

Редактор выпуска – Н.Я. ДОРОЖКИН,
научный обозреватель
«Калининградской правды»



ГОРОД НАУКИ



ТЕМАТИЧЕСКОЕ
ПРИЛОЖЕНИЕ
Выпуск №125

«Зарево» в космосе

АНДРЕЙ ПЕКЛЕВСКИЙ, КАНД. ФИЗ.-МАТ. НАУК

■ «Зарево» – первый космический эксперимент (КЭ) по физике горения в отечественной программе научно-прикладных исследований и экспериментов в космосе. ФГУП ЦНИИмаш являлся постановщиком КЭ и обеспечивал взаимодействие всех участников проекта.

Условия невесомости, или микрогравитации, исключают образование конвекционных потоков в жидкостях и газах, поэтому проведение научных экспериментов на борту Международной космической станции (МКС) даёт исследователям в области физики горения, физики жидкости и фазовых переходов уникальные возможности по наблюдению физических явлений и процессов, детальному изучению механизмов их образования.

В 2017 году группой учёных из Института химической физики имени Н.Н. Семёнова (ИХФ РАН) под руководством д.ф.-м.н. С.М. Фролова в рамках совместного российско-американского проекта по исследованию холодного горения углеводородов в условиях микрогравитации на американском сегменте (АС) МКС был проведён КЭ «Зарево». С российской стороны в проведении эксперимента участвовал космонавт Олег Новицкий.

Термин «холоднопламенное» горение был введён американскими исследователями для объяснения эффекта медленного беспламенного догорания капли н-гептана в воздухе после радиационного погасания первоначально очень яркого горячего пламени вокруг неё – эффекта, впервые обнаруженного в КЭ по погасанию пламени «FLEX» (FlameExtinguishmentExperiments). Опыт был настолько успешным, что НАСА провело целую серию КЭ FLEX. Вершиной эволюции стал проект по исследованию холодных пламен CFI (CoolFlamesInvestigation). НАСА приняло решение сделать проект международным и пригласить к участию в нём российских учёных, в обмен на согласие ГК «Роскосмос» задействовать российского космонавта в КЭ на борту АС МКС.

Ответственность за своевременное планирование, подготовку и проведение совместных экспериментов на МКС возложена Роскосмосом на ЦНИИмаш, и сотрудниками института была проведена большая работа. При проведении совместных КЭ на борту МКС российские учёные имеют полный и гарантированный допуск ко всем материалам: исходным и экспериментальным данным и научной аппаратуре (НА), условиям проведения экспериментов, имеют возможность давать рекомендации по режимам опытных работ.

Группу американских исследователей, в которую вошли профессор нескольких американских университетов, специалисты из научных центров и лабораторий, возглавил профессор Форман Вильямс из Калифорнийского университета в Сан-Диего. В российскую научную группу вошли сотрудники ИХФ РАН под руководством заведующего отделом горения и взрыва д.ф.-м.н. С.М. Фролова. В согласованном сторонами

научном протоколе о намерении проведения совместного КЭ проводился краткий план эксперимента, были записаны задачи для российской группы исследователей.

Эти данные составили основу российского КЭ под названием «Холоднопламенное горение капель углеводородов в условиях микрогравитации» (шифр «Зарево»), включённого в «Долгосрочную программу научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых к проведению на российском сегменте МКС до 2024 года».

Специалистами ЦНИИмаша были разработаны и согласованы с заинтересованными организациями техническое задание на КЭ, его основные методические положения и программа. Для включения эксперимента в Программу бортовой реализации на МКС необходимо было разработать всю необходимую документацию на нормативной базе, не предполагающей совместных проектов, но в строгом соответствии с ней, чтобы получить согласие смежников.

КЭ был реализован в период с 9 марта по 15 сентября 2017 года в ходе выполнения программы экспедиции МКС-50,51,52,53. Было проведено 302 опыта с различными составами горючих смесей, сгорание которых производилось в газовой атмосфере с варьируемыми составом и параметрами (давлением и т. д.), 226 из них признаны успешно завершёнными. Основной объект исследований – холоднопламенное горение капель тяжёлых индивидуальных углеводородов (н-додекана, фарнезана (2,6,10-триметилдодекана), изо-додекана (2,2,4,6,6-пентаметилгептана) в условиях микрогравитации.



Многорежимная печь MDCA.

