



Молодой ученый Роман Толстогузов настраивает оборудование для экспериментального исследования особенностей горения в камере сгорания.

В натуральную величину

Прорывы по плечу

Сибирские теплофизики открывают новые перспективы для традиционных отраслей

Ольга КОЛЕСОВА

► Есть науки, в которых совершенствование экспериментальной базы и методов исследования сразу выводит на новый виток спирали познания. И традиционные направления открываются с неожиданной стороны. Научные приоритеты первого в мире специализированного Института теплофизики, постановление о создании которого вышло 65 лет назад, сразу отвечали технологическим запросам страны. Не так уж много академических институтов могут похвастаться столь тесной связью с индустрией. И актуальные требования, связанные с технологической независимостью России, падают на хорошо подготовленную фундаментальную научную почву.

- Институт теплофизики всегда позиционировал себя как организация, занимающаяся фундаментальными исследованиями физических процессов переноса, протекающих в различных условиях, в том числе промышленно-технологических, - рассказывает директор ИТ СО РАН академик Дмитрий Маркович. - Наша цель - формирование соответствующей базы знаний. Мы постоянно расширяем спектр научных на-

правлений. И очень важно, что в институте созданы, на мой взгляд, все условия для творческого поиска. Мы сотрудников ничем не ограничиваем, помимо очевидной финансовой дисциплины и относящихся к деятельности института тематик. Всегда готовы интегрироваться на междисциплинарной основе с другими организациями, не боимся идти в нетипичные области исследований.

Родоначальники направлений

Институт теплофизики за 65-летнюю историю открыл немало новых страниц в науке и технологиях. Благодаря его разработкам на Паратунской ГеоЭС на Камчатке впервые в мире был запущен бинарный цикл, использующий фреоны для генерации электричества от подземных источников с температурой всего 80°C. В ИТ СО РАН родились новые методы бесконтактной лазерно-оптической диагностики потоков. Созданы научные основы мировой индустрии одностенных углеродных нанотрубок, выпуск которых занимается компания Ocsial. За это достижение в 2020 году академики Михаил Предтеченский, Дмитрий Маркович и профессор Владимир Меледин удостоены Государственной премии РФ. А совсем недавно состоялись успешные испытания летательного

аппарата нового типа - циклолета. Машина, работающая на роторном двигателе (напоминает лопастные системы у некоторых классов парополетов), может стать удачной альтернативой малым вертолетам благодаря способности подлетать к стенам домов и садиться на наклонную поверхность.

- Еще одно из недавно инициированных направлений - применение искусственного интеллекта в оптимизации процессов в энергетике, - продолжает Д.Маркович. - Онлайн-управление эффективностью горения и теплообмена с использованием нейронных сетей было трудно реализовать раньше из-за отсутствия соответствующих компьютерных мощностей и средств визуальной регистрации. Сейчас такая возможность появилась. И этим займутся молодые сотрудники. К слову, у нас продолжается процесс создания молодежных лабораторий. Три открыты в 2019 году в рамках нацпроекта «Наука». Сейчас готовим новые заявки, среди которых - лаборатория, связанная с развитием математического моделирования и искусственного интеллекта для энергетических технологий. Словом, продолжаем традиционные исследования, используя современные подходы. Так, Росатом в рамках проекта «Прорыв» плани-

рует создать новый класс реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическими теплоносителями. И наш институт решает ряд задач - от изучения теплопроводности жидких металлов до верификации разрабатываемых кодов для моделирования реакторных установок.

Оптимизируя горение

Одним из ярких событий последних лет стало участие ИТ СО РАН в крупном научном проекте «Фундаментальные исследования процессов горения и детонации применительно к развитию основ энерготехнологий» (2020-2022). Координировать работу 10 учреждений от Москвы до Владивостока непростое: проект междисциплинарный, охватывает механику и теплофизику многофазных реагирующих сред, химическую физику. Исследования ориентированы на создание принципиально новых технологий в энергетике, энергомашиностроении, двигателестроении, формируют научные основы применения новых и нетрадиционных видов топлива, включая высокоэнергетические, развития водородной энергетики, разработки детонационных двигателей, взрывобезопасности, снижения вредных выбросов. В проекте задействованы полторы сотни исследователей, более половины из них - молодые ученые.

