

*Воздушные  
системы  
охлаждения*

---

# Анализ систем воздушного охлаждения

Работа систем воздушного охлаждения основана на эффекте охлаждения устройств находящихся в воздушном потоке. Степень охлаждения в таких системах зависит от температуры воздуха, параметров потока и площади поверхности устройства.

Для увеличения площади поверхности устройства используют металлические радиаторы специальной формы, которые крепятся к охлаждаемым деталям посредством термоинтерфейсов

Воздушный поток, охлаждающий устройства, создается вентиляторами (cooler, кулер).

Самый простой, самый доступный и, в большинстве случаев, достаточный способ охлаждения компонентов, безусловно – самый "комплексный". Воздухом охлаждается все. Причем производители железа заинтересованы удерживать тепловые пакеты своих продуктов и всего компьютера, как системы, в пределах этой категории. Оно и понятно – это позволяет удешевить конечный продукт и сделать его более доступным.

Допускает небольшой разгон, аккуратно укладывающийся в новые концепции производителей мат. плат (динамический оверклокинг

При анализе таких систем главное – убедиться в отсутствии вихрей, в том, что горячий воздух быстро покидает корпус, а для поступления холодного не создается никаких препятствий.

Для анализа прохождения потоков воздуха через корпус стандарта ATX можно построить геометрическую модель этого корпуса и проанализировать при помощи компьютерных программ.



# Модель корпуса ATX

В геометрическую модель включим стенки корпуса и основные располагающиеся внутри крупногабаритные детали. В качестве образца рассмотрим Inwin J535 с корпусными вентиляторами в предусмотренных производителем местах, стандартный блок питания с одним вентилятором, Radeon 9000 с пассивным охлаждением, боксовый кулер от Intel, одну планку памяти. Так как в прототипе геометрической модели для подключения накопителя на жестких магнитных дисках использовался интерфейс Serial ATA (характеризующийся малыми размерами соединительного кабеля) вкпе с грамотным расположением IDE шлейфов для подключения приводов чтения/записи компакт дисков, эти и другие провода не будем учитывать

## **В рассмотрение включим следующие элементы, ограничивающие распространение воздушного потока:**

- стенки корпуса (Walls)
- накопитель на жестких магнитных дисках (HDD)
- два устройства чтения/записи компакт дисков (CDROM)
- дисковод для гибких дискет (Floppy Drive)
- видеокарта (Video)
- микросхема памяти (Memory)
- стенки блока питания (Power)

## **В рассмотрение включим следующие элементы для задания температурных нагрузок:**

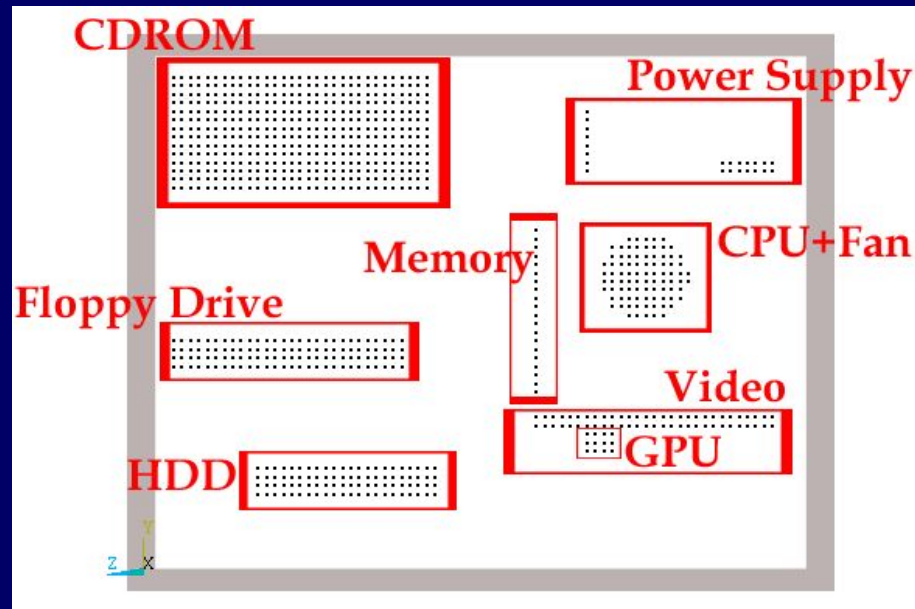
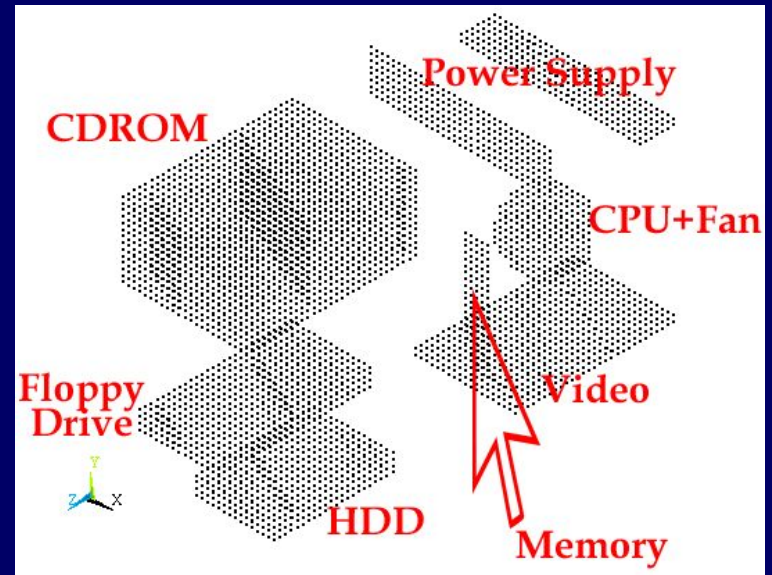
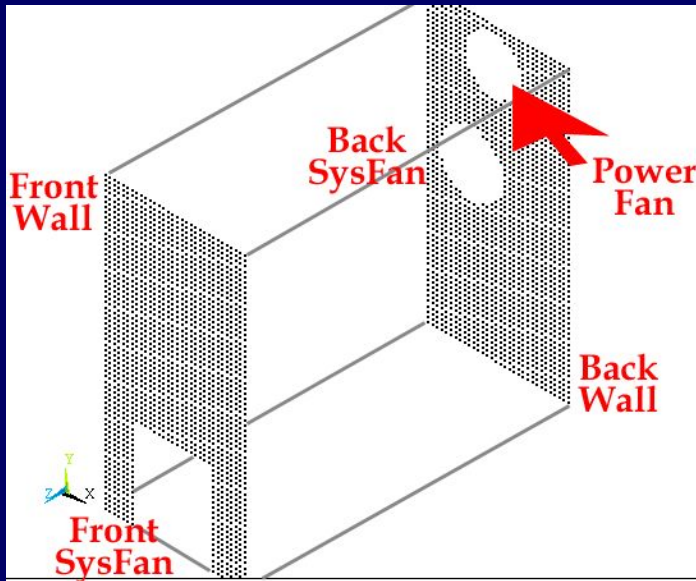
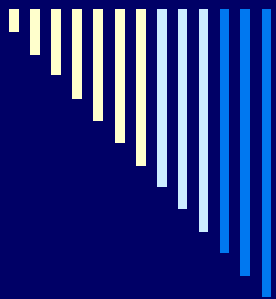
- центральный процессор с радиатором (CPU)
- графический процессор с радиатором (GPU)

