

УДК 629.78.048.7-716

**Г.А. Горбенко, П.Г. Гакал, Е.П. Ганжа**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

## **ТЕПЛОТЕХНИКА: В КОСМОСЕ И НА ЗЕМЛЕ**

В статье представлен краткий обзор работ, проводимых на кафедре аэрокосмической теплотехники ХАИ в области проектирования, производства и эксплуатации различных теплотехнических систем. Перечислены проекты, в которых участвовали и участвуют сотрудники кафедры, показано внедрение высокотехнологических проектных решений для космической техники в практику проектирования наземных систем тепло/холодоснабжения.

### **теплотехническая система, наземные системы тепло/холодоснабжения**

На кафедре аэрокосмической теплотехники научно-исследовательские работы по проектированию различных теплотехнических систем были начаты в 70-е годы прошлого века. Одно из направлений было связано с исследованием и научным сопровождением проектирования систем терморегулирования (СТР) космических аппаратов (КА) и станций. Первые работы были направлены на внедрение пассивных двухфазных систем терморегулирования в практику проектирования космических аппаратов и станций. В пассивных системах терморегулирования побудителем циркуляции теплоносителя выступали струйные и сепарационные насосы. Родоначальником данного направления был профессор С.Д. Фролов (1924 – 2003). В конце 80-х годов сотрудники кафедры принимали участие в проектировании пассивной двухфазной системы терморегулирования Универсальной Космической Платформы (УКП-Э), которая разрабатывалась в Ракетно-космической корпорации «Энергия». Система предназначалась для переноса ~ 8 кВт теплоты на расстояние ~ 30 м и сброса теплоты в космическое пространство. В это же время были начаты работы и по разработке СТР перспективной российской космической станции «Мир-2». В этой системе реализовывалась активная схема прокачки теплоносителя, побудителем циркуляции выступал механический насос. Система осуще-

ствляла сбор от 6-ти модулей ~ 40 кВт теплоты, перенос ее на расстояние до 100 м к месту теплоотвода с последующим отводом в космическое пространство. Однако изменившаяся политико-экономическая ситуация и недостаток финансирования не позволили реализовать в полном объеме данные перспективные проекты.

В начале 90-х годов прошлого века был начат совместный российско-американский проект Международной Космической Станции (МКС). К работам по проекту привлекались украинские организации и специалисты. Сотрудники кафедры принимали участие в проектировании системы терморегулирования российского сегмента МКС. Система предназначалась для отвода ~ 30 кВт теплоты на расстояние ~ 50 м, точность термостабилизации при этом составляла  $\pm 2,5$  °С. Для того, чтобы удовлетворить всем требованиям к системе, была выработана концепция принципиально новой двухфазной системы терморегулирования. Концепция включала следующие положения:

- использование механического насоса;
- использование двухфазного теплоносителя (аммиака);
- реализация идеи «тепловой шины», когда однофазные системы терморегулирования отдельных модулей связаны с центральной системой теплоотвода (ЦСТО) через испарительные теплообменники;
- применение гидроаккумулятора с тепловым регулированием;
- массовый расход аммиака через испарительные теплообменники контролируется активными регуляторами подачи жидкости.

Ранее двухфазные системы терморегулирования не применялись в практике проектирования космических аппаратов и систем. Возникла необходимость в решении многих теплофизических задач, как на уровне всей системы, так и на уровне отдельных элементов. В частности, задачи потокораспределения двухфазного потока в разветвленной многоэлементной системе, теплообмена при кипении и конденсации в условиях невесомости, проектирования оригинальных элементов системы. Для решения перечисленных задач на кафедре был проделан значительный объем расчетно-экспериментальных исследований. Был разработан комплекс математических моделей, описывающих теплогидравлические процессы в

СТР, построен экспериментальный стенд ФВ-А – функциональный аналог штатной СТР, на котором исследовались как системные процессы, связанные с переходными и аварийными режимами работы, так и характеристики отдельных элементов системы. В частности, исследовались переходные процессы, вызванные изменением условий теплоподвода и теплоотвода, накоплением неконденсирующихся газов в системе. Кроме того, изучалась работа конденсаторов, теплового гидроаккумулятора и других принципиально новых элементов системы. Логическим завершением всего цикла расчетно-экспериментальных исследований стал летный эксперимент, проведенный в 1999 году на борту космической станции «Мир». Летный эксперимент полностью подтвердил работоспособность двухфазной системы терморегулирования и ее принципиально новых элементов.

