

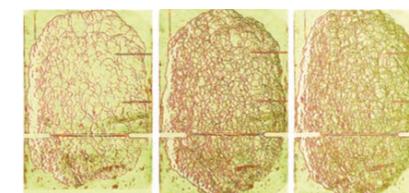


расчетный результат



■ расчетный результат

■ фактический результат



фактический результат

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разрабатываемые технологии водородной энергетики слабо исследованы на предмет безопасности, поэтому необходимы инструменты анализа пожаровзрывобезопасности на основе достоверных данных, которые можно получить с помощью развитой экспериментальной и расчетной базы. Такими возможностями обладает РФЯЦ-ВНИИТФ.

РФЯЦ-ВНИИТФ предлагает партнерам совместные работы в области исследований, расчетов и выработки рекомендаций по обеспечению безопасности при производстве, хранении, перевозке и потреблении водорода.

Совместные исследования на лабораторных и полигонных установках, а также использование программных продуктов, позволит оценить зоны поражений и безопасных расстояний, количественно оценить меру риска конкретных технологических решений объектов водородной инфраструктуры Заказчика.

Результат совместных работ позволит существенно снизить риск возникновения аварийных ситуаций на объектах водородной энергетики, что, в свою очередь, обеспечит устойчивый экономический рост этой сферы и привлекательность российских технологий на международном рынке.



КОНТАКТЫ

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева, д. 13, а/я 245
ФГУП «РФЯЦ–ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»

Иванов Анатолий Семенович

+7 (351-46) 5-25-16

+7 922 233 3018

Безгодов Евгений Витальевич

+7 (351-46) 5-41-57