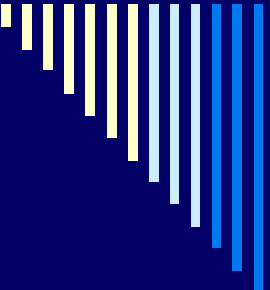
- накопитель на жестких магнитных дисках (HDD)

- микросхемы памяти (Memory)

## **В рассмотрение включим следующие элементы, определяющие скорость воздушного потока:**

- вентилятор процессора (CPUFan)
- вентилятор блока питания (PowerFan)
- вентилятор на передней стенке корпуса (SysFanFront)
- вентилятор на задней стенке корпуса (SysFanBack)



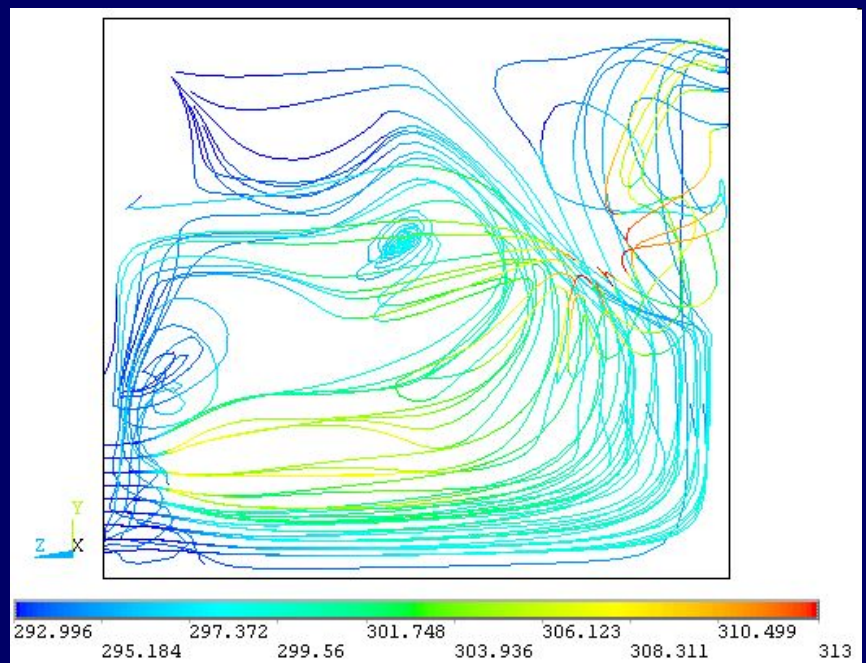
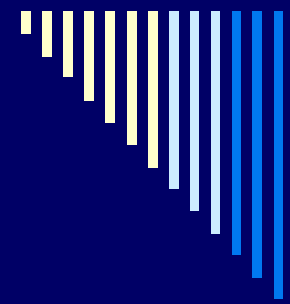


Пусть скорости воздушных потоков на вентиляторах одинаковы по величине во всех случаях, а направление потока воздуха, создаваемого процессорным вентилятором, постоянно и по направлению. Рассмотренные варианты установки вентиляторов с условными обозначениями приведены ниже.