На рис. 1 изображена принципиальная схема системы терморегулирования российского сегмента Международной космической станции. Теплота аккумулировалась в виде скрытой теплоты парообразования, что позволяло переносить значительно большее количество теплоты на единицу массового расхода теплоносителя, чем в случае применения однофазных теплоносителей. Кроме того, использование двухфазного теплоносителя позволяло подводить и отводить теплоту практически изотермически при фазовом переходе.

Система представляла собой замкнутую гидравлическую сеть, содержащую напорную магистраль 1, байпасную магистраль жидкого аммиака 2 и двухфазную магистраль аммиака 3. Насос (Н) подавал жидкий аммиак в напорную магистраль 1, по которой тот поступал в испарительный теплообменник (ИТО) через регулятор подачи жидкости (РПЖ). В ИТО жидкий аммиак отбирал теплоту от оборудования МКС и испарялся. Двухфазный поток, выходящий из ИТО, проходил через регенеративный теплообменник (РГТО), подогревая теплоноситель на входе в ИТО, затем через сепаратор (С), вращающееся гидравлическое устройство (ВГУ) попадал в центральный радиационный теплообменник (ЦРТ). Этот теплообменник являлся частью системы теплосброса на основе тепловых труб. Здесь пар конденсировался, смешивался с жидкостью из байпаса, переохлаждался и через ВГУ поступал обратно на вход в насос. РПЖ поддерживал высокое паросодержание на выходе из ИТО посредством регулирова-

ния массового расхода аммиака через ИТО при различных тепловых нагрузках. Электронагреватель (ЭН) подогревал жидкий аммиак при низких тепловых нагрузках и, таким образом, предохранял РПЖ, ИТО и насос от воздействия низких температур. Сепаратор (С) отделял жидкость от пара, обеспечивая тем самым высокие коэффициенты теплоотдачи при конденсации, равномерность распределения тепловой нагрузки и температурного поля всего ЦРТ, снижение потерь давления в паропроводе. Аккумулятор с тепловым регулированием (ТГА) поддерживал постоянный уровень давления в системе. Для предотвращения кавитации насоса в контуре был установлен переохладитель РАД2. Контур включал в себя несколько дросселей (Др) и клапанов (Кл), обеспечивающих оптимальное распределение потоков при различных тепловых нагрузках и на различных стадиях сборки МКС.