- Наш институт - головная организация, где к проекту привлечены пять лабораторий, - отмечает заместитель директора ИТ СО РАН доктор физико-математических наук Олег Шарыпов, курирующий работу консорциума. - Наша группа изучает нетрадиционные способы сжигания некондиционных видов топлива, например, жидких углеводородов. Разработаны



Онлайн-управление эффективностью горения и теплообмена с использованием нейронных сетей было трудно реализовать раньше из-за отсутствия соответствующих компьютерных мощностей и средств визуальной регистрации. Сейчас такая возможность появилась.

экологически чистые технологии, соответствующие самым жестким европейским требованиям. Управляя внутренней аэродинамикой вихревых камер сгорания за счет распределенного ввода потока, мы улучшили важные показатели работы оборудования. Достижения не остались незамеченными - молодые исследователи ИТ СО РАН Игорь Ануфриев, Евгений Бутаков, Евгений Копьев и Евгений Шадрин в 2021 году стали лауреатами премии Правительства РФ.

- Проект получился масштабным, - добавляет руководитель КНП Д.Маркович. - Среди практических приложений - камеры сгорания энергетических газотурбин и авиационных двигателей, новые типы двигателей. Пора развивать успех российского двигателестроения. Созданный с участием ИТ и некоторых других организаций, входящих в консорциум, авиационный двигатель ПД-14 конкурентоспособен на мировом уровне. При этом ряд участников КНП предлагает и альтернативную технологию: детонационное горение как основу для новых модификаций и авиационных двигателей, и газотурбинных установок. Оптимизация горения способствует изучению процесса с помощью новых методов диагностики. Совместная с Новосибирским государственным университетом экспериментальная база и разработанные нашими учеными томографические алгоритмы восстановления трехмерных полей дают нам возможность получать данные по измерению трех компонент скорости в объеме потока газа, причем реагирующего, с горением. Скажу честно, такое мало кому в мире под силу.

