

# Тепловые трубки и применение технологий на их основе для охлаждения узлов компьютеров и радиоаппаратуры

на страницах сайта

[electrosad.ru](http://electrosad.ru)

[Процессор и ..](#)

[Охлаждение ПК](#)

[Статьи](#)

[Полезные советы](#)

[Ссылки](#)

[Электроника](#)

[Linux](#)

[Список литературы](#)

[Проекты, идеи](#)

[Карта сайта](#)

Кратко рассмотрим конструкции нескольких кулеров на тепловых трубках. Этот вид теплообменных устройств известен уже давно, я встречал упоминания о них в книге по теплообмену издания 1988 года. Уже тогда они применялись в технике. Некоторые авторы вводят читателя в заблуждение, говоря о необходимости ориентировать тепловые трубки определенным образом в пространстве. Это требования относятся только к термосифонам. Тепловые трубки работают в любом положении. Отличие Вы можете найти на просторах internet введя в строку поиска слово "термосифон".

## Немного истории

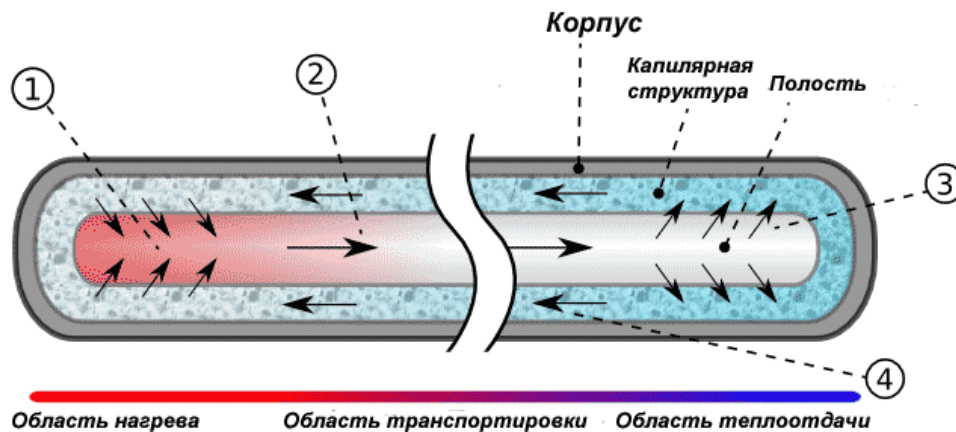
Впервые идея тепловой трубы была предложена Гоглером (ф-ма Дженерал Моторс корп.) и описана в пат. США 2 350 348 (заявл. 21.12.1942, опубл. 6.06.1944)

Первая статья обзорного характера по тепловым трубам в СССР вышла в 1969 (Москвин Ю.В., Филиппов Ю.А. Тепловые трубы. "Теплофизика высоких температур", 1969., т.7, № 4, с. 766-775 ).

В настоящее время широкое распространение получили кулеры на тепловых трубках.

Эффективность которых объясняется их принципом работы.

Теплосъем в них обеспечивается за счет испарения теплоносителя в зоне тепловыделения. А удельная теплота испарения теплоносителя, в сотни раз выше чем удельная теплоемкость воды, одного из лучших теплоносителей работающего при атмосферном давлении и в приемлемых для электронной аппаратуры температурах (30-90 °С). Для этилового спирта это около 40 раз. В соответствующее количество раз и больше отводимая от охлаждаемого объекта мощность.



**Здесь:**

1. Область испарения рабочей жидкости и отбора тепловой энергии,
2. Пары перемещаются по полости, снижая температуру горячего конца,
3. При охлаждении пар конденсируется в жидкость, и поглощается капиллярной структурой отдавая тепловую энергию,
4. Теплоноситель по капилляру возвращается к горячему концу.

Этот замкнутый цикл происходящей в герметичном объеме обеспечивает транспортирования тепла от его источника в зону теплосъема. Главная их особенность, которая способствует их применению — низкое тепловое сопротивление между холодным и горячим концами.

Это тепловое сопротивление тем меньше чем больше диаметр тепловой трубки, что и понятно. Толстая трубка не только содержит большой объем теплоносителя, но и имеет меньшее сопротивление.

Основные достигнутые характеристики современных тепловых труб:

Рабочий диапазон температур	4 - 2300°K
Скорость теплопередачи	звуковой предел

Мощность теплопередачи кВт/ площадь сечения	до 20 кВт / см <sup>2</sup>
Ресурс работы	20 000 ч

В зависимости от интервала температур могут быть использованы самые различные вещества приведенные к жидкой фазе вещества используемого в качестве теплоносителя - от сжиженных газов до металлов: гелий (-271 ... -269°C), аммиак (-60 ... +100°C), фреон-11 (-40 ... +120°C), ацетон (0 ... +120°C), вода (30 ... 200°C), ртуть (250 ... 650°C), натрий (600 ... 1200°C), серебро (1800 ... 2300°C) и -т.д.

