

УДК 629.7.08

Системы терморегулирования с двухфазным контуром для перспективных космических станций

Малясов А.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Стартовые ракетные комплексы»*

Научный руководитель: Зверев В.А., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
sm8@sm8.bmstu.ru*

Планируемое развитие космических станций (КС) связано с созданием больших космических платформ. Появление таких программ стимулировало разработку систем терморегулирования с двухфазным контуром (СТР с ДФК) в США, Европейских странах, СССР. В таких контурах тепло аккумулируется и переносится в виде скрытой теплоты парообразования. Это позволяет существенно снизить расход теплоносителя, уменьшить затраты на его прокачку. Преимуществами двухфазного контура также являются:

- высокие коэффициенты теплоотдачи, реализуемые при кипении и конденсации теплоносителя;
- простота термостабилизации участков сбора и сброса теплоты;
- простота пассивного способа регулирования температуры в контуре и другие.

В 80-е годы наблюдался резкий рост числа публикаций по СТР с ДФК, которые можно разбить на следующие типы:

- насосные двухфазные контуры теплопереноса;
- пассивные контуры теплопереноса с прокачкой теплоносителя капиллярными или струйными насосами, реализующими прямой термодинамический цикл (термоциркуляционные контуры);
- контуры, реализующие обратный термодинамический цикл (тепловые насосы).
- гибридные схемы ДФК.

Как показали исследования отечественных и зарубежных специалистов, для широко разветвленных систем большой производительности с большим количеством источников тепла наиболее оптимальным является использование СТР с ДФК, в которых транспортирование теплоносителя обеспечивается механическим насосом.

В данной статье предложена принципиальная схема с организацией в контуре жидкостной петли однофазного теплоносителя, изображенная на рис.1.

Из этой петли организован отбор теплоносителя на испарение в испарительном теплообменнике. Образовавшийся пар конденсируется в теплообменнике – конденсаторе РТО и возвращается в виде конденсата в жидкостную петлю контура. Организация однофазной жидкостной петли в контуре обеспечивает стабильную работу электронасосного агрегата на переходных режимах работы ДФК, создание кавитационного запаса на входе в насос, улучшает реакцию контура на возможные быстрые внешние воздействия. [1]

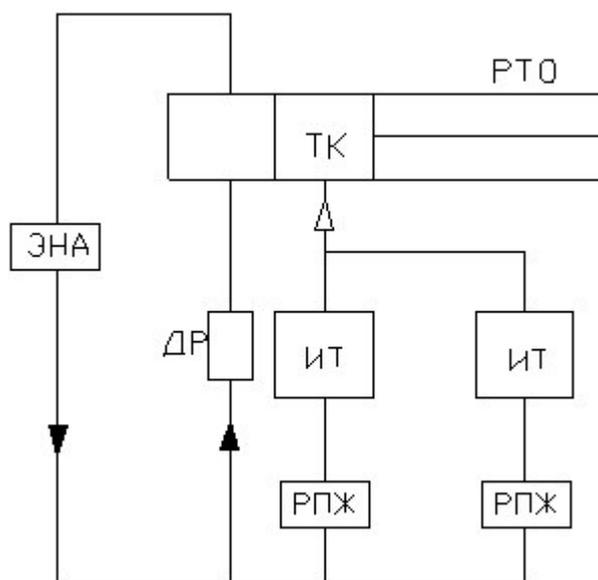


Рис. 1. Принципиальная схема СТР с ДФК: ЭНА – электронасосный агрегат; ИТ – испарительный теплообменник; РПЖ – регулятор подачи жидкости; РТО – радиационный теплообменник; ТК – теплообменник-конденсатор; ДР – дроссели

Так как в ДФК подведенное количество тепла аккумулируется и переносится в виде скрытой теплоты парообразования, то высокое значение теплоты парообразования ведет к уменьшению потребного расхода теплоносителя, увеличению коэффициентов теплоотдачи при кипении и конденсации и, как следствие, к уменьшению потребной мощности насоса, массы и размеров всех элементов. Поэтому скрытая теплота парообразования является одним из важнейших показателей эффективности теплоносителя.