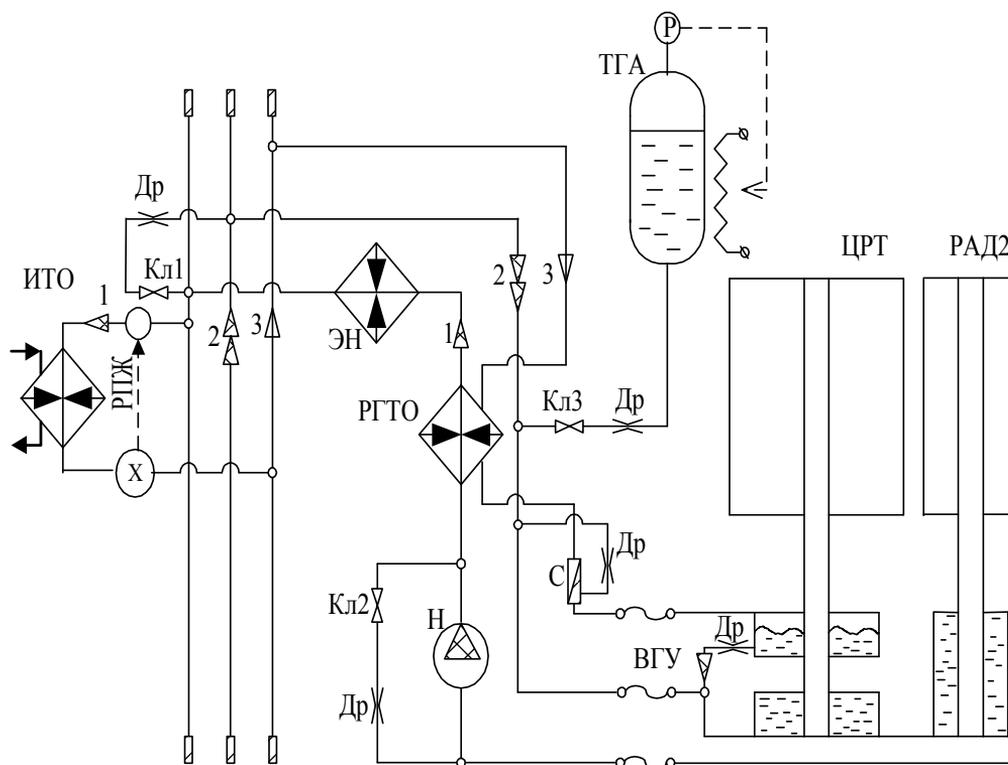


Рис. 1. Принципиальная схема системы терморегулирования российского сегмента Международной космической станции

Кроме разработки систем терморегулирования космических аппаратов и станций на кафедре ведутся работы по проектированию систем кондиционирования и термостатирования отсеков КА и технологических помещений космодромов. В настоящее время разрабатывается система термостатирования отсеков и головного блока ракеты-носителя «Циклон-4», который планируется запускать с космодрома Алькантар (Бразилия).

В условиях реформирования экономики Украины возникла необходимость во внедрении результатов и опыта проектирования систем терморегулирования космических аппаратов и станций в практику проектирования и изготовления различных наземных теплотехнических систем. Опыт проектирования, апробированные ранее технические решения, подходы к решению тех или иных теплофизических задач оказались применимыми при проектировании и изготовлении систем тепло/холодоснабжения, кондиционирования, сушки различных материалов и др. Задачи, которые при этом необходимо было решать, оказались не проще, а иногда и сложнее аналогичных задач, возникающих при проектировании космических систем. Для более успешного и быстрого внедрения результатов научных исследований в промышленность, быстрого реагирования на быстроменяющиеся потребности рынка при кафедре образовано отделение производственной компании «Остров», являющейся крупнейшим в СНГ производителем холодильных систем и технологических систем кондиционирования различного назначения. Работы, которые проводились на кафедре совместно с фирмой «Остров» позволили решить многие научно-технические проблемы. В частности, были разработаны системы технологического кондиционирования, заморозки, охлаждения и хранения продукции, получения ледяной воды для всех птицефабрик холдинга «Наша Ряба». Были разработаны системы шокового охлаждения вина для ОАО «Коблево», охлаждения воды для сатурации по заказу Чугуевского завода минеральных вод, охлаждения термопластавтоматов для компании «Вента Украина», охлаждения и вымораживания растительного масла для компании «Марг-Вест» ТМ «Славолия». Большой объем работ был проделан при разработке и внедрении холодильных систем для сети супермаркетов «Таргет» (г. Харьков).

Научное сопровождение проектирования и изготовления систем проводилось с использованием разработанных на кафедре подходов к матема-

тическому и физическому моделированию, которые использовались при решении различных теплофизических задач, возникающих при разработке новой аэрокосмической техники.

В качестве примера рассмотрим систему охлаждения тушек птицы ледяной водой с применением шнековых охладителей. На рис. 2 изображена принципиальная гидравлическая схема системы.