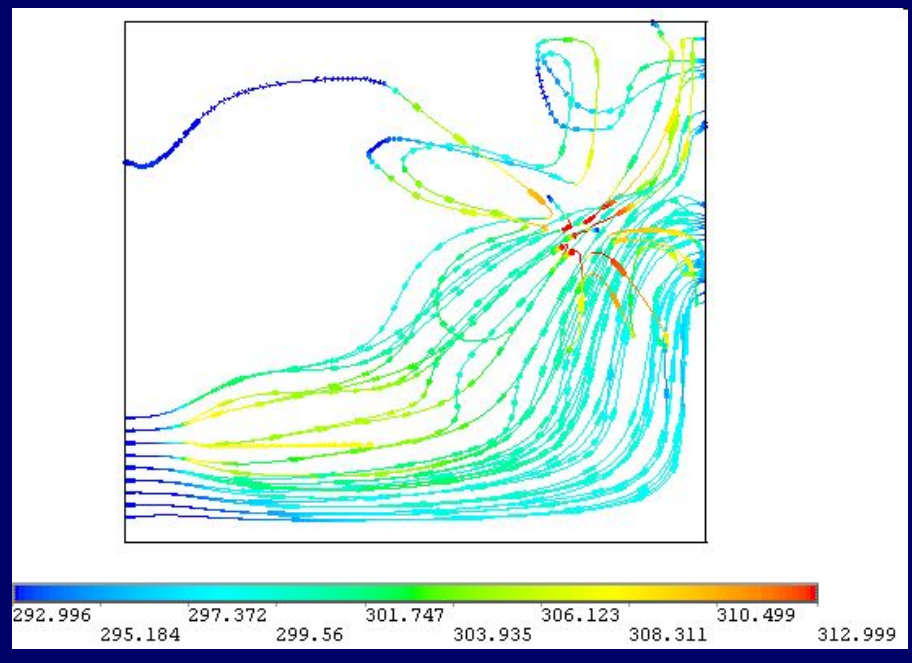
- вдув/ноль – передний вентилятор работает на вдув, задний отсутствует, вентилятор блока питания работает на выдув
- вдув/выдув – передний вентилятор работает на вдув, задний и вентилятор блока питания работает на выдув
- вдув/вдув – передний и задний вентиляторы работают на вдув, вентилятор блока питания работает на выдув
- ноль/вдув – передний вентилятор отсутствует, задний вентилятор работает на вдув, вентилятор блока питания на выдув
- обратный ток – передний вентилятор работает на выдув, задний и вентилятор блока питания работают на вдув

Начальную скорость потока воздуха, создаваемого вентиляторами, можно определить, исходя из их паспортных данных. Для всех вентиляторов известными являются объем пропускаемого воздуха за единицу времени и площадь сечения. При взаимодействии потока воздуха с препятствиями произвольной конфигурации, каковыми можно считать установленные внутри системного блока детали, логично ожидать возникновения турбулентных течений. Учтем это при расчете потоков в данной модели

