

Основы вентиляции корпусов радиоаппаратуры и ПК.

Сорокин А.Д.

<http://electrosad.narod.ru>

На работу вентиляции корпусов ПК и РЭА накладываются весьма жесткие ограничения. С одной стороны это потребность в температуре воздуха в корпусе ПК или РЭА наиболее приближенной к температуре наружного воздуха. С другой это недопустимость превышения температуры охлаждаемого узла (например - процессора) максимально для него допустимой, которая составляет сейчас от 85 до 95 град.С. И немаловажное значение имеет уровень шума системы вентиляции. Для оптимальной конструкции надо с максимальным качеством выполнить эти условия.

Точный расчет системы вентиляции РЭА сложен и должен учитывать множество факторов которые в нашей практике трудно учесть. Если какой либо фактор не учитывается погрешность расчета приближается к приведенному ниже. Здесь приведен упрощенный расчет который позволяет оценить характеристики системы.

1. Физические основы вентиляции.

Известно, что нагретый воздух имеет меньший удельный вес чем холодный (рис.1), и поэтому вытесняется более тяжелым холодным воздухом и поднимается вверх. Это свойство нагретого воздуха используется не только для подъема монгольфьеров – летательных аппаратов легче воздуха, но и для создания тяги в отопительных устройствах, и, что более важно для нас, для охлаждения узлов РЭА, расположенных в корпусах с естественной и принудительной вентиляцией. График зависимости уд. веса воздуха от температуры показан на рис.1.



Рисунок 1

Отвод тепла из корпусов РЭА осуществляется воздухом за счет выноса его проходящим потоком избыточного тепла и замещения его в корпусе более холодным внешним воздухом. Это замещение создает проходящий поток воздуха. Он возникает по естественным причинам – разности температур или соответственно разности удельных весов наружного и внутреннего воздуха.

Это естественная вентиляция.

При значительных избытках тепла, низкой температуре наружного воздуха в корпусах РЭА без принудительной вентиляции могут осуществляться воздухообмены, достигающие нескольких десятков кубических метров в час.

Воздушные потоки, обеспечивающие теплообмен могут создаваться и существовать за счет внешнего нагнетающего (вытягивающего) электромеханического устройства – вентилятора. Этот вид вентиляции требует дополнительных энергозатрат, повышает уровень шума блоков и снижает надежность конструкции РЭА.

Это принудительной вентиляции.

Конструкция корпуса выбирается исходя из возможности применения того или иного вида его вентиляции. Например, в низко профильных корпусах отсутствует перепада высоты вентиляционных отверстий, это делает невозможным применение естественной вентиляции. В таких корпусах возможно применение только принудительной вентиляции.

Из курса физики известно, для изобарного (при постоянном давлении) процесса нагрева газа массой m , количество теплоты, полученное им – W увеличивает его температуру на Δt .

$$W = m \cdot c \cdot \Delta t = L_{\text{пр}} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t \quad (\text{Дж/час}) \quad [1]$$

Здесь $m = L_{\text{пр}} \cdot \rho$ - это масса участвующего в охлаждении воздуха, а ρ - удельный вес воздуха.

Когда вентиляция предназначена для удаления тепла из вентилируемого объема, количество отводимого тепла и объем приточного воздуха определяется из выражения:

$$L_{\text{пр}} = W / (t_{\text{yx}} - t_{\text{пр}}) \rho_{\text{пр}} C \quad (\text{м}^3/\text{час}) \quad [2]$$

или

$$W = L_{\text{пр}} / (t_{\text{yx}} - t_{\text{пр}}) \rho_{\text{пр}} C \quad (\text{Дж/час}),$$

или

$$W = 3600 L_{\text{пр}} / (t_{\text{yx}} - t_{\text{пр}}) \rho_{\text{пр}} C \quad (\text{Вт}) \quad [2.1]$$

Где:

- W – отводимые избытки тепла Дж/час,
- t_{yx} – температура воздуха уходящего из вентилируемого объема,
- $t_{\text{пр}}$ – температура приточного воздуха,
- $\rho_{\text{пр}}$ – удельный вес приточного воздуха в кг/м³,
- C – теплоемкость воздуха в Дж/кг град,
- $L_{\text{пр}}$ – объем приточного воздуха.