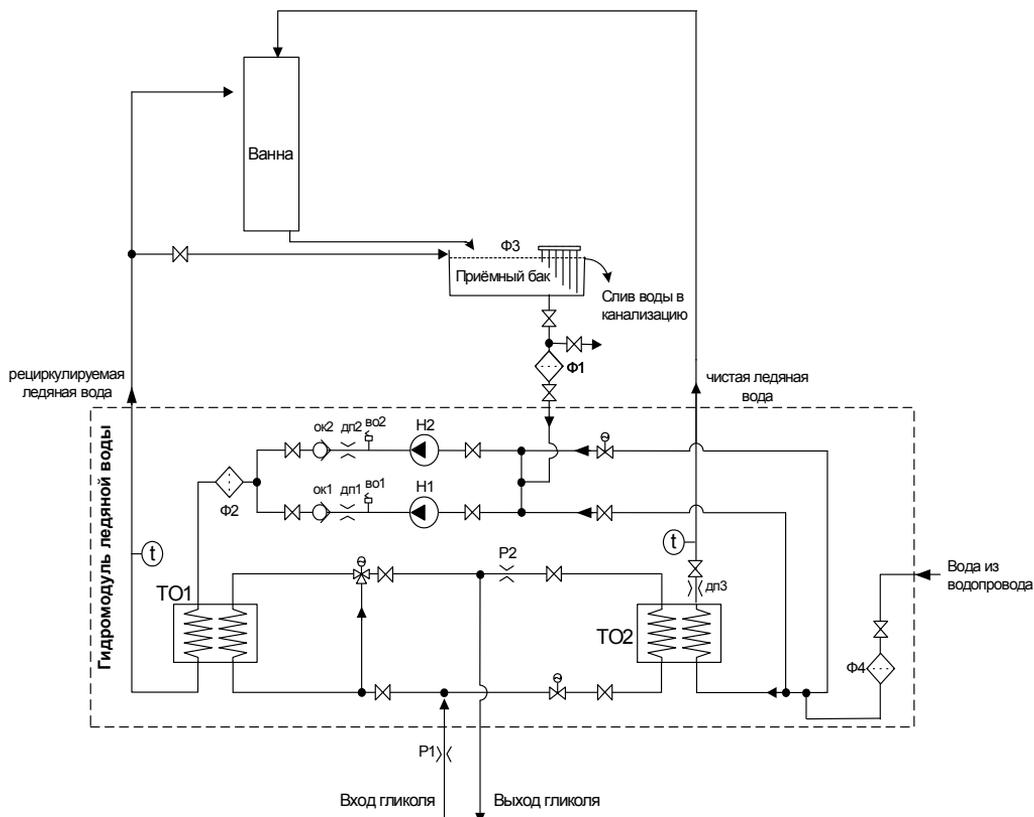


Рис. 2. Принципиальная гидравлическая схема системы охлаждения тушек птицы ледяной водой:

N1, N2 – насосы; TO1, TO2 – теплообменники; ок1, ок2 – обратные клапаны; во1, во2 – воздухоотделители; Ф1, Ф2, Ф3 – фильтры

Система состоит из ванны, в которой происходит охлаждение тушек, двух теплообменников TO1, TO2, насосов N1, N2, приемного бака, регулирующих вентилей, шаровых кранов, обратных клапанов ок1, ок2, воздухоотделителей во1, во2, фильтров Ф1, Ф2, Ф3, уровнемера. Тушки поступают в ванну, в которой охлаждаются чистой и рециркулирующей ле-

дяной водой. По длине ванны тушки перемещаются вращающимися шнеками. Предложенная схема охлаждения обладает высокой экономичностью по воде и затратам электроэнергии, так как в канализацию сливается только порядка 10% воды, оставшаяся часть рециркулирует в системе. Потеря воды компенсируется подачей чистой ледяной воды. Кроме того, схема обеспечивает постоянное обновление воды, циркулирующей в системе. После ванны нагретая вода частично сливается в канализацию, а частично поступает в гидромодуль ледяной воды, где охлаждается гликолем. Температура чистой ледяной воды поддерживается на заданном уровне двухходовым регулирующим краном, который изменяет расход гликоля через теплообменник ТО2. С помощью трехходового крана, который регулирует расход через теплообменник ТО2, поддерживается заданный уровень температуры рециркулирующей воды. В предложенной системе охлаждения реализован ряд технических решений, которые позволили исключить потерю холода с водой, сливаемой в канализацию, повысить экономичность системы по затратам воды и электроэнергии в сравнении со стандартными системами.

В заключении следует отметить, что теплотехнические системы используются в самых разнообразных сферах деятельности человека. В условиях реформирования экономики Украины уровень подготовки специалистов, научный потенциал, опыт сотрудников кафедры аэрокосмической теплотехники, полученный при проектировании ракетно-космических систем оказался востребованным другими отраслями промышленности, в частности бурно развивающейся пищевой и перерабатывающей промышленностью. Работы, которые ведутся на кафедре по заказу предприятий авиационно-космической, перерабатывающей и пищевой промышленности позволяют поддерживать на высоком уровне учебную и научную базу кафедры, готовить специалистов, востребованных всеми ведущими отраслями промышленности Украины. Практически все выпускники кафедры аэрокосмической теплотехники работают по специальности на государственных и частных предприятиях, занимающихся проектированием, изготовлением и эксплуатацией теплотехнических систем.

*Поступила в редакцию 12.04.2005*