Основные требованиями предъявляемые к теплоносителю являются:

- большая удельная теплота парообразования;
- малая коррозионная активность по отношению к основным конструкционным материалам;
- пожаро и взрывобезопасность;
- низкая стоимость.

По многим параметрам удовлетворяет вышперечисленным требованиям аммиак высокой частоты, хотя у него относительно высокое давление насыщения при рабочих температурах и сравнительно высокая токсичность.

Использование жидкого аммиака в качестве теплоносителя ДФК дает еще одно преимущество. При неполной тепловой нагрузке возможно использование аммиачного ДФК в однофазном режиме, когда испарения теплоносителя в испарительном теплообменнике не происходит, а происходит его нагрев без испарения.

Основные элементы системы терморегулирования с двухфазным контуром показаны на рис.2 и рис.3.

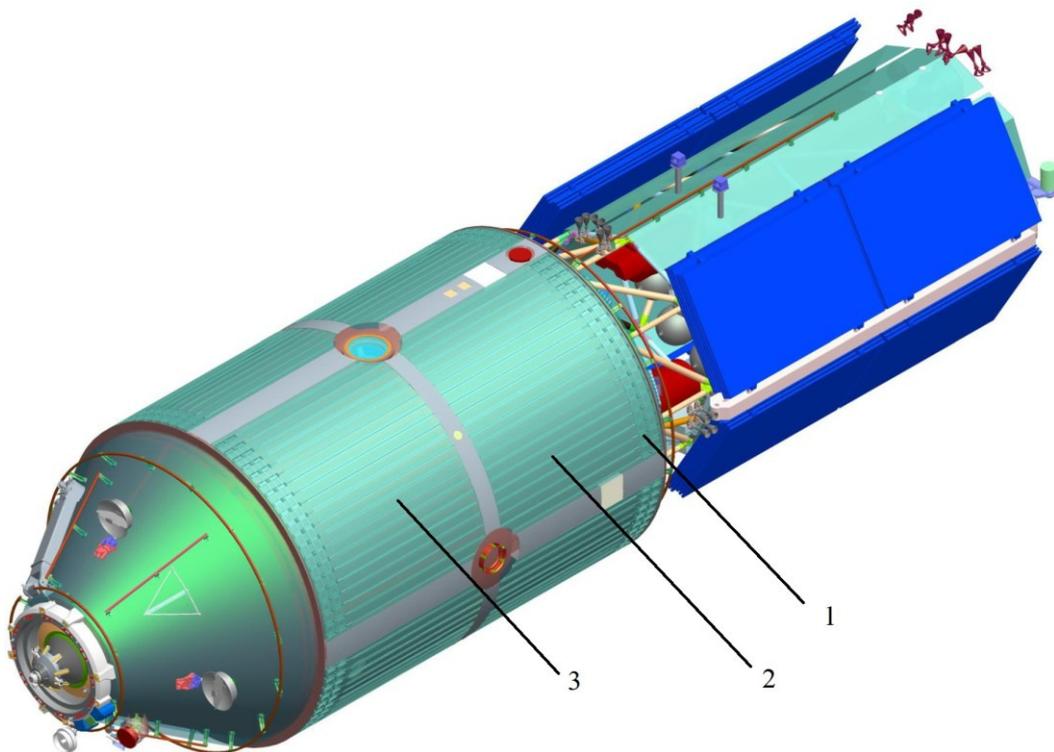


Рис. 2. Элементы СТР с ДФК на внешней обшивке КС: 1 – теплообменник-конденсатор; 2 – тепловая труба; 3 – радиационный теплообменник