### Теплоносители кулеров на ТТ

Из физики известно, что на испарение жидкости необходимо затратить много большую энергию чем на ее нагрев. Сравните удельную теплоемкость и удельную теплоту испарения жидкостей приведенную в Таб.1. Это свойство жидкостей и используется в тепловых трубках.

В качестве теплоносителя в тепловых трубках можно применять множество жидкостей с низкой температурой испарения.

Вещество	Удельная теплоемкость, Дж/кг*град	Температура кипения, град.С	Удельная теплота испарения, Дж/кг
Ацетон	2,18	56,2	524
Бензол	1,705	80,2	396
Сероуглерод	1,006	46,2	348
Спирт метиловый	2,5	64,7	1110
Спирт пропиловый	2,39	96	683
Спирт этиловый	2,43	78,3	846
Эфир этиловый	2,35	34,6	351
Вода	4,18	100/30( 0,05кг/см <sup>2</sup> )	2260/2400( 0,05кг/см <sup>2</sup> )
Сложные составы	-	30 - 45	100 - 2400

Таблица 1.

Из всего перечня наивысшая теплота испарения, как видно из таблицы 1, у самой распространенной жидкости - воды. Это наиболее эффективный теплоноситель работающий на испарение при реальных температурах в электронной аппаратуре.

Вы можете этот список дополнить фреоном, аммиаком и другими соединениями, но нас интересует диапазон температур от +20 до +80 град.С, поэтому для наглядности этого хватит.

Посмотрим таблицу 1.

Не беда что температура кипения перечисленных жидкостей находится в диапазоне от 100 до 34 град.С. Есть простой способ создать условия, чтобы жидкость кипела при заданной температуре. Просто надо снизить давление. Зависимость температуры кипения от давления для воды показана на Рис.1.