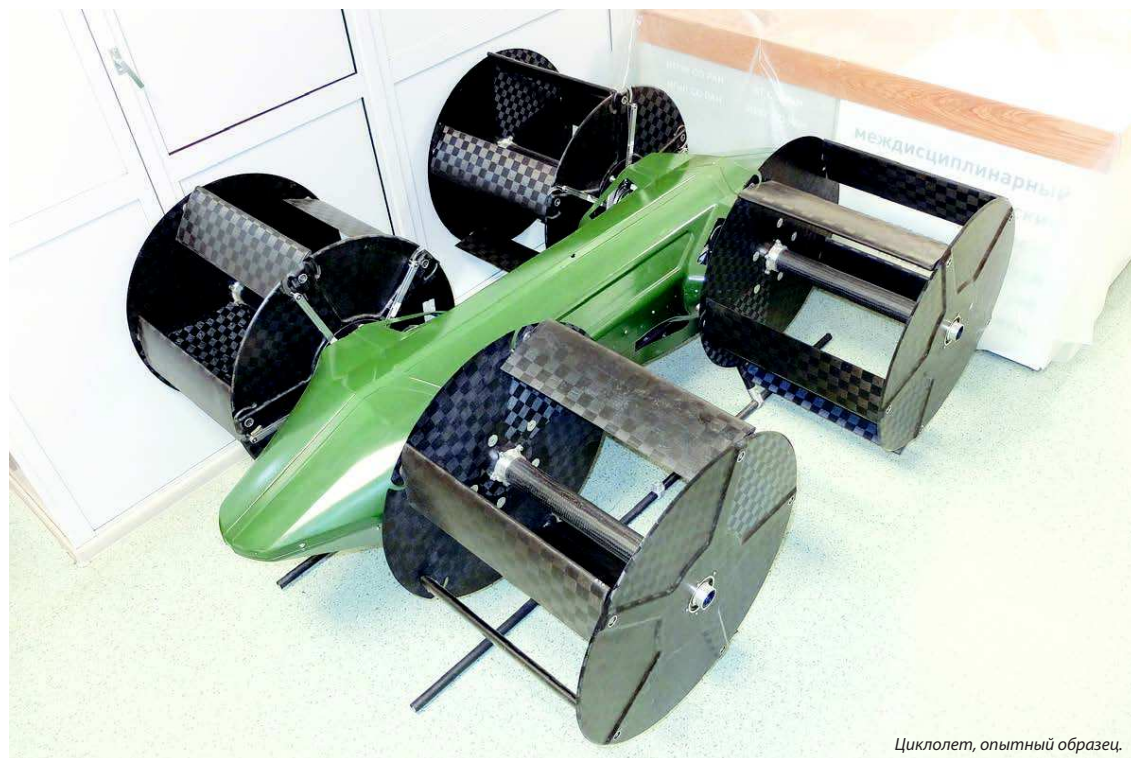
В режиме интенсификации

Всемирно известный ученый академик Самсон Семенович Кутателадзе, один из основателей Института теплофизики, прославился созданием гидродинамической теории кризисов кипения. Заведующий лабораторией низкотемпературной теплофизики член-корреспондент РАН Александр Павленко развил успехи своего учителя:

- В лаборатории создан комплекс современных экспериментальных установок по изучению теплообмена, переходных процессов и кризисных явлений при фазовых превращениях в различных гидродинамических условиях. Одно из направлений исследований, в частности, связано с детальным изучением самоподдерживающихся фронтов испарения в сильно перегретой жидкости - чрезвычайно интересного для физики кипения явления. Кипение - один из самых эффективных способов отвода тепла. В 2021 году мы получили важный практический результат: развили метод интенсификации теплообмена при кипении с использованием так называемого метода микродугового оксидирования (МДО) алюминиевых труб применительно к разработке современных крупномасштабных установок для ожижения природного газа и других аппаратов химической промышленности. Микроструктурированные покрытия различного типа, в создании которых наша лаборатория преуспела, могут эффективно применяться в криогенной, холодильной, теплонасосной технике и в современных системах охлаждения микроэлектроники. Эти достижения в сочетании с результатами комплексных исследований гидродинамики и массообмена при дистилляции на структурированных насадках уже получили широкое практическое применение. Казанский инженерно-технический центр «Инжехим» использовал их при разработке и производстве интенсифицированных тепло- и массообменных насадочных колонн. Процесс получения чистых веществ с помощью криогенной дистилляции также удалось существенно оптимизировать.

За цикл исследований по интенсификации теплообмена при кипении и испарении, повышению эффективности разделения смесей А.Павленко в 2020 году получил Международную премию им. академика А.В.Лыкова (НАН Белоруссии).

Интенсификацией теплообмена и созданием новых систем охлаждения электроники занимается и другой ученик академика Кутателадзе - заведующий лабораторией интенсификации процессов теплообмена доктор физико-математических наук Олег Кабов. Необходимость отведения высоких тепловых потоков при заданных температурных режимах ограничивает сегодня развитие целого ряда отраслей техники. Неудивительно, что перспективы применения высокоэффективных двухфазных систем охлаждения, разрабатываемых в ИТ СО РАН, оцениваются очень высоко. Такие системы могут быть использованы не только в космических и наземных транспортных приложениях, но и для охлаждения микропроцессоров высокопроизводительных компьютеров.



Циклолет, опытный образец.

- Мы предложили новый способ охлаждения микроэлектронного оборудования: научились создавать очень тонкие пленки жидкости в микроканалах и двигать их с большими скоростями, используя потоки инертного газа. В настоящее время с помощью таких систем мы можем отводить 1,3 кВт от 1 см². Это рекордный показатель, на порядок выше, чем в рутинных теплообменных аппаратах. Метод был предложен впервые в мире, - не скрывает гордости профессор О.Кабов. - Этими исследованиями мы дополнили и классическую гидродинамику: ранее считалось, что использованный нами расщепленный режим течения невозможен в каналах с размером менее 1,5 миллиметра. Но, как выяснилось, никто не исследовал плоские каналы, и, если вход газа и жидкости в плоский микроканал структурировать, течение станет устойчивым. В последние годы наши достижения оказались востребованы для охлаждения алмазных тепловых оптических фильтров строящегося в Новосибирске Сибирского кольцевого источника фотонов.