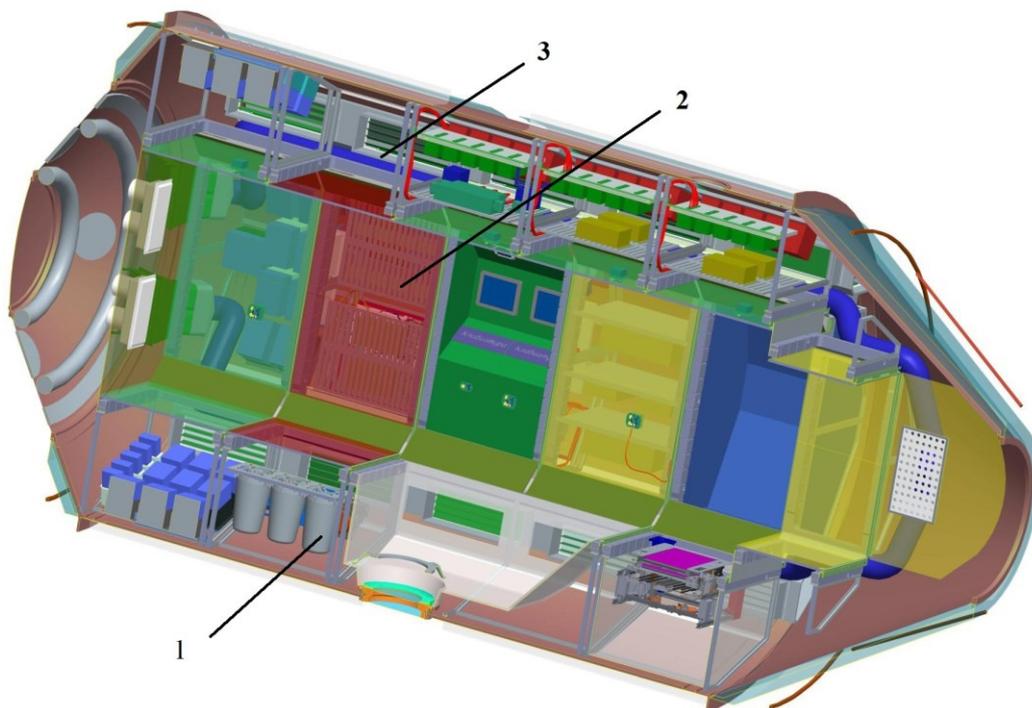


Рис. 3. Элементы СТР с ДФК внутри КС: 1 – электронасосный агрегат; 2 – испарительный теплообменник; 3 – система жизнеобеспечения

В состав СТР с ДФК входят следующие основные агрегаты:

- 1) электронасосные агрегаты;
- 2) регуляторы подачи жидкости;
- 3) радиационный теплообменник;
- 4) гидравлическое соединение;
- 5) электронагреватели;
- 6) регенеративные теплообменники;
- 7) тепловые гидроаккумуляторы;
- 8) испарительные теплообменники;
- 9) дроссельные элементы.

Циркуляция жидкого аммиака в контуре системы обеспечивается электронасосными агрегатами (ЭНА) Н1, Н2, Н3, Н4, пневмогидравлическая схема системы показана на рис.4.

Наличие в контуре однофазной жидкостной петли, по которой циркулирует теплоноситель, приводит к тому, что ЭНА контура работают в стабильном режиме, обеспечивая постоянный напор и расход теплоносителя.

Характеристики ДФК обеспечиваются работой следующих функциональных элементов:

- теплогидроаккумулятор (ТГА);
- регуляторами подачи жидкости (РПЖ);
- охранными электронагревателями;
- электронасосный агрегат;
- клапанами различного назначения.

ТГА, совместно с каналом автоматического управления электронагревателями ТГА, обеспечивает поддержание в заданных пределах давления насыщения в контуре (температуры кипения аммиака в ИТ на основании анализа давления в паровой магистрали ДФК. Поддержание температуры кипения аммиака в ИТ ДФК в заданных пределах обеспечивается путем изменения активной поверхности конденсации в теплообменниках-конденсаторах РТО с помощью изменения температуры ТГА посредством имеющихся в его составе электронагревателей.[3]

В ДФК, в отличие от традиционного однофазного наружного гидравлического контура, с изменением тепловой нагрузки существенно изменяется масса циркулирующего жидкого теплоносителя. Поэтому ТГА должен позволять выдавать и воспринимать сравнительно большие объемы жидкости и должен обладать малой упругостью.