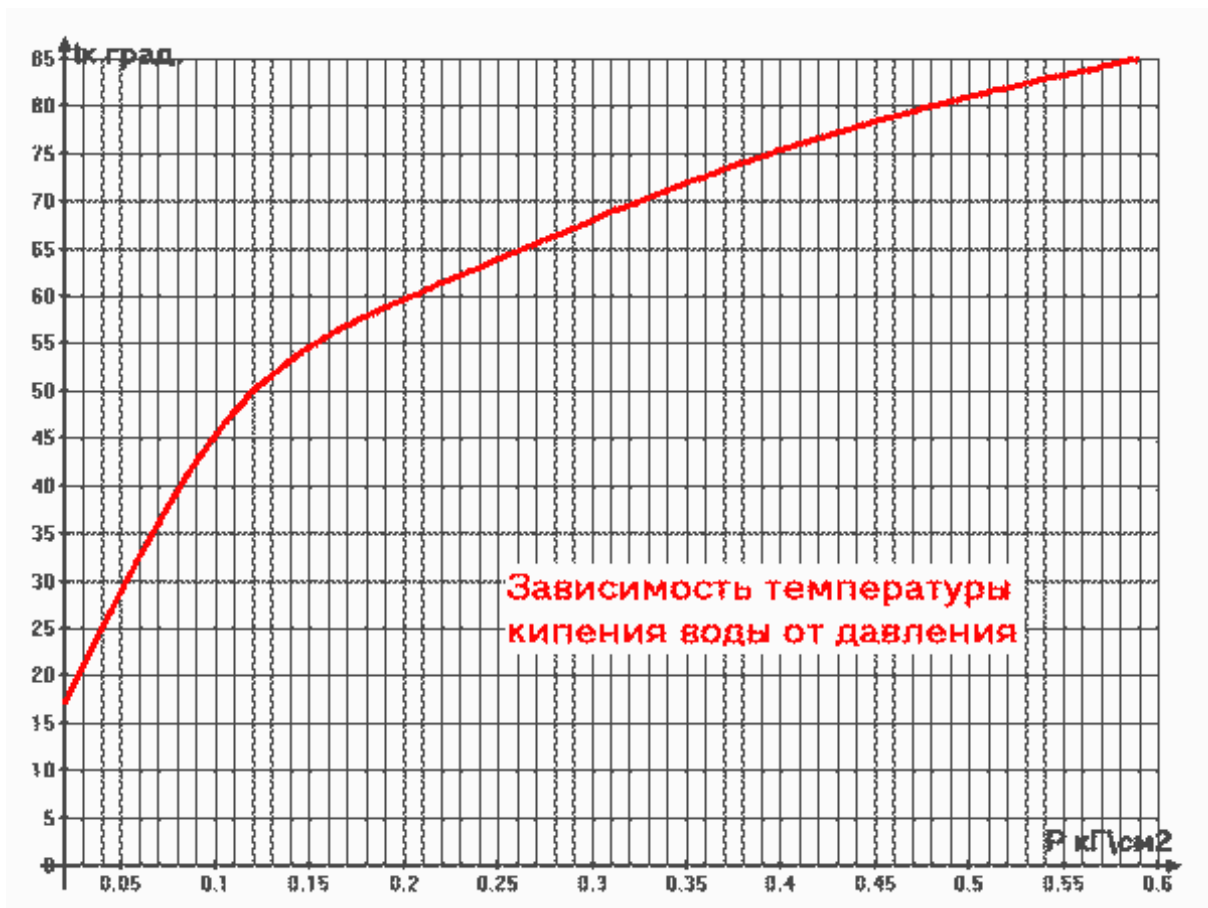


Рисунок 1.

Если Вам интересно, то с достаточной точностью зависимость  $t(P)$  описывается выражением:

$$t(P) = -1778.8228146 \cdot P^6 + 6411.834389 \cdot P^5 - 9145.84419 \cdot P^4 + 6585.9358278 \cdot P^3 - 2560.6764708 \cdot P^2 + 580.30013 \cdot P + 6.717845$$

Рассмотрим последний столбец табл.1. Это удельная теплота испарения, она показывает сколько Дж тепловой энергии можно отвести при испарении 1 кг данной жидкости. В этом столбце не имеет конкурентов ВОДА! Ближайший соперник (спирт метиловый) имеет вдвое худшее значение! Да и по токсичности и другим параметрам она не имеет конкуренции. Энергия затраченная на испарение описывается формулой [1]

$$Q = r \cdot m \text{ (Дж), [ф.1]}$$

здесь:

Q - энергия затраченная на испарение жидкости,

r - удельная теплота парообразования (испарения),

m - масса испарившейся жидкости.

Напомню 1 Дж = 1 Вт\*сек или 1Вт = 1 Дж/сек.

Эта формула показывает, что энергия испарения зависит от жидкости (величины r - удельной теплоты парообразования) и от массы испарившейся жидкости (участвующей в теплообмене).

Еще множество параметров влияют на эффективность отвода тепла с помощью ТТ.

В первую очередь это кратность обращения теплоносителя в единицу времени. Ее определяют: эффективность теплосъема с горячего конца трубки, сопротивление движению нагретого пара при его движении от горячего к холодному концу тепловой трубки, пропускная способность капиллярного канала для оттока конденсата воды от холодного конца ТТ.

Перечисленное позволяет сделать однозначный вывод  
- чем больше диаметр ТТ тем эффективнее ее работа.

Пермская компания "Системы СТК" приводит следующие данные по связи отводимой тепловой мощности и диаметра тепловой трубки:

Приводим таблицу отводимых мощностей для трубок с любой пространственной ориентацией.

Диаметр трубки,  
мм

Отводимая тепловая  
мощность,

	Вт (не менее)
3	5
6	12
8	25
10	35
12	50
16	70

**При вертикальной ориентации трубы (испаритель внизу) и при небольших отклонениях от вертикали, отводимая тепловая мощность может быть увеличена в 2-3 раза по сравнению с указанной в таблице.**

Еще одно требование оказывающее существенное влияние на эффективность работы кулера на тепловых трубках:

**Это отсутствие промежуточных контактных поверхностей, другими словами - непосредственный контакт ТТ с охлаждаемой поверхностью. Как это делается на кулерах IH-4050 hP производства ICE HAMMER Corporation и новых кулерах других производителей.**

**Каждый тепловой контакт и теплопроводящий элемент увеличивает тепловое сопротивление конструкции!**

При тепловом сопротивлении лучших кулеров на тепловых трубках  $R_t$  порядка 0,1 град/Вт и менее, тепловое сопротивление контактной поверхности приближается или превышает указанную для кулеров величину. Это резко снижает тепловой поток. Поэтому оставляя только одну контактную поверхность "Тепловая Трубка кулера - охлаждаемая поверхность" повышаем эффективность теплоотвода.

Рисунок 2.

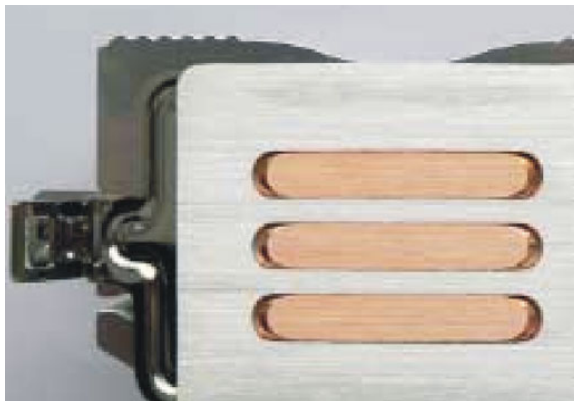


Рисунок 3.



