

УДК 62-6

СТРУЙНО-КАПЕЛЬНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ. МАТРИЧНЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ

Иванова О.А., Болбас И.А., Логоненков Р.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сапун Н.Н.

Для радиоэлектронной, вычислительной и криогенной техники, авиации и космонавтики характерно использование особого типа теплообменных аппаратов – компактных, таких как тепловые трубы, матричные, капельные и струйно-капельные излучатели и др. При их создании и расчете необходимо учитывать не только особенности, характерные для данного типа теплообменника, но и условия, в которых теплообменник работает.

Струйно-капельный излучатель. В нем рабочая жидкость не заключается внутри кожуха или систем труб, вместо этого нагретая жидкость непосредственно выводится в космическое пространство, где она охлаждается вследствие процессов излучения без участия конвекции и теплопроводности. Это может привести к уменьшению массы единицы теплообменной поверхности и излучателя более чем на порядок и к повышению компактности теплообменного аппарата.

На рис.1 приведена схема такого теплообменника, получившего название жидкостного капельного радиатора (ЖКР), в нашей стране он больше известен как струйно—капельный излучатель (СКИ).

Теплоноситель 2 прокачивается через теплообменник 1 и подается в генератор капель 3, который представляет собой камеру высокого давления с большим числом отверстий микронного размера. Жидкость в виде струек вытекает из отверстий. Под воздействием вибрации эти струйки разбиваются на капли 4 определенного диаметра с равными промежутками между ними. Разбиение обеспечивает максимальную свободную поверхность капли при заданном объеме. Путем ориентации отверстий создается направленный поток капель, падающий в коллектор 5. Отвод теплоты происходит на участке между генератором и коллектором только излучением. В коллекторе капли объединяются в единый поток, который с помощью насоса 6 возвращается в теплообменник 1.

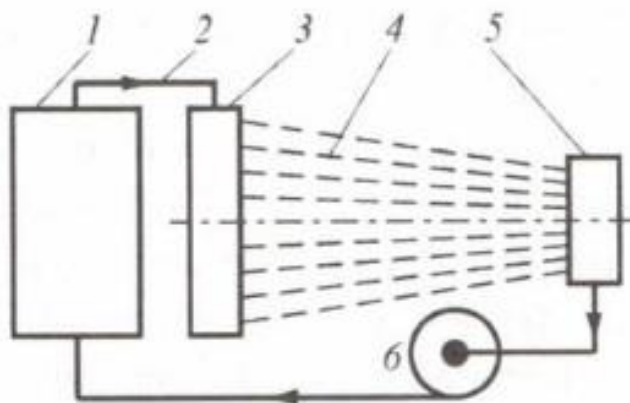


Рисунок 1. Схема струйно-капельного излучателя
(1 – теплообменник, 2 – теплоноситель, 3 – генератор капель, 4 – капли, 5 – коллектор, 6 – насос)

Преимущества СКИ:

1. Компактность.
2. Излучающая поверхность СКИ нечувствительна к воздействию потоков микрометеоритов (исключая возможность пробоя).

3. Обеспечивается достаточная простота развертывания СКИ в космосе при помощи раздвижного устройства.
4. В сложенном положении СКИ занимает малый объем в грузовом отсеке транспортного корабля или ракеты-носителя.
5. В течение длительного периода времени СКИ могут работать в заданном температурном интервале.

При разработке энергосистем, работающих в условиях Земли, обычно стремятся спроектировать силовые установки с высоким термическим КПД или низкими эксплуатационными расходами. Количество теплоты, которое может быть отведено излучением от площади определенных размеров, обычно меньше количества теплоты, которое можно было бы отвести при наличии конвекции и теплопроводности. Особенности теплообмена в космическом пространстве не позволяют использовать для обеспечения теплового режима готовые, апробированные в земных условиях технические решения. Трудности же, а иногда и невозможность воспроизведения условий теплообмена космического аппарата во время полета, при испытаниях в земных условиях делают часто расчет единственным средством получения информации о распределении температур по элементам космического аппарата. Только математическое описание и тепловой расчет дают возможность наиболее полно и однозначно представить тепловые взаимодействия, выделить основные параметры, характеризующие их, проверить влияние этих параметров на температурное состояние тех или иных элементов и в конечном счете получить зависимости, позволяющие прогнозировать возможные температуры при любых внешних и внутренних тепловых возмущениях.

При выполнении теплового расчета СКИ можно отметить следующие основные задачи:

- 1) определение параметров СКИ и проведение тепловых расчетов для сравнения различных вариантов и выбора оптимального;
- 2) выбор теплоносителя, его расход, запас для компенсации потерь за счет испарения;
- 3) определение необходимой площади радиационных поверхностей (размеров капель и капельного листа, параметров генератора и коллектора капель);
- 4) определение скорости и времени полета капель от генератора до коллектора капель.

При разработке расчетной модели СКИ сначала выбирают его схему. Излучающей поверхностью СКИ является капельный поток, который может иметь разные геометрические параметры и оптические характеристики, поэтому рассматривают два варианта расчета СКИ.