Подача жидкого аммиака в ИТ обеспечивается за счет постоянного перепада давления, создаваемого ЭНА между жидкостной и паровой магистралями ДФК. Необходимый перепад давления в напорной магистрали перед ИТ обеспечивается настройкой и установкой дроссельных элементов в жидкостной магистрали замкнутого гидравлического кольца.

Настройка гидросопротивления дроссельных элементов РПЖ на величину, превышающую в 2÷3 раза сопротивление остальной части контура, приводит к малым изменениям расхода при изменении паросодержания в контуре, вызванного переходом от «горячего» к «холодному» случаю или изменением подводимой тепловой нагрузки.

Для исключения замерзания рабочего тела в РТО предусмотрена установка в каждом ДФК блока, состоящего из 6-ти охранных электронагревателей.

В ДФК предусмотрены меры, обеспечивающие работу ЭНА в безкавитационном режиме. Наиболее вероятно возникновение кавитации в момент первого пуска ЭНА,

повторного пуска ЭНА, работы ДФК при максимальной тепловой нагрузке. Для обеспечения кавитационного запаса предусмотрены следующие меры:

- использована конструкция электромеханических насосов в составе ЭНА с высокими антикавитационными свойствами (дискового типа);

- обеспечено низкое гидросопротивление участка трубопровода от теплообменников-конденсаторов РТО до ЭНА;

- ЭНА расположены в области ДФК, имеющего низкую температуру в момент пуска контура;

- в составе РТО установлены специальные переохладители, обеспечивающие переохладение жидкого аммиака ниже температуры кипения.

- предусмотрена хорошая очистка теплоносителя от неконденсирующихся газов во время заправки.

- процедура запуска должна предусматривать снижение тепловой нагрузки и возможность повышения абсолютного давления жидкости на время пуска. Это можно сделать с помощью управления электронагревателями ТГА.

Для обоснования принятых конструктивных решений были проведены следующие расчеты:

- тепловой расчет РТО;

- тепловой и гидравлический расчет однофазной петли;

- тепловой и гидравлический расчет ДФК.

Тепловой и гидравлический расчет проведен с помощью программы созданной в среде MathCad.

По результатам расчетов использование двухфазного теплоносителя позволяет снизить массу СТР мощностью до 30 кВт при расстоянии теплопереноса ~50 м примерно в 2 раза, а энергопотребление системы на собственные нужды на порядок.

Результаты сравнения характеристик однофазной и двухфазной системы представлены в таблице.

Мощность системы, кВт	Однофазная система			Двухфазная система		
	Масса системы, кг	Расход теплоносителя, см ³ /с	Потребление энергосистемы, Вт	Масса системы, кг	Расход теплоносителя, см ³ /с	Потребление энергосистемы, Вт
5	350	200	790	361	210	820
10	411	330	810	375	235	845
20	594	490	890	385	280	859
30	820	510	1040	438	305	870

Работы по созданию СТР с ДФК данного типа ведутся в РКК “Энергия”, разработаны чертежи и изготовлены опытные образцы основных агрегатов ДФК для экспериментальной отработки.

Однако, внедрение ДФК в СТР перспективных КС с большим тепловыделением остается до настоящего времени актуальной задачей.

Список литературы

1. Никонов А.А., Горбенко Г.А., Блинков В.Н. Теплообменные контуры с двухфазным теплоносителем для систем терморегулирования космических аппаратов. – М.: Центр НТИ Поиск. Сер.: Ракетно-космическая техника. – М: Машиностроение, 1991.
2. Anfimov N.A., Kopiatkevich R.M., Modern Problems of Thermal Condition Support for Multimodule Space Complexes, Proceedings of the 6th European Symposium on Space Environmental Control Systems, Noordwijk, The Netherlands, 20-22 May, 1997.
3. Кривов Е.В., Дмитриев Г.В., Шилкин О.В. и др. Разработка контурных тепловых труб с кондуктивным и конвективным интерфейсом капиллярных испарителей для двухфазных систем терморегулирования с раскрываемым радиатором. Научное издание «Космические вехи», сборник трудов посвященный 50-летию создания ОАО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, 2009 г.