**Важно!**

**До тех пор пока теплоноситель в кулере на тепловых трубках не испаряется (не закипает), ее тепловое сопротивление велико и определяется только способностью отводить тепло конструкцией основания!  
Это много меньше кулера на ребристом радиаторе!**

## Технологии

### *Heat Transporting System (HTS) в IH-4200hp*

В декабре 2005 года компания ICE HAMMER Electronics представила новый вид кулеров на тепловых трубках высокого давления построенных на основе новой технологии Heat Transporting System (HTS).

Не смотря на имеющиеся публикации, нельзя не сказать несколько слов об этой системе.

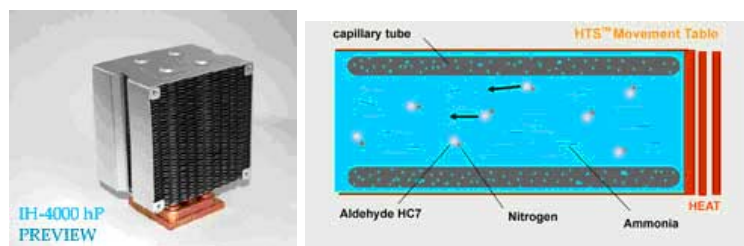


Рисунок 4.

Это система находится в промежуточном положении между Тепловыми Трубками и жидкостными системами охлаждения. В качестве активного тела в ней используется смесь состоящая из смеси воды (90%) с примесями азота (0,3%), аммиака (7%) и альдегида HC 7 (2,7%) находящаяся при атмосферном давлении. Эта смесь закипает при ее температуре от 25 до 50 град. Ее особенность высокое содержание воды, которая тоже работает как теплоноситель. Образующиеся газовые пузырьки поднимаясь к охладителю увлекают за собой воду и работают как естественный насос. Этим ускоряется циркуляция воды по сравнению с обычным теплообменом через конвекционные потоки. Компания обещает повышение эффективности на 40% по сравнению с технологией ТТ и максимуме эффективности в диапазоне мощности тепловыделения 150 -:- 175 Вт.

Учитывая гравитационную физику процессов к данному кулер можно предположить, что его эффективность будет максимальна при нахождении трубок в вертикальном положении.

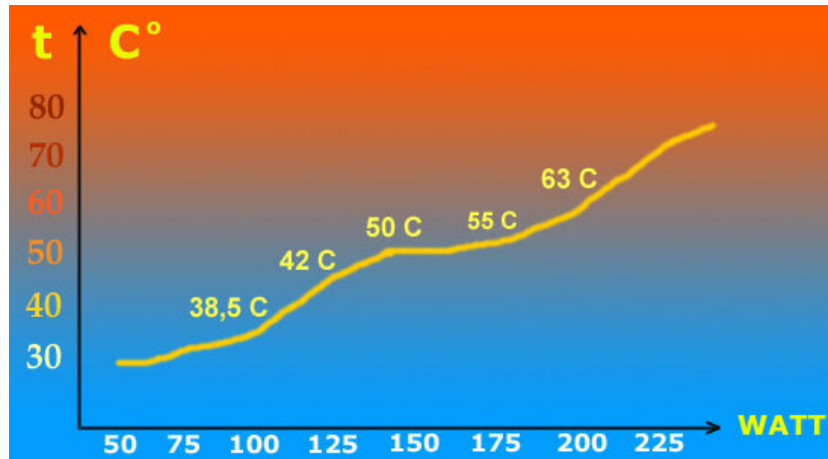


Рисунок 5.

Может быть не стоило повторять имеющуюся информацию, но этот кулер имеет одну очень важную особенность которую должны знать и о которой я скажу ниже.

По графику на рис. 5 можно предположить, что при температуре порядка 50 град.С кипение смеси наиболее эффективно.

Посмотрим как меняется тепловое сопротивление кулера IH-4200hp в заявленном производителем диапазоне температур показанном на рис.5.