Первый вариант – при низкой капельной плотности капли излучают тепловую энергию независимо друг от друга. Такой вариант СКИ отличается наименьшей массой при наибольших размерах. Такой СКИ может применяться при использовании в качестве теплоносителей вакуумных масел или силиконовых жидкостей, которые обладают высокой излучательной способностью (от 0.5 до 0.85). В данном случае используется модель оптически тонкого капельного слоя.

Второй вариант расчета СКИ – при более высокой капельной плотности. В этом случае возрастает оптическая толщина капельного листа, поэтому излучение капель, расположенных ближе к центральной части листа, ослабляется соседними каплями. Тем не менее, суммарная излучательная способность капельного листа увеличивается благодаря многократному отражению соседними каплями, в связи с чем снижается необходимая площадь излучения листа.

При выборе теплоносителя для СКИ возникает много проблем, которые требуют своего решения, но главной является проблема обеспечения минимальных потерь капельной жидкости за счет испарения.

Матричные теплообменники. Матричные теплообменные аппараты — аппараты нового типа, как в конструктивном, так и в технологическом отношении. Поверхностью теплообмена в таких аппаратах служит матрица – многослойный пакет, набранный из

металлических сеток или перфорированных пластин (ПП), между которыми в чередующемся порядке уложены прокладки (рис. 2). Слои сеток или перфорированных пластин являются теплопередающими элементами матричной поверхности. Прокладки определяют число и форму каналов для движения теплоносителей, а их перемычки формируют стенки между каналами и обеспечивают герметичность матрицы.

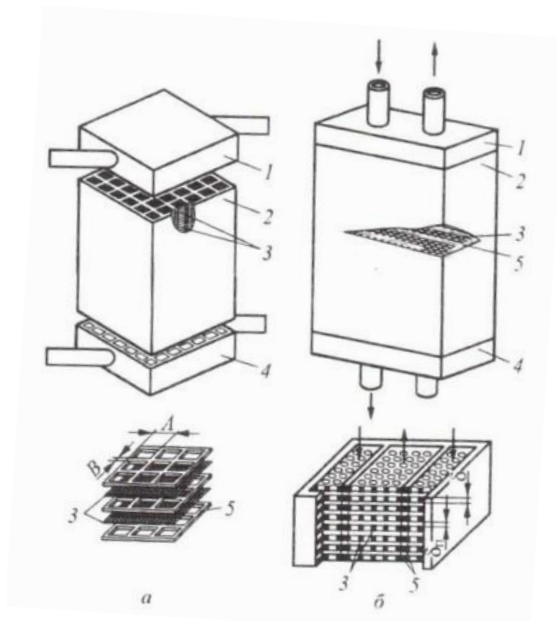


Рисунок 2. Конструктивные схемы матричных теплообменников: сетчатого с шахматным расположением каналов (а), из ПП с параллельным расположением каналов (б); (1, 4 – коллекторы, 2 – матрица, 3 – элемент поверхности теплообмена, 5 – прокладка)

Преимущество матричных теплообменников перед пластинчато-ребристыми – это работоспособность при высоком давлении (20 МПа и выше). Однако широкое применение этих аппаратов ограничено относительно сложной, но в то же время прогрессивной и перспективной технологией их изготовления.

В сетчатых теплообменниках применяют плетеные или листовые сетки из меди, латуни или других металлов с высокой теплопроводностью, в качестве прокладок используют неметаллические материалы с малой теплопроводностью: бумагу, стеклоткань, полимерные материалы и др. Герметизацию таких конструкций осуществляют с помощью специальных клеев, наносимых на прокладки. В таких конструкциях теплопроводность матрицы в поперечном направлении (вдоль слоя элемента) велика, в продольном (от коллектора к коллектору) — мала. Эта особенность конструкции матричных аппаратов обуславливает их высокую эффективность.

Для изготовления матричных аппаратов из ПП или листовой сетки применяют вакуумно-диффузионную сварку. В таких сварных аппаратах прокладки выполняют из металла, теплопроводность которого значительно ниже, чем у ПП. Сварные теплообменники работоспособны при высоком давлении (до 40 МПа) и в широком диапазоне температур (от 5 до 673 К) при использовании различных теплоносителей — воды, масла, керосина, воздуха, гелия и других жидкостей, и газов. Теплопроводность таких матриц в продольном направлении выше, чем у клееных, однако отклонение размеров каналов от номинальных в таких конструкциях минимально.

Сетчатые теплообменники можно изготавливать из латунной плетеной сетки, что обуславливает определенную схему расположения каналов в поперечном сечении матриц теплообменника. Наиболее рациональным является шахматное расположение каналов квадратной формы со сторонами, параллельными проволочкам сетки (рисунок 3, а).

В конструкции с параллельными каналами (рисунок 3, б) сечения каналов для разных потоков могут быть различными в зависимости от ширины каналов при одинаковой длине. В этом случае плетеную сетку располагают в диагональном направлении, при котором проволочки составляют угол в 45 градусов с направлением каналов.