О.Кабов открыл новое научное направление в физике жидкостей - формирование регулярных структур в пленках жидкости при локальном нагреве. Открытие получило международное признание. Сегодня ИТ СО РАН - мировой лидер в исследовании пленочных процессов. Работы лаборатории О.Кабова тесно связаны с космической тематикой - ученые участвовали в подготовке многих экспериментов, проходивших в условиях микрогравитации. Эксперименты проводились на МКС и исследовательских ракетах в сотрудничестве с Европейским и Японским космическими агентствами.

- Совместная работа сделала необходимым проведение международной конференции «Двухфазные системы для космического и наземного применения», - добавляет О.Кабов. - Институт теплофизики стал ее организатором. Сейчас мы вместе с Институтом спутниковых систем (ИСС) им. М.Ф.Решетнева работаем над созданием новых систем терморегу-

Речь идет о создании нового поколения устройств энергозависимой памяти, которая может стать универсальной, заменив жесткие диски и флешки.

лирования электроники на космических кораблях.

- Стратегический вектор для нас - тесно сотрудничать с промышленными партнерами и заработанные средства вкладывать в развитие, - убежден директор ИТ СО РАН. - Наш институт - единственный среди академических - выиграл конкурс на создание Центра трансфера технологий, в планах - инженерный центр.

Тренды завтрашнего дня

Низкоуглеродная экономика основана на экологически чистом получении энергии и снижении выбросов парниковых газов. Задачи каталитической конверсии углеводородов в микроструктурных реакторах-теплообменниках решает лаборатория процессов переноса в многофазных системах.

- Научные основы процесса дает теплофизика фазовых и химических превращений в многокомпонентных системах, область очень комплексная, - комментирует главного научного сотрудника лаборатории, доктор физико-математических наук Владимир Кузнецов.

- Чтобы не вредить окружающей среде, лучше не сжигать топливо, а производить его конверсию в водородсодержащий газ в топливных процессорах. Далее этот газ можно использовать в электрохимических ячейках, называемых топливными элементами, для прямого производства электрической и тепловой энергии, смешивая с кислородом воздуха. В наших топливных процессорах каналы имеют очень малый размер, и мы установили, что в них возникают неизвестные ранее закономерности процессов тепло- и массообмена. Это позволило использовать результаты фундаментальных исследований в современных энергетических технологиях. Мы разработали компактные топливные процессоры, интегрированные с топливными элементами, обновили концепцию интегрированных установок водородной энергетики и систем получения синтетического жидкого топлива. В наших установках газ не выбрасывается в атмосферу, а растворяется в жидкости в микроканалах. Эту же идеологию можно приме-

нять и на атомных станциях при крупномасштабном производстве водорода, над чем мы сейчас работаем.

Нацелен в будущее и совместный с ИФП СО РАН проект РНФ, посвященный моделированию мемристорного переключения, который ведет группа профессора РАН доктора физико-математических наук Андрея Чернова.

- Речь идет о создании нового поколения устройств энергозависимой памяти, которая может стать универсальной, заменив оперативную память, жесткие диски и флешки, - поясняет А.Чернов. - Между электродами наноразмерного конденсатора помещен диэлектрик. По диэлектрику пропускают импульсы тока, меняя его сопротивление, и материал «запоминает» пропущенный через него ток. На этом эффекте планируют построить мемристорную память. Фирма Panasonic, не понимая до конца физики процесса, уже выпустила опытные образцы устройств малой емкости. А мы относимся к числу считающих в мире групп, разрабатывающих теорию мемристорного переключения. В частности, удалось привести в мировую науку новые знания о транспорте заряда через тонкие диэлектрические слои.

- По совокупности достижений - грантов различных фондов, крупных научных проектов, мегагрантов, лабораторий мирового уровня и молодежных лабораторий, публикаций в ведущих журналах - наш достаточно небольшой институт занимает первые места не только в СО РАН, но и в РАН, - резюмирует академик Д.Маркович. - И общая сумма всех этих показателей дает повод для оптимизма. ■