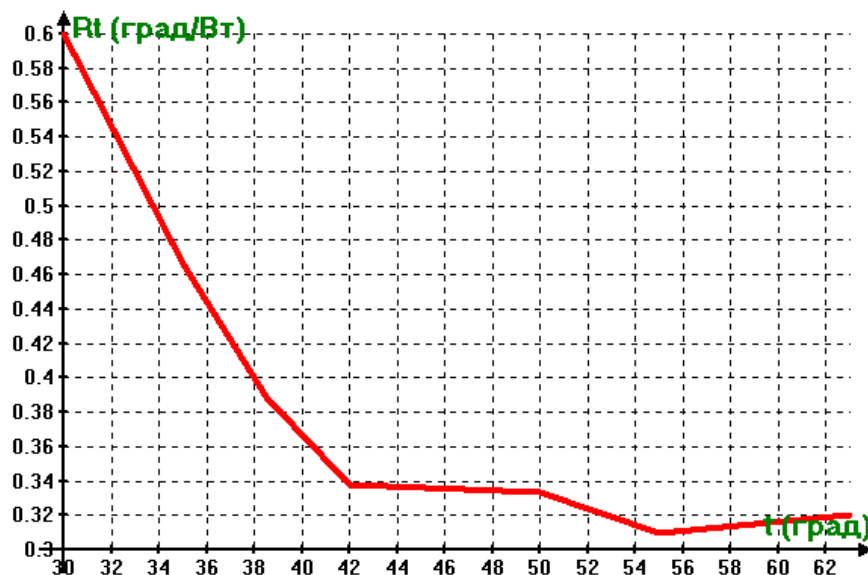


Рисунок 6.

Из графика на рис.6 хорошо видно, что данный кулер выходит на номинальное тепловое сопротивление при температуре источника тепла выше 42 град.С. Это и есть реальная температура кипения смеси.

При малых тепловыделениях процессора (до 100 Вт) тепловое сопротивление кулера не из лучших (0,6 град/Вт при тепловыделении 50 Вт и 0,385 град/Вт при 100 Вт), но при росте тепловыделения/температур свыше 125 Вт/42 град.С теплоноситель выходит на оптимальный режим кипения, что стабилизирует тепловое сопротивление кулера на уровне 0,338 - 0,31 град/Вт, с последующим ростом на мощности тепловыделения 200 Вт до уровня 0,32 град/Вт. Диапазон рабочих температур данного кулера ограничен сверху 63 градусами при отводимой мощности до 200 Вт.

Те кто решил использовать этот кулер должен помнить, что это горячий кулер и поэтому он требует аккуратного нанесения термоинтерфейса, который должен обладать с низким тепловым сопротивлением (меньше).

Но, следует отметить, это единственный кулер на технологии ТТ который работает и при температуре во всем диапазоне температур.

Пока единственное решение для процессоров с тепловыделением до 200 Вт.

### **"Тепловая лента" NCU-1000 производства фирмы TS Heatronics**

Еще в 2003 году появились сообщения о производстве нового кулера на "тепловой ленте" он показан на рисунке 7.



Рисунок 7

Было заявлено о множестве преимуществ такой конструкции. От в 10 раз большей эффективности и далее .....

Но поскольку упоминаний о нем больше не было, похоже в серию он так и не пошел.

Да это в общем и понятно.

В плоской конструкции с тонким каналом, выдержать постоянную толщину канала по всей длине ленты очень сложно. Если не сказать невозможно, и даже самые хитрые японцы не в силах убрать деформации ленты при пайке (приварке) тепловой ленты к ребрам, основанию.

Тепловые деформации приводят к сужению канала, ухудшению циркуляции теплоносителя.

### **Celsia Technologies и ее технология "NanoSpreader™".**

Предложенная Celsia Technologies технология "NanoSpreader™" представляет собой дальнейшее развитие круглых "Тепловых трубок" и "Тепловых лент" TS Heatronics.

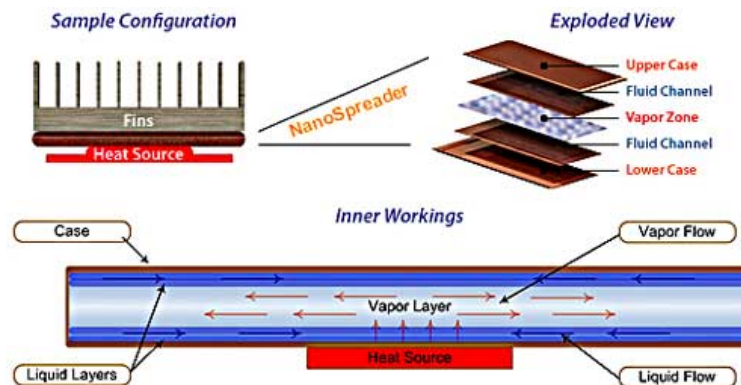


Рисунок 8.

Технология "NanoSpreader™" предлагает теплопроводящую ленту шириной от 70 до 500 мм, толщиной от 1,5 до 3,5 мм, с заявленным тепловым сопротивлением 0,01-0,03 К/Вт.