# Сравнительный анализ систем охлаждения, работающих на вдув/выдув и вдув/вдув.



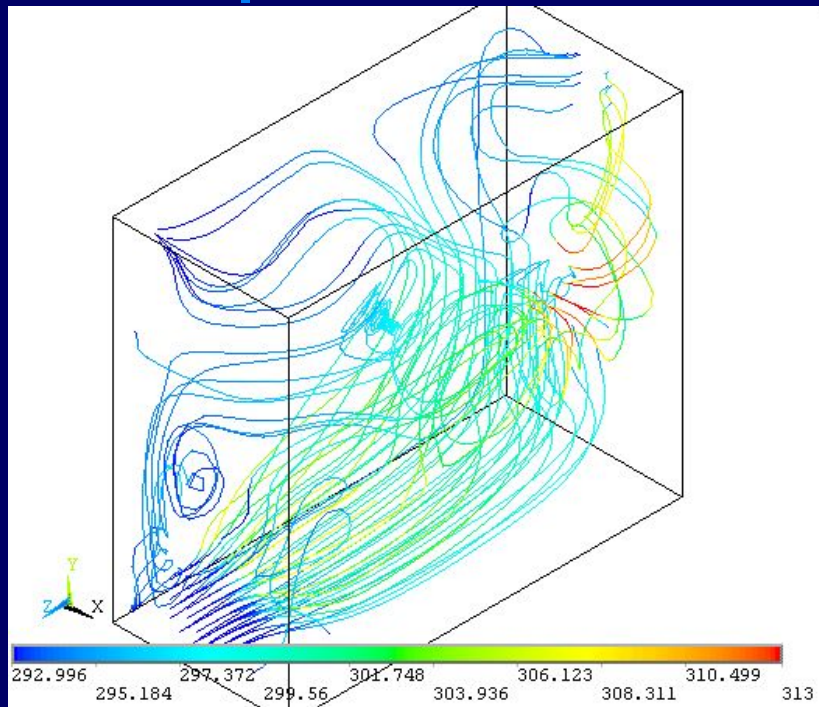
вдув/вдув, линии тока, вид сбоку



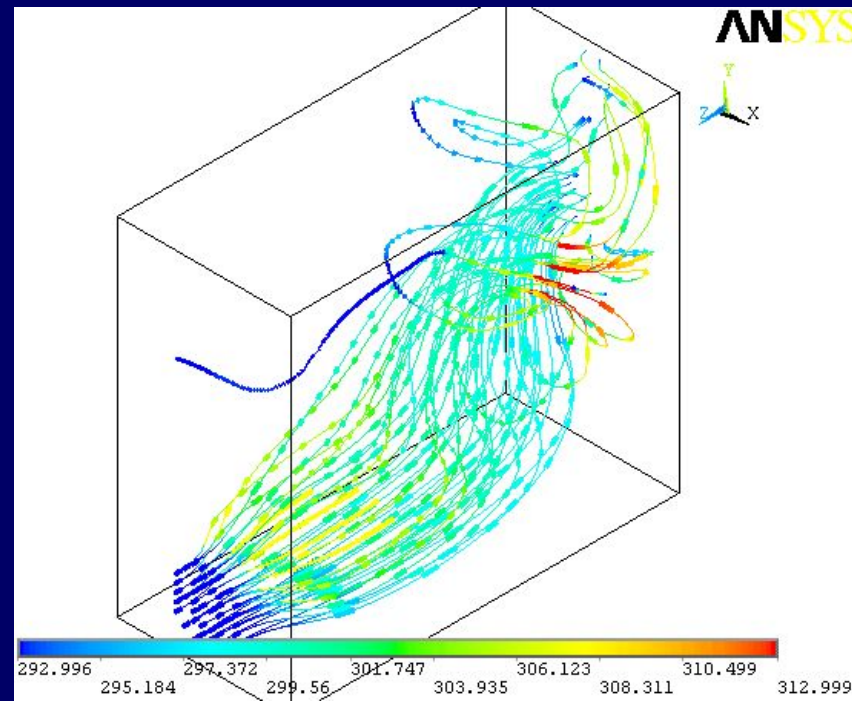
вдув/выдув, линии тока, вид сбоку



# Сравнительный анализ систем охлаждения, работающих на вдув/выдув и вдув/вдув.

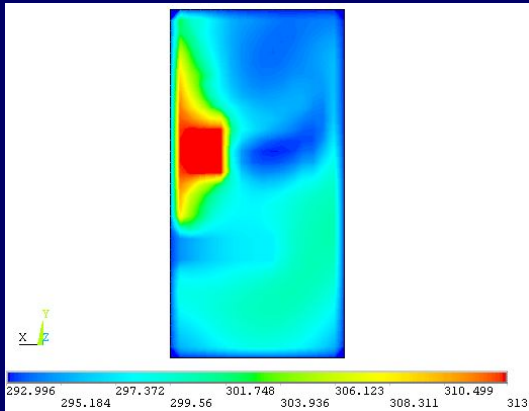


вдув/вдув, линии тока

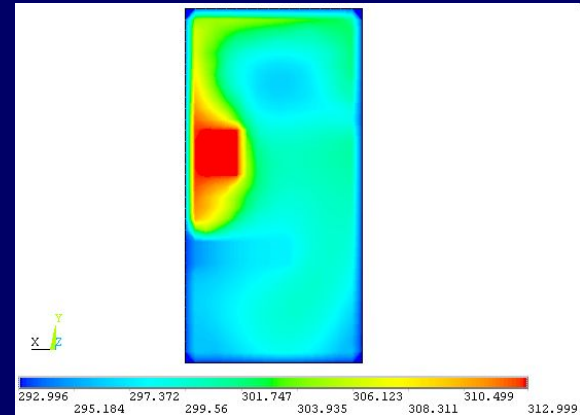


вдув/выдув, линии тока

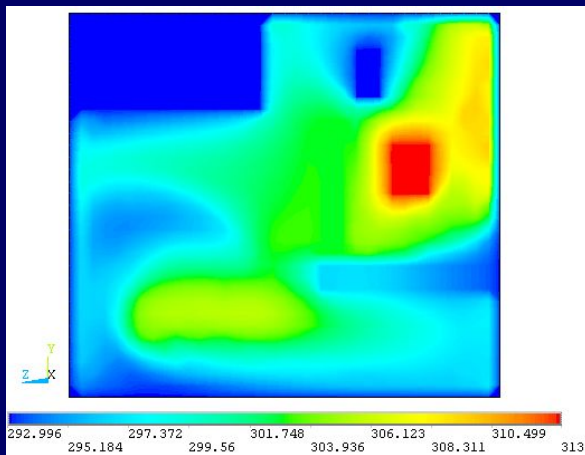
# Сравнительный анализ систем охлаждения, работающих на вдув/выдув и вдув/вдув (распределения температур).



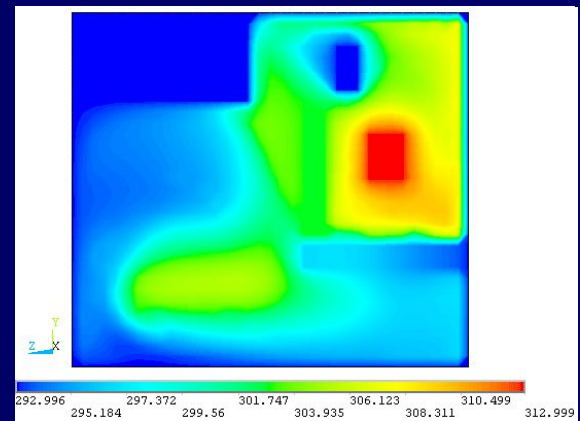
вдув/выдув, температуры, сечение через CPU



вдув/выдув, температуры, сечение через CPU



вдув/вдув, температуры, вид сбоку



вдув/выдув, температуры, вид сбоку





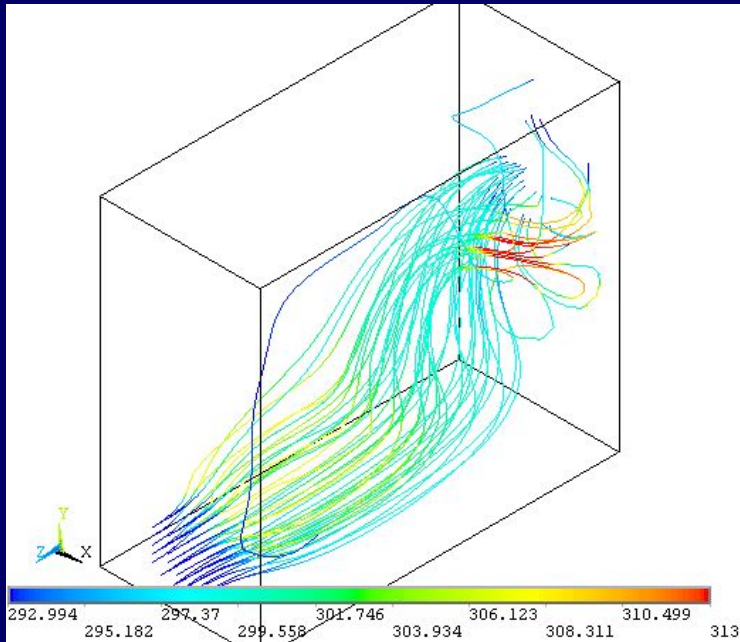
---

## Сравнительный анализ систем охлаждения, работающих на вдув/выдув и вдув/вдув (вывод).

Каждый из вариантов имеет свои преимущества и недостатки. В первом случае горячий воздух быстрее отводится от процессора, но зато во втором случае, при работе вентилятора на задней стенке на вдув, процессор охлаждается более холодным воздухом.

