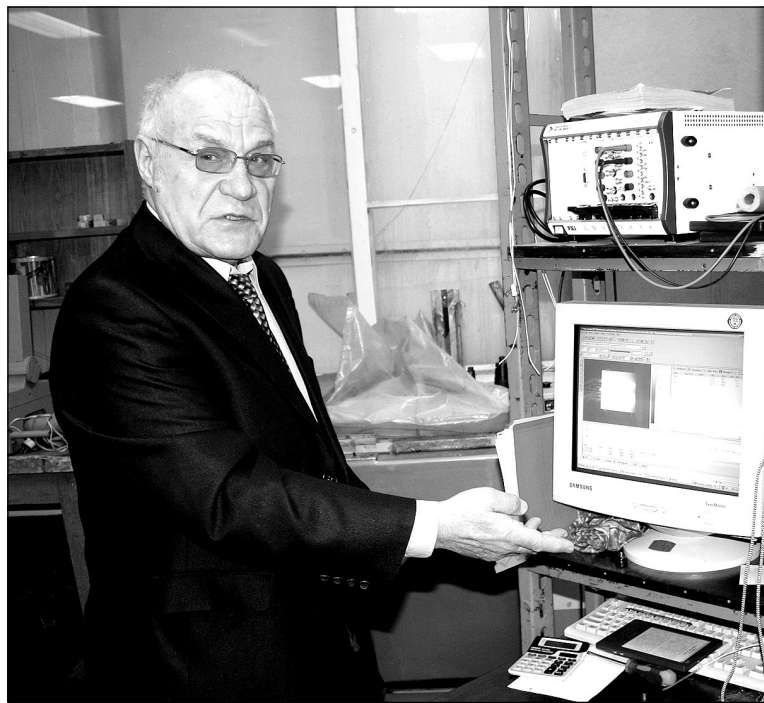


# Правильная температура — признак здоровья... космических аппаратов

1 апреля 2011 года на заседании Правительственной комиссии по высоким технологиям координатором Российской технологической платформы «Национальная информационная спутниковая система» определено ОАО «Информационные спутниковые системы им. академика М.Ф. Решетнёва», что в Железногорске близ Красноярска. Давняя творческая дружба связывает учёных КНЦ СО РАН с этим инновационным предприятием. Рассказать о сотрудничестве Института вычислительного моделирования СО РАН с флагманом отечественной космонавтики мы попросили старшего научного сотрудника ИВМ СО РАН, к.ф.-м.н. **В.А. Деревянко**.



## Необходима точность

Валерий Александрович Деревянко в 1963 году закончил престижный во все времена Московский физтех и по приглашению академика С.А. Христиановича приехал в новосибирский Академгородок, в Институт теоретической и прикладной механики. В 1976 году Постановлением Президиума СО АН СССР лаборатория нестационарной магнитной газодинамики под руководством В.А. Деревянко была переведена в Красноярск. До 1989 года она оставалась филиалом ИТПМ СО АН СССР, а затем была переведена в ВЦК СО РАН. Ныне — ИВМ СО РАН.

— В Красноярск я приехал, когда все тут занимались КАТЭКом. Тогда хотели построить десяток мощных электростанций рядом с карьером, не задумываясь, что так сожжём весь кислород... А мы приехали с идеологией МГД-генератора с Т-слоем. Думали создать энерго-технологический комплекс — с тем, чтобы перерабатывать канско-ачинские угли. Занимались МГД-генератором долго, но не особенно результативно, потому что МГД-генератор так и не построили. КАТЭК сошёл на нет, энерго-технологические комплексы стали никому не нужны.

Потому мы потихонечку начали взаимодействовать с решетнёвской фирмой — ОАО «Информационные спутниковые системы». Тогда она называлась НПО ПМ. В начале 90-х годов мы подключились к решению задач по расчётам тепловых режимов спутников. Причина была очень простая: мы по своим плазменным задачам всегда считали нестационарные тепловые модели. Трёхмерные. Выяснилось, что для спутников тепловой режим имеет основное значение. Потому что энергии на борту оказалось предостаточно — солнышко светит, солнечные батареи работают, энергии хватает. А куда и, главное, как сбрасывать тепло?

Можно, конечно, просто всё отключить — но тогда спутник остынет и замёрзнет, аппаратура перестанет работать. Если же защищать его теплоизоляцией, он начинает перегреваться. Причём только с одной стороны — освещённой Солнцем. То есть, с одной стороны перегревается, а «хвост» у него охлаждается. Но радиоэлектронная аппаратура — как человек, любит комфортные условия, чтобы было стабильно

+36 градусов. Причём всегда стабильно, вне зависимости от того, включается аппаратура или выключается. Спутник начинает передачи — начинается перегрев. Значит, надо сбросить тепло, чтобы он оставался в прежних условиях.

Когда появилась система ГЛОНАСС, ситуация обострилась в связи с тем, что эта система позиционирует свои спутники на орбите, и по ним определяются координаты наземных устройств. Потому положение спутника должно задаваться с высокой точностью. Для этого на борту необходимо измерять время. Там стоят атомные часы, которые измеряют время с точностью  $10^{-22}$  секунды. Для Земли это чудовищно. Но там точность необходима не только в абсолютном измерении, но и в относительном, она не должна меняться в зависимости от времени суток, времени года. Поэтому атомные часы, стоящие на борту — это любимое детище, которое всячески оберегают.