Теплопроводящая лента представляет собой полую тонкостенную плоскую ленту из меди (Upper Case), заполненную сверх чистой жидкостью находящейся в 2х фазном состоянии (пар - жидкость). Вдоль внешней поверхности этой плоской трубы, в непосредственном тепловом и механическом контакте с ней лежит полотно из медных волокон с микро капиллярной структурой (Fluid Cannel - Liquid Layers)). Конденсированная жидкость по этой микро капиллярной структуре возвращается из зоны конденсации в зону нагрева и испарения. Внутренняя полость заполнена упругим материалом с крупно пористой структурой, назначение которого обеспечить прозрачность канала для паров теплоносителя и постоянство толщины канала по всей его протяженности (Vaper Zone - Vaper Layer). В результате образуется достаточно гибкая структура, которая может работать при механических воздействиях с усилием до 50 кг.

Возможные применения технологии "NanoSpreader™" показаны на рис. 9.



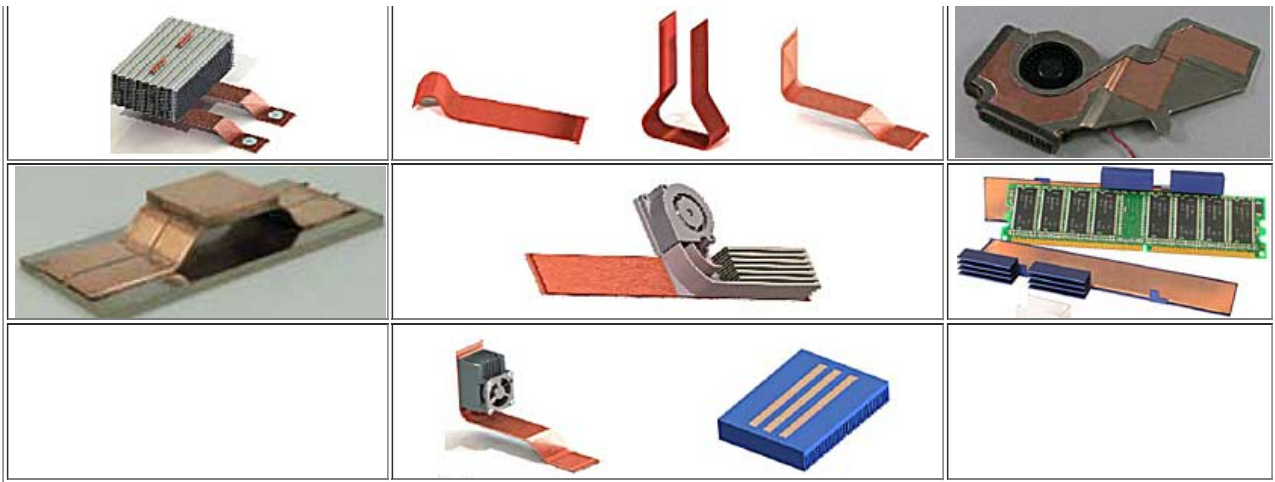


Рисунок 9.

Главным применением теплопроводных лент может быть переброс тепловых потоков от тепловыделяющих узлов к местам где возможен эффективный съем тепла. Это особенно важно для сверх миниатюрной электронной техники, например ноутбуков.

Они так же могут служить для вывода за пределы корпуса радиоаппаратуры или компьютера тепловых потоков от тепловыделяющих узлов.

Одним из применений сверх низкого теплового сопротивления теплопроводной ленты может быть распределение тепла по поверхности радиаторов изготовленных из алюминиевых сплавов.

[Существующие конструкции.](#)

### **Температура закипания теплоносителя в тепловых трубках**

Из данных статей "Собираем компьютер в корпусе "Centurion 590". [Часть 2](#)" (1), "[Очередной глюк Intel?](#)"(2), "[Не обсуждаемая особенность тепловых трубок](#)"(3), "[Сражение суперкулеров на тепловых трубках: Scythe, Thermaltake, Zalman, Doors4ever](#)" (4) хорошо видно, что теплоноситель в тепловых трубках закипает при температуре 47-50 -55 град.С. Температура закипания может быть легко определена по температуре процессора когда он работает с минимальным тепловыделением - при минимальной нагрузке.

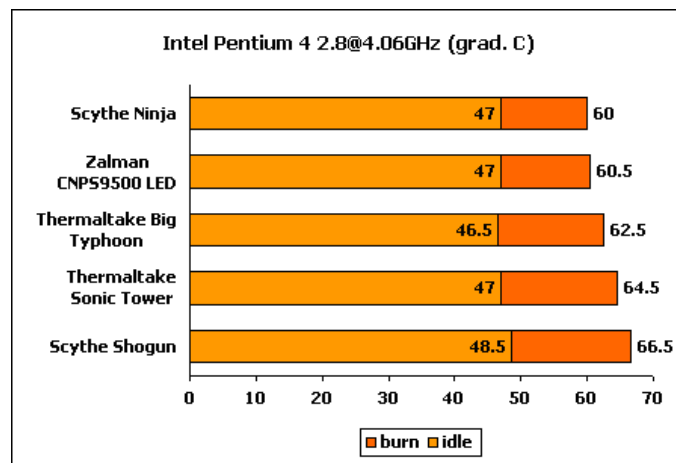


Рисунок 10.