Задачами КЭ «Зарево» являлись:

- экспериментальное изучение процесса холодного горения капель указанных углеводородных горючих и раз-

работка методики экспресс-анализа экспериментальных данных на основе расчётно-теоретических исследований холодного горения крупной капли н-гептана в воздухе при давлении в одну атмосферу для сравнения полученных результатов с экспериментальными данными;

- выдача научно обоснованных рекомендаций американским коллегам по изменению режимов выполнения КЭ;

- получение экспериментальных данных для разработки и верификации детальных, сокращённых и глобальных кинетических механизмов окисления и горения н-додекана, фарнезана и изо-додекана.

НА, которая использовалась в этом КЭ, по сложности и неординарности заложенных в ней идей, по оригинальности исполнения не уступала идеям, заложенным в сам эксперимент. Сложность оборудования была связана с необходимостью обеспечения целого ряда условий при проведении КЭ:

- условия невесомости должны были быть близкими к идеальным, то есть необходимо было компенсировать микроускорения, присутствующие на МКС;

- полный гарантированный контроль над параметрами горючего и герметичностью установки, в которой происходило горение – степень безопасности экипажа и станции при сжигании горючих веществ в газовой среде с заданными параметрами должна быть максимально возможной;
- экипаж должен был иметь возможность регулировать параметры объекта исследований – тип жидкости, размер капли и т. д., и газовой атмосферы – процентное содержание компонентов газовой среды, давление и т. д., в которой осуществлялось горение;

- наблюдение и регистрация процесса горения должны были быть максимально автоматизированы и детализированы; кроме того, в ходе эксперимента необходимо было обеспечить опе-

ративный контроль получаемых результатов и соответствующую обратную связь.

Процесс беспламенного горения осуществлялся в установке CIR (CombustionIntegratedRack), вклю-



Установка CIR, размещённая на платформе ARIS. В центре установки CIR расположена печь MDCA.

чающей камеру-печь MDCA (Multi-DropletCombustionApparatus) весом 254 килограмма и обеспечивающее оборудование (ёмкости с горючим, трубопроводы и т. д.). Объём камеры в установке CIR, в которой производилось сжигание капель углеводородов, составляет 100 литров. В ней предусмотрены возможности моделирования разнообразных условий протекания процесса горения: по давлению, температуре и составу газовой смеси, размеру капли и т. д. В камере можно воссоздать условия, характерные, например, для Марса и Луны, а также практически любые по заданию экспериментатора.

Установка обеспечивает безопасность при функционировании на орбите и позволяет проводить длительные исследования, проверки и испытания различных технологий создания капли, её поджига, удержания в поле зрения видеокамер и другие. К достоинствам CIR, которые обеспечивают широкий спектр её применения, можно отнести простоту и многовариантность диагностики, возможность настройки программного обеспечения под текущую работу. Кроме того, конструкция обеспечивает механическое сопряжение камеры как пассивного объекта с виброизолирующей платформой активного типа ARIS (ActiveRackIsolationSystem).

Необходимость установки платформы ARIS вызвана тем, что реальный полёт МКС сопровождается вибрациями – микроускорениями, вызванными перемещениями экипажа по станции, работой двигателей коррекции и т. д. Для проведения КЭ «Зарево» требовалось обеспечить идеальную невесо-

мость, в которой микроускорения исключены. Платформа выполняла функцию буфера между экспериментальным оборудованием и источниками микроускорений. В состав платформы ARIS входит шкаф EXPRESS RackNo. 2, в который помещают установку CIR для полной изоляции от внешних воздействий.

Платформа ARIS включает также систему ARIS ISS CharacterizationExperiment, которая отслеживает и парирует возникающие микроускорения, воздействующие на шкаф. Система включает датчики-акселерометры, позволяющие точно отследить направление и величину микроускорения, и рабочие органы, которые компенсируют данное воздействие, выдавая соответствующее усилие с противоположным знаком на шкаф EXPRESS RackNo. 2 и на экспериментальное оборудование. Установка CIR связана механически с платформой ARIS через четыре направляющих гнезда, расположенных по внешним фронтальным углам установки.

Центральной частью установки CIR является многорежимная печь MDCA, в которую жидкое топливо помещается в виде капли. Дозирование топлива и нужный размер формируемой капли обеспечиваются с помощью игольчатых подающих устройств, а также запальника – нагревающейся проволоочки – обеспечивает их практически мгновенное разведение. Таким образом достигается отрыв капли от подающих устройств и запальника и обеспечивается её последующее свободное «парение».

(Продолжение на с. 8)