2. Естественная вентиляция.

Вентиляция корпусов РЭА выполненной на полупроводниковых структурах, существенно отличаются от вентиляции других радиотехнических устройств. И, прежде всего тем, что максимальная температура активных элементов РЭА жестко ограничена $85 - 95^{\circ}\text{C}$, а это накладывает соответствующие ограничения на максимальную температуру воздуха в корпусе $55 - 65^{\circ}\text{C}$. Это и определяет меньший тепловой напор и соответственно эффективность работы вентиляции.

Исходя из этого, можно рекомендовать:

1. Для естественной вентиляции корпусов РЭА, учитывая, что напор имеет малую величину, требуется организация путей воздухообмена. Она подразумевает прохождение воздушных потоков мимо наиболее нагретых узлов, что позволяет обеспечить эффективный съем тепла с этих узлов. Для этого необходимо обеспечить беспрепятственный проход воздушных потоков.
2. Корпуса для эффективной работы естественной вентиляции должны иметь вертикальный профиль и достаточную высоту.
3. Точки входа и выхода охлаждающего воздуха должны быть расположены в максимально удаленных по высоте точках.
4. Аэродинамическое сопротивление входного и выходного отверстий должны иметь минимальную величину.
5. Исходя из больших объемов проходящего воздуха, входное отверстие должно иметь фильтр грубой очистки воздуха малого сопротивления.

Для оценки эффективности естественной вентиляции и распределения давлений в замкнутом объеме с парой вентиляционных отверстий, расположенных как в стандартном корпусе, рассмотрим рисунки 2 и 3.

На рисунке 2 схематически изображен корпус, у которого площадь отверстия для входа воздуха $S_{\text{вх}}$ много больше площади выходного отверстия $S_{\text{вых}}$. В этом случае минимальное давление в корпусе равно внешнему, а на выходном отверстии создается некоторое избыточное давление. Такой вариант достаточно прост для расчетов и исполнения.

На рисунке 3 схематически показан корпус площади входного и выходного отверстий, которого соизмеримы. В этом случае на входном отверстии внутри корпуса существует некоторое разрежение, на выходных избыточное давление. А в некоей области внутреннего объема корпуса существует уровень равных давлений, где давление равно давлению за пределами корпуса. Этот расчет может применяться для расчета систем вентиляции с фильтром на входе корпуса. В этом случае реальная площадь входного отверстия не только меньше площади входного отверстия, но с течением времени будет изменяться.

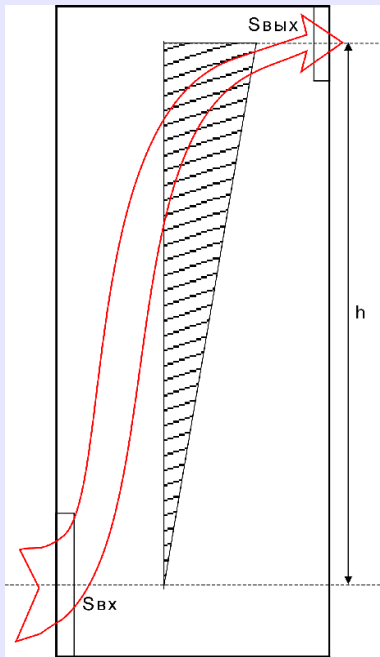


Рисунок 2



Рисунок 3

Рассмотрим соотношения связывающие характеристики корпуса изображенного на рис.3.

Если температура воздуха в корпусе t_v выше наружной температуры t_n то вес 1 м^3 воздуха в килограммах (удельный вес) внутри корпуса $\rho_v \text{ кг/м}^3$ будет меньше удельного веса атмосферного воздуха $\rho_n \text{ кг/м}^3$. Тогда вес столба воздуха высотой h_1 , от центра нижних открытых отверстий до плоскости равных давлений составит:

внутри корпуса – $h_1 \cdot \rho_v$, в окружающей атмосфере – $h_1 \cdot \rho_n$.