На рисунке 10, взятом из (4) видно, что в режиме *холостого хода* процессор Pentium 4 разогнанный до 4,06 ГГц имел температуру ядра от 46,5 до 48,5 град.С. Это значит, что теплоноситель в тепловых трубках начинал кипеть при данной температуре.

При малом тепловыделении (при температурах ниже точки кипения теплоносителя) кулер практически не отводит тепла (см. выше). (На охлаждение работает только поверхность металлоконструкций основания кулера, эффективность которой мала). В результате температура основания даже при мощности тепловыделения около 10 Вт поднимается до 46- 49 град.С.

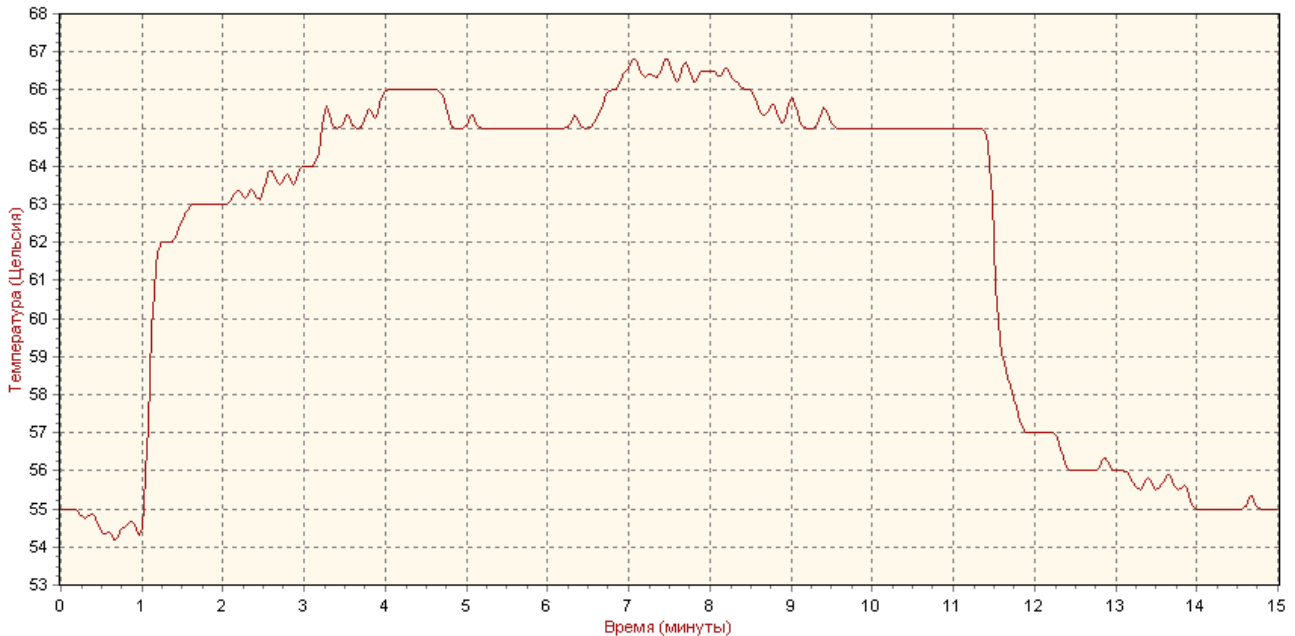


Рисунок 11.

Аналогичная ситуация показана на рисунке 11 взятом из (3).

Понятно, что для нормальной конденсации теплоносителя в тепловых трубках необходимо чтобы **холодный** их конец был холоднее **горячего** хотя бы на 5 - 10 град.С. Тогда тепловые трубки будут обеспечивать охлаждение процессора разогретого до 75 град.С при температуре наружного воздуха в районе 50-55 град.С. Т.е. кулеры на тепловых трубках имеют ограниченный рабочий диапазон температур.

Хотя необходимо искать теплоносители и желательно применение тех, которые имеют разностью температуры кипения - конденсации хотя бы 10-15 град.С. Они позволят иметь большую эффективность и диапазон рабочих температур.

### **Особенности характеристики кулера на тепловых трубках.**

Характеристика кулера на тепловых трубках имеет вид подобный показанному на рис. 4.:

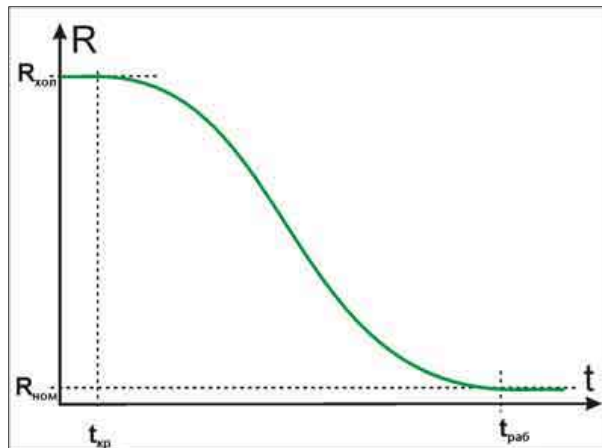


Рисунок 12.