Долгое время стабилизация температуры не самих часов, а места, где они стоят, была плюс-минус 5 градусов. Соответственно, точность была невысокая. Когда мы в эту работу включились, задача была поставлена довести стабилизацию до плюс-минус 1 градуса. Мы достигли такой точности. Новая задача: 0,1 градуса.

Мы занимались расчётом системы прецизионной термостабилизации, использовали явление фазовых переходов, потом создали устройство, которое имеет эффективную теплопроводность, в 100 раз превышающую теплопроводность алюминия. Такие пластины сразу выровняли температуру посадочной поверхности до нужных требований.

## Оказалось — интересно!

— Но вы, если можно так сказать, «чистые» учёные, академические. Сложно, наверное, было делать подобные системы в промышленных масштабах?

— Вот потому с 2004 года мы работаем в кооперации с Уральским электрохимическим комбинатом, на котором накоплен опыт работы с порошками, пористыми металлами. Мы с ними связались, когда занялись проблемой гипертеплопроводности, фазовыми переходами.

На самом деле, это вещи достаточно простые с точки зрения фи-

зики — подсос жидкости по пористой структуре, т. е. капиллярный эффект. А второй эффект — поглощение и выделение тепла при испарении и охлаждении. Предположим, у вас вода в твёрдом состоянии, то есть лёд. Пока он тает, температура не меняется. Это точка фазового перехода. Энергии на то, чтобы лёд расплавить, тратится очень много. То же происходит, когда вы начинаете испарять воду. Пока вода кипит, температура при атмосферном давлении постоянна — 100 градусов. И пока вся вода не превратится в пар, температура не изменится. Это вторая точка фазового перехода. Фазовые переходы используются для переноса энергии и стабилизации температуры.

Есть такие устройства, которые называют «классические тепловые трубы». Это труба, внутри которой имеется капиллярная структура и канал, по которому проходит пар. Туда заливается теплоноситель: вода, спирт, ацетон — любой теплоноситель, совместимый с металлом. Когда вы эту трубку с одного конца нагреваете, жидкость испаряется, на это тратится энергия. В другом конце (в «холодильнике») жидкость охлаждается. Вы переносите энергию в другую область, там отводите тепло, а жидкость, в которую превратился пар, по капиллярной структуре возвращается на прежнее место.

«Классическая труба» работает на тепловой энергии и эффективно переносит тепло. Если посмотреть, сколько энергии она перенесёт, учесть разницу температур между «холодильником» и нагревателем и сечение трубы, то получится величина, которая для обычного материала называется теплопроводностью. Её определяют как «эффективную теплопроводность». Эффективная теплопроводность таких устройств в десятки и сотни раз превышает теплопроводность материала, из которого эта трубка изготовлена.

Трубки эти известны давно, и на космических аппаратах они используются, но мы занялись разработкой маленького устройства, чтобы встроить его в структуру металлического листа. Необходимо было создать «массив» связанных между собой мини-тепловых труб, диаметр каждой из которых не превышает двух миллиметров. Это, конечно, не обычная тепловая труба — здесь немного другая физика, потому что они переносят тепло ещё и в стороны. Технология сложная. Но мы связались с Уралом и такие структуры сделали.

Есть пластины длиной 300, шириной 70, а толщиной 2—2,5 миллиметра. Они как раз и выравнивают тепло. Сейчас они уже вышли на промышленное производство. Выпускаются опытные партии для ОАО «ИСС им. академика М.Ф. Решетнёва». Подобные структуры полетели на космических аппаратах, потому что, как оказалось, сейчас самая большая проблема в радиоэлектронных приборах — отвод тепла. Тепло нужно от прибора взять, каким-то образом транспортировать, вывести на теневую сторону космического аппарата и сбросить в космос. Другого способа нет.

Вот в этом и состоят все проблемы. При увеличении мощности радиоэлектронных элементов традиционная система теплоотвода становится тяжёлой и неэффективной. Поэтому, когда применили гипертеплопроводящие структуры, оказалось, что радиоэлементы можно использовать на

порядок мощнее, а градиент температуры (перепад температуры от самого нагретого элемента до самой холодной точки) — на порядок уменьшить. Перемножить 10 на 10 — получается 100. Во столько раз эффективней теплопроводность этих структур.

Естественно, долго бились с технологией, потому что там всё не просто: многое от габаритов зависит, нужно подобрать теплоносители, размер пор... Зато теперь имеются устройства, которые тепло передают. Они могут снимать тепло с высокой плотностью мощности, на квадратный сантиметр до 20 ватт. А сейчас ставится задача довести до 100 ватт на квадратный сантиметр без осушения, без перегрева. Вот этим мы и занимаемся, в последнее время очень интенсивно — и в плане прецизионных систем терморегулирования, и для радиоэлектронных блоков мощных преобразователей. Сейчас нам предлагают заниматься бортовыми источниками питания, потому что там тоже нужны системы для сброса тепла... Так мы с ОАО «ИСС» и работаем. Это оказалось очень интересно.