---

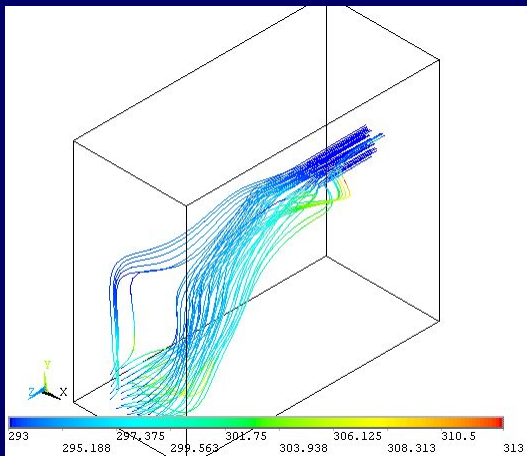
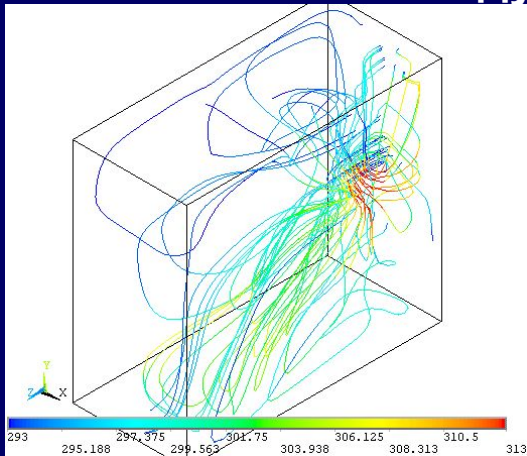
## Сравнительный анализ систем охлаждения, работающих на вдув/ноль и ноль/вдув



Одна из наиболее удачных конфигураций вентиляторов. По своим характеристикам распределений и температур практически не отличается от конфигурации вдув/выдув, используя на один вентилятор меньше (эффективно применяться может только при отсутствии других вытяжных отверстий).

вдув/ноль, линии тока

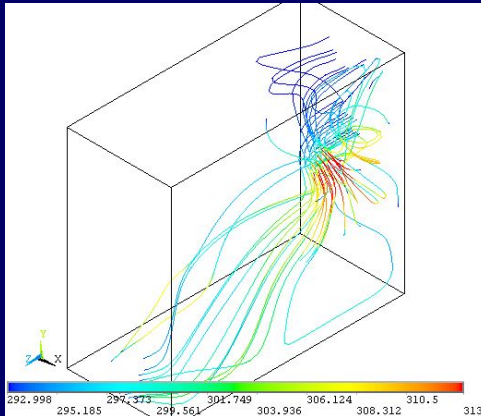
## Сравнительный анализ систем охлаждения, работающих на вдув/ноль и ноль/вдув.



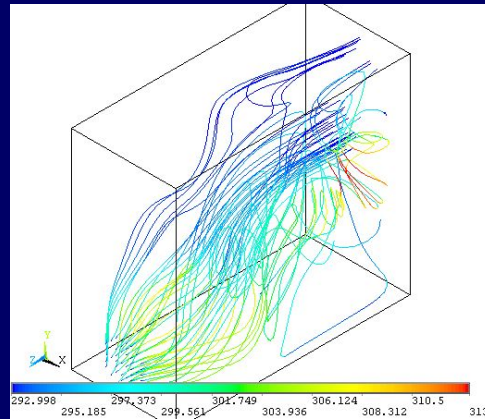
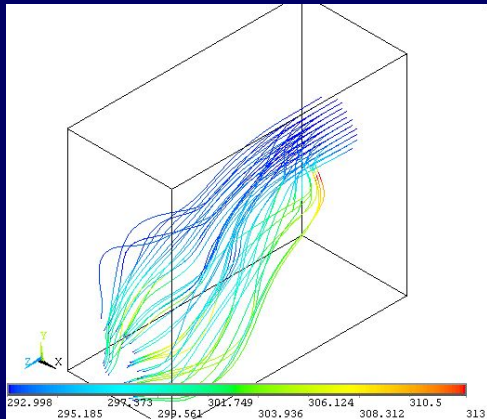
ноль/вдув, линии тока

Поток воздуха, поступающий через вентилятор, расположенный на задней стенке, практически не участвует в отводе тепла с центрального процессора и видеокарты (схема сверху). Это негативно сказывается на образовании зоны слабой конвекции вблизи микросхемы памяти и центрального процессора. При этом установленный на процессоре вентилятор (схема внизу) захватывает и повторно пропускает через себя часть нагретого воздуха. Такая установка вентиляторов одна из самых неэффективных, хотя из несколько симметричной геометрии можно было ожидать конфигурации потоков как в случае вдув/ноль