На рисунке 13, показана характеристика построенная для кулера Noctua NH-U12.

На начальном участке (температура от 0 до  $t_{кр}=36$ град.С) охлаждение обеспечивают металлоконструкции кулера. На этом участке его тепловое сопротивление велико, кипения теплоносителя нет.

На следующем участке (температура процессора  $t_{кр}=36$  до  $t_{раб}=55$  град.С) начинает закипать теплоноситель в ТТ, тепловое сопротивление достигает номинального.

Последний участок (температура процессора более  $t_{раб}=55$  градусов) теплоноситель активно кипит, тепловое сопротивление кулера равно номинальному.

Это рабочий участок, на нем и обеспечивается отвод тепла от процессора.

Подробнее см. [Не обсуждаемая особенность тепловых трубок](#)

### **Заключение**



Кулеры на тепловых трубках прочно занимают свою нишу, конкурируя с кулерами на основе ребристых радиаторов по техническим характеристикам. И когда цена не имеет значения, кулеры на тепловых трубках можно применять и при тепловыделении до 100 Вт. Но некоторые модели позволяют работать при тепловыделении процессора от 100 до 200 Вт.

Но кулеры на тепловых трубках сами имея малые тепловые сопротивления (от 0,3 до 0,09 град/Вт) работая на тепловыделении около 100 Вт (и более), требуют применения эффективных термопаст. Тепловое сопротивление применяемых термоинтерфейсов в идеальном случае должно быть менее 10% от теплового сопротивления кулера на ТТ. Это позволит полностью использовать ресурс кулера.

Но поскольку часто это просто нереально, то тепловое сопротивление термоинтерфейса должно по крайней мере учитываться.

При выборе наиболее эффективного кулера на ТТ необходимо выбирать кулер с большим числом тепловых трубок имеющих больший диаметр. Конструкция кулера должна обеспечивать непосредственный контакт ТТ с охлаждаемой поверхностью и иметь площадь оребрения холодной части (охладителя), соответствующее выделяемой мощности.

### **Мы должны помнить:**

1. Тепловые трубки применяемые кулерах для ПК диаметром 6 мм имеют максимальную отводимую мощность в диапазоне от 15 до 25 Вт на трубку в зависимости от ее конструкции;
2. Температура закипания теплоносителя в тепловой трубке (а значит и минимальная температура охлаждаемого объекта) находится в диапазоне от 30 до 55 °С, что определяется давлением в трубке и примененным теплоносителем;
3. Для эффективной работы тепловой трубки необходимо обеспечить эффективный отвод тепла от ее "горячего" конца.

#### **Ссылки:**

1. Самодельные гибкие тепловые трубки. <http://www.casemods.ru/section15/item224>
2. Устройство тепловых трубок, принцип работы <http://www.casemods.ru/section15/item204/>
3. Охлаждение. Системы фазового перехода <http://www.overclockers.ru/lab/15846.shtml>
4. Сравнение кулеров с использованием тепловых трубок [http://www.3dnews.ru/cooling/coolers\\_p4\\_heatpipes](http://www.3dnews.ru/cooling/coolers_p4_heatpipes)
5. NanoSpreader™ [http://www.celsiatechnologies.com/nanospreader\\_technology.asp](http://www.celsiatechnologies.com/nanospreader_technology.asp)
6. Celsia's NanoSpreader™ Technology, Presentation\_Celsia\_NanoSpreader\_en.pdf

апрель 2008, 2013

Сорокин А.Д.



[<<назад>>](#) [<<в начало>>](#) [<<на главную>>](#)

**Попасть прямо в разделы сайта можно здесь:**

[/ Неизвестный процессор /](#) [/ Охлаждение ПК /](#) [/ Электроника для ПК /](#) [/ Linux /](#) [/ Проекты, идеи /](#) [/ Полезные советы /](#) [/ Разное /](#)  
[/ Карта сайта /](#) [/ Скачать /](#) [/ Ссылки /](#) [/ Обои /](#) [/ Форум /](#) [/ Каталог /](#)

При полном или частичном использовании материалов ссылка на "[www.electrosad.ru](http://www.electrosad.ru)" обязательна.

Ваши замечания, предложения, вопросы можно отправить автору через [гостевую книгу](#) или [почтой](#).

Copyright © Sorokin A.D.



2002-2013