Теплообменники с матрицами из ПП могут иметь каналы самой разнообразной формы и расположения по сечению аппарата; отверстия перфорации могут быть квадратными,

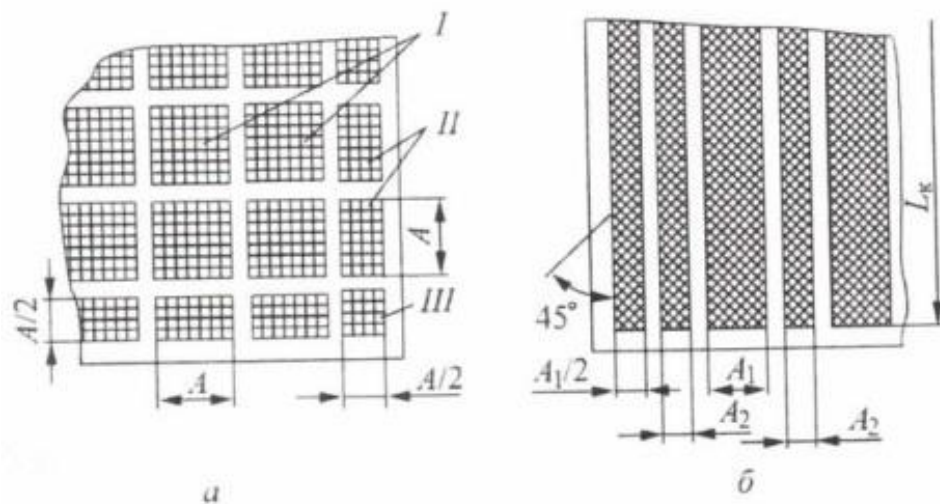


Рисунок 3. Схемы расположения проволочек плетеной сетки по отношению к сторонам каналов при шахматном (а) и параллельном (б) размещении

круглыми, овальными, щелевыми и др. (рисунок 4). Исходными заготовками служат листы из меди, алюминия, алюминиевых и медных сплавов различной толщины. Шаг расположения отверстий и их диаметры могут меняться в широком диапазоне.

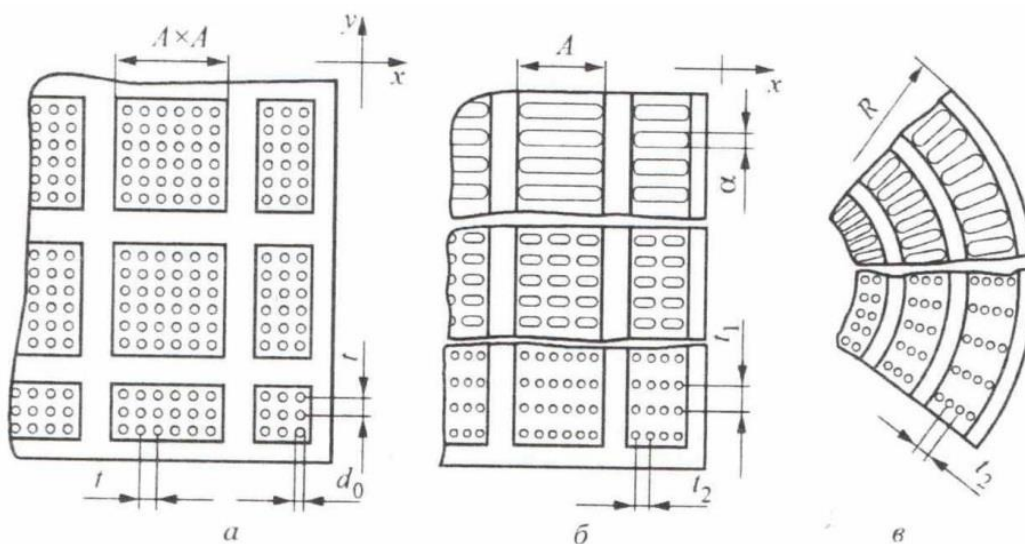


Рисунок 4. Формы отверстий перфорации и схемы их рационального размещения в пластине при шахматном (а), параллельном (б) и концентрическом (в) расположении каналов

Наибольшее распространение получили ПП с круглыми отверстиями, применимые практически при любом расположении каналов.

Матричные поверхности теплообмена имеют регулярную структуру, их геометрические характеристики можно точно рассчитать по известным исходным параметрам.

Тепловой и гидродинамический расчеты матричных теплообменников принципиально не отличаются от расчетов пластинчато-ребристых аппаратов. При расчете

гидродинамического сопротивления также следует определять все составляющие потерь давления, однако в матричных аппаратах основную долю потерь составляет собственное гидравлическое сопротивление матриц.

Литература

1. Теплотехника: учебник для вузов / под общ. ред. А.М. Архарова, В.Н. Афанасьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2011. – 792 с. : ил.