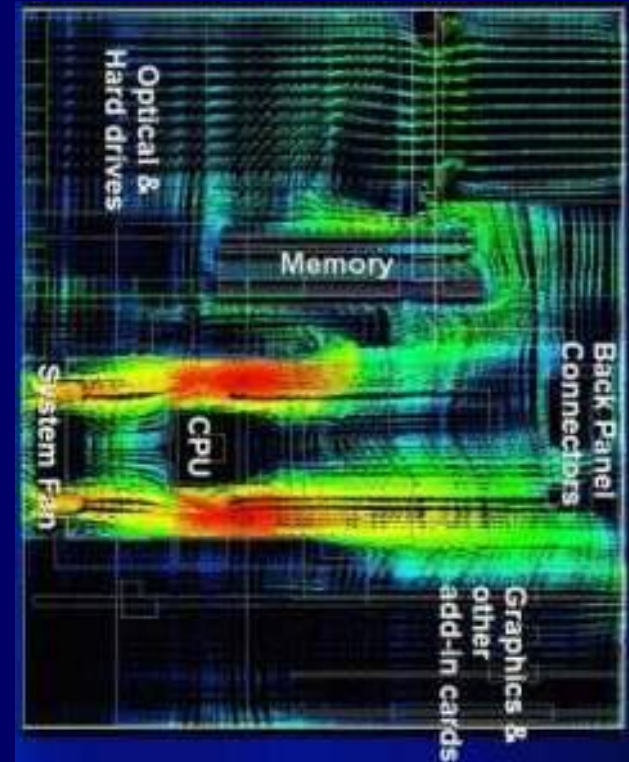
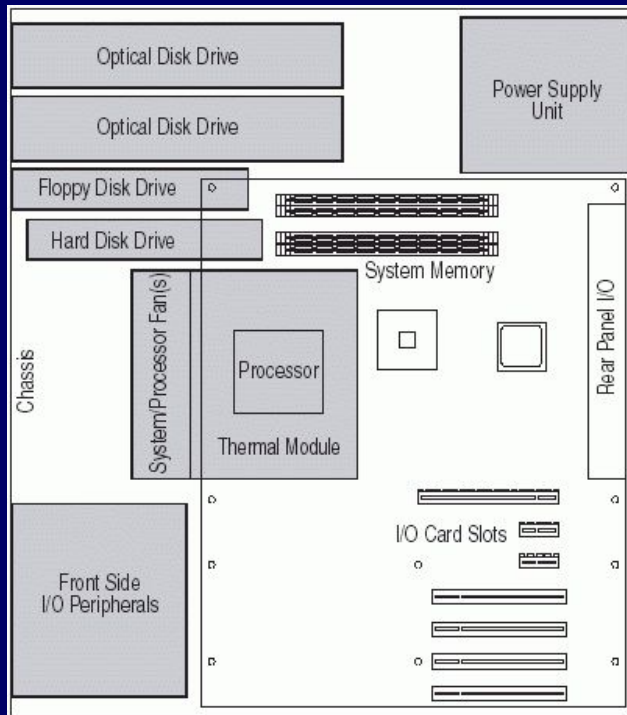
## Краткая характеристика результатов для случая обратного тока



Так же, как и в предыдущем случае, основной поток воздуха практически не участвует в теплообмене с наиболее нагретыми частями модели. Очевидным недостатком применения такой компоновки вентиляторов является еще и то, что в этом случае принудительная конвекция происходит против направления небольшой по величине, но имеющей место естественной конвекции. Такая система расположения не может считаться самой эффективной.



# Охлаждение корпусов ВТХ



Intel представила дизайн материнских плат нового поколения VTХ (Balanced Technology Extended). По словам разработчиков, его основное достоинство - это более рациональное с точки зрения охлаждения системы размещение компонентов на плате. Однако в стандарт рассчитан только на один мощный источник тепла – CPU. В современных же системах кроме процессора активно нагреваются видеокарты и чипсет. Таким образом, внедрение стандарта VTХ проблематично.

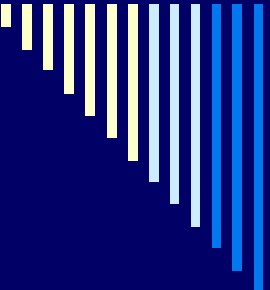


# Вентилятор (Cooler)

Как уже было отмечено, современные процессоры испытывают нужду в охлаждающих устройствах с как можно более низким термическим сопротивлением. На сегодня даже самые продвинутые радиаторы не справляются с этой задачей: в условиях естественной конвекции воздуха, т.е. когда скорость движения воздушных масс мала (типичный пример — марево над асфальтом дорожного полотна в жаркий летний день), «штатной» тепловой эффективности радиаторов оказывается недостаточно для поддержания приемлемой рабочей температуры процессора. Кардинально уменьшить термическое сопротивление радиатора можно только одним способом — хорошенько его проветрить (говоря по-научному, создать условия вынужденной конвекции теплоносителя, то бишь воздуха). Как раз для этих целей практически каждый процессорный радиатор и оборудуется вентилятором, который добросовестно продувает его внутреннее межреберное пространство.

---

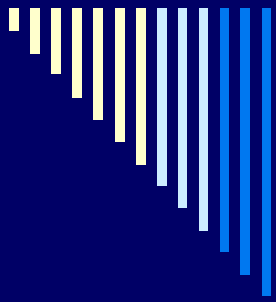




На сегодня в процессорных кулерах находят применение в основном осевые (аксиальные) вентиляторы, формирующие воздушный поток в направлении, параллельном оси вращения пропеллера (крыльчатки).



«Ходовая» часть вентилятора может быть построена на подшипнике скольжения (sleeve bearing, наиболее дешевая и недолговечная конструкция), на комбинированном подшипнике — один подшипник скольжения плюс один подшипник качения (one sleeve-one ball bearing, наиболее распространенная конструкция), и на двух подшипниках качения (two ball bearings, самая дорогая, но в то же время очень надежная и долговечная конструкция). Ну, а электрическая часть вентилятора повсеместно представляет собой миниатюрный электродвигатель постоянного тока.



Характеристики вентилятора:

**производительность** (технический термин — «расход») — величина, показывающая объемную скорость воздушного потока. Выражается она в кубических футах в минуту (cubic feet per minute, CFM). Чем больше производительность вентилятора, тем он более эффективно продувает радиатор, уменьшая термическое сопротивление последнего. Типичные значения расхода — от 10 до 80 CFM.

**скорость вращения крыльчатки** (в отечественной практике выражается в об/мин, американская единица измерения — rotations per minute, RPM). Чем быстрее вращается крыльчатка, тем выше становится производительность вентилятора. Типичные значения скорости — от 1500 до 7000 об/мин.

**типоразмер**. Как правило, чем больше габариты вентилятора, тем выше его производительность. Наиболее распространенные типоразмеры — 60x60x15 мм, 60x60x20 мм, 60x60x25 мм, 70x70x15 мм, 80x80x25 мм.

Наиболее существенными из эксплуатационных параметров являются уровень шума и срок службы вентилятора.

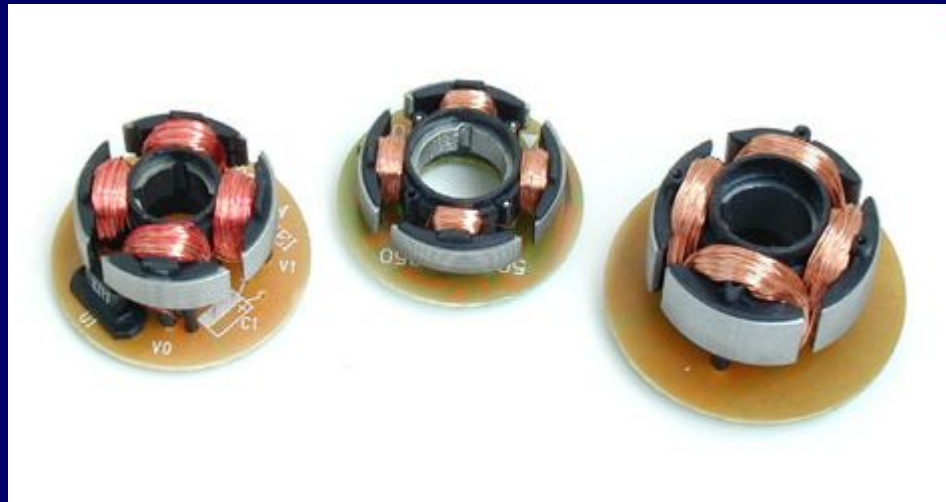
**уровень шума** вентилятора выражается в децибелах и показывает, насколько громким он будет в субъективном восприятии. Значения уровня шума вентиляторов лежат в диапазоне от 20 до 50 дБА. Человеком воспринимаются в качестве тихих только те вентиляторы, уровень шума которых не превышает 30-35 дБА.

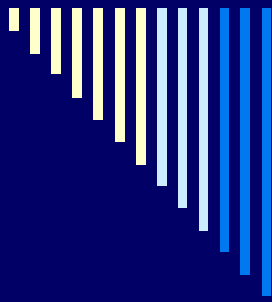
**срок службы вентилятора** выражается в тысячах часов и является объективным показателем его надежности и долговечности. На практике срок службы вентиляторов на подшипниках скольжения не превышает 10-15 тыс. часов, а на подшипниках качения — 40-50 тыс.

---

# Строение и особенности функционирования вентиляторов

Современные вентиляторы постоянного тока строятся на одно- или двухфазовых вентильных двигателях. Собственно, сами эти двигатели можно условно разделить на две основные составляющие: схему управления и индукторную машину. Индукторная машина повсеместно представляет собой связку ротор-статор, где ротором является кольцевой постоянный магнит, а статором — четырехполюсный (гораздо реже — шестиполюсный) индуктор





Что же касается схемы управления, то она реализуется производителями по-разному. Наиболее распространенный вариант основывается на использовании микросхемы-драйвера с интегрированным датчиком Холла (обычно используются микросхемы Analog Technology ATS276/277 или их клоны), которая осуществляет согласованную коммутацию фаз индуктора, позволяя последнему индуцировать вращающееся магнитное поле в пространстве статор-ротор и привести в движение ротор. Наряду с простыми схемами, в некоторых вентиляторах могут применяться гораздо более сложные и многофункциональные микросхемы-драйверы, имеющие на борту тахометрический контроль, цепи защиты питающей сети и детектирования стопора крыльчатки (яркий пример — микросхема Sanyo LB1663).



Как уже было отмечено, вал ротора (крыльчатки) может быть закреплен в корпусе вентилятора тремя способами: подшипником скольжения, «комбинированным» подшипником (один подшипник скольжения, другой — качения), двумя подшипниками качения



Начнем с подшипника скольжения. Подшипник скольжения представляет собой примитивную бронзовую втулку, стальной вал ротора закрепляется в подшипнике с помощью пластикового стопорного кольца, дополнительно к этому втулка закупоривается двумя резиновыми прокладками (сальниками), одетыми на вал с каждого ее торца (сальники служат в качестве препятствия вытеканию смазки из зазора вал-подшипник).

---

**Первый недостаток.** Так как между внутренней поверхностью подшипника и валом имеется небольшой зазор, в процессе вращения вал крыльчатки «дребезжит» внутри подшипника (иными словами, наблюдаются биения вала). В результате он оказывает сильное абразивное действие на подшипник: в поперечном сечении отверстие подшипника приобретает форму эллипса вместо окружности (наблюдается так называемая эллипсность подшипника). В итоге вал начинает вращаться неустойчиво, весьма значительно повышается уровень шума (в спектре шума вентилятора появляются резкие импульсные всплески — скрипы, стуки и т.п.), а также увеличивается потребление мощности от питающей сети, что сопровождается ощутимым нагревом вентилятора. В случае дисбаланса крыльчатки все это может привести к быстрому разрушению подшипника и выходу вентилятора из строя.

**Второй недостаток.** Смазка в зазоре вал-подшипник имеет вредную привычку вытекать (несмотря на сальники и прочие предосторожности) из этого самого зазора. Как результат, трущаяся пара вал-подшипник начинает взаимодействовать «насухо», падает скорость вращения крыльчатки и существенно возрастает уровень шума.

**Третий недостаток.** Для предотвращения эллипсности подшипника и увеличения срока службы вентилятора зазор вал-подшипник стараются сократить. Однако при недостаточной (или некачественной) смазке внутри подшипника старт двигателя затрудняется, что приводит к росту потребления тока и увеличению рассеиваемой мощности (в запущенных случаях — к стопору крыльчатки и выходу вентилятора из строя). В конечном итоге, срок службы вентилятора никак не увеличивается, а наоборот, только сокращается.

Четвертый недостаток. Вентиляторы на подшипниках скольжения не способны надежно функционировать в условиях высокой температуры окружающей среды. Уже при температурах выше 50-60°C срок службы таких вентиляторов резко сокращается, и на практике не превышает 5 тыс. часов.

---



Обратимся к «комбинированной» конструкции — симбиозу подшипника скольжения и подшипника качения.



---

Нельзя сказать, что такой «комбо-драйв» решает все проблемы, тем не менее, положительные сдвиги тут все-таки есть.

**Во-первых**, подшипник скольжения в такой конструкции играет лишь вспомогательную роль (выступает в качестве своеобразного шунта). Основная нагрузка ложится здесь уже на плечи шарикового подшипника. И так как трение качения меньше трения скольжения, старт двигателя облегчается, рассеиваемая вентилятором мощность уменьшается.

**Во-вторых**, комбинированная конструкция менее восприимчива к весовому дисбалансу крыльчатки. Биения вала в значительной мере гасятся подшипником качения, и вероятность возникновения эллипсности втулки или ее механического разрушения сведена к минимуму (конечно, это имеет место только при условии соблюдения строгих технических норм на производстве и тщательном контроле качества готовых изделий).

**В третьих**, «комбинированные» вентиляторы могут более или менее нормально функционировать даже в сложных эксплуатационных условиях (при высоких температурах окружающей среды и повышенной влажности воздуха).

Однако по-прежнему остается нерешенной принципиальная проблема утечки масла из зазора между валом и втулкой, которая может обернуться падением оборотов крыльчатки и повышением уровня шума, производимого вентилятором. В последнее время эту неприятность пытаются замаять путем использования вязких или даже консистентных смазок. Но в некоторых изделиях это только усугубляет ситуацию: смазка все равно вытесняется из зазора, или, что еще хуже, загустевает с образованием твердых микрочастиц. В самых запущенных случаях вал просто заклинивает, и вентилятор выходит из строя.

---

Вентилятор на двух подшипниках качения.



---

**Главнейшее преимущество** структуры из двух подшипников качения — это высокая надежность и долговечность вентиляторов на их основе. Два шарикоподшипника гармонично дополняют друг друга, обеспечивают легкий старт двигателя и устойчивое вращение крыльчатки. Потребляемая мощность у таких вентиляторов, как правило, ниже, чем у изделий на комбинированном подшипнике или подшипнике скольжения, что существенно облегчает тепловой режим и повышает надежность их функционирования. Ко всему прочему, вентиляторы на двух подшипниках качения нетребовательны к смазке, проблема утечки масла уничтожена в них как класс.

**Второе главное преимущество** — вентилятор на двух подшипниках качения представляет собой отлично сбалансированную конструкцию. Спиральная пружина, устанавливаемая на валу между первым подшипником и крыльчаткой, в значительной мере нейтрализует возможный дисбаланс ротора, а остаточные биения вала взаимно компенсируют два подшипника качения. Как результат, вентилятор стабильно функционирует практически в любом положении относительно вектора силы тяжести.

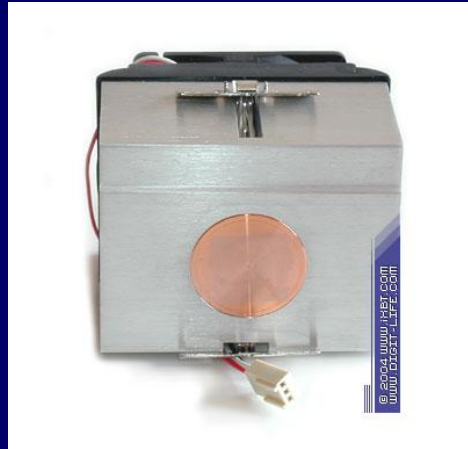
**Наконец, третье главное преимущество** — вентиляторы на двух подшипниках качения способны надежно и долговременно функционировать в условиях очень высоких температур окружающей среды (вплоть до 70-90°C)

**Единственный серьезный недостаток** таких вентиляторов — это их высокая стоимость. Но справедливости ради следует отметить, что в технологическом отношении высококачественные миниатюрные подшипники качения являются очень сложными и трудоемкими изделиями (стоимость одного высокоточного подшипника качения может достигать 3-5 долларов и даже выше, в то время как стоимость миниатюрного подшипника скольжения обычно не превышает 10 центов).

---

# Реализация систем воздушного охлаждения CPU

Для Socket A





# Реализация систем воздушного охлаждения CPU

Для Socket 478





# Реализация систем воздушного охлаждения компонентов ПК