— А финансовая сторона? Сейчас модно об этом говорить, и Академии наук всё время твердят: «Зарабатывайте деньги!»

— Ну, мы же не альтруисты. Всё это удовольствие стоит достаточно дорого. Чтобы сделать такую пластинку, необходимо затратить 50000 рублей... Ну, естественно, это делает Уральский комбинат, а заказывает ОАО «ИСС». Мы только разрабатываем, считаем тепловые модели, исследуем.

— То есть, занимаетесь инновационными разработками, которые внедряют другие?

— Нет! Мы вместе внедряем, у нас есть совместные патенты. Наша идеология, наша разработка, наш контроль, наши идеи, как это использовать. Уральский завод изделия изготавливает и поставляет заказчику — ОАО «ИСС». Естественно, наша работа оплачивается, у нас есть договоры на разработки, поэтому мы зарабатываем.

## Новая концепция

— Недавно одна фирма обратилась к нашим партнерам на Урал по поводу светодиодов. Сейчас светодиодные матрицы — направление модное. Урал опять-таки прислал запрос нам: можно ли и что им ответить?

Суть вопроса: чтобы сделать светодиодную матрицу, нужно нанести светодиоды на поверхность, во-первых, с одинаковой температурой, потому что светодиоды включают последовательно — для удобства питания, во-вторых, температура должна выдерживаться в заданном диапазоне, потому что свечение зависит от температуры: перегрел — светодиоды излучают хуже, не догрел — тоже КПД падает. Получается, что нужно температуру стабилизировать. Посчитали, прикинули, сказали, как надо сделать... Не знаю, решатся ли они.

Сейчас идёт всеобщая миниатюризация техники, это раз. Во-вторых, повышается мощность этой техники — везде стоят вопросы теплоотвода, стабилизации температурного режима. А мы предлагаем очень простое устройство, относительно простое — оно не требует обслуживания, оно выполняет роль передатчика тепла без применения насосов, двигателей и т. д. Посмотрите на неё — просто железка, пластиночка. А внутри — это прибор. Который, конечно, сейчас будет во-

стребован.

Тем более, что мы вышли на такие технологические рубежи, когда вот-вот начнётся массовое производство. Уже выпускаются не десятки, а сотни штук. Я думаю, сейчас на космических аппаратах это будет всё более и более развиваться. Несколько месяцев назад мы разговаривали с первым заместителем главного конструктора ОАО «ИСС» Виктором Евгеньевичем Косенко — он нашими научными разработками очень интересуется. Сейчас уже ставится вопрос о том, что пора разрабатывать новую концепцию спутника. Сначала были герметичные аппараты, но теперь спутники ГЛОНАСС-К — уже не бочки с приборами, а просто коробки, на стенках которых закреплены приборы. Негерметичные.

— И все эти преобразования — за счёт ваших пластин?

— Нельзя сказать, что только за счёт наших пластин. Но — с применением подобных устройств. Сейчас вообще ставится задача пересмотреть идеологию построения аппарата с учётом того, что появилась технология создания гипертеплопроводящих конструкций.

Ещё появилась новая технология, её надо применять эффективно. Что значит эффективно? Это значит, что надо специально под эту технологию делать конструкцию. Например, систему ориентации космического аппарата.

Датчики ориентации в основном используют ПЗС-матрицы — как в фотоаппаратах. Для того, чтобы эта матрица хорошо работала, нужно добиться, чтобы её поверхность имела одинаковую температуру. Сделать одинаковую температуру очень сложно, особенно в космическом аппарате. Поэтому, если поставить туда гипертеплопроводящую структуру, то она температуру поверхности выровняет с очень высокой степенью точности. Тогда и точность ориентации повысится.

Пока таких систем нет, хотя необходимость в них очень велика. Нужно, чтобы конструктор посмотрел на блок солнечной и звёздной ориентации другими глазами, выставил другие требования и применил там такие конструкции. Они есть, но пока широко не применяются.

**От редакции:** Сегодня мы лишь прикоснулись к большой теме сотрудничества красноярских учёных с координатором национальной технологической платформы «Информационная спутниковая система» ОАО «ИСС им. академика М.Ф. Решетнёва». Будем и дальше развивать эту тему на страницах «НВС». Тем более, что здесь, в КНЦ СО РАН совместно с Сибирским федеральным университетом и Сибирским аэрокосмическим университетом им. академика М.Ф. Решетнёва готовят специалистов для ведущего предприятия космической отрасли — ОАО «ИСС». В частности, В.А. Деревянко возглавляет учебно-научную лабораторию проектирования космических систем и аппаратов, входящую в межинститутскую базовую кафедру прикладной физики и космических технологий СФУ. Кстати, возглавляет кафедру первый заместитель генерального директора и генерального конструктора ОАО «ИСС им. академика М.Ф. Решетнёва» д.т.н. В.Е. Косенко.

Сергей Чурилов, г. Красноярск  
На снимке: В.А. Деревянко.  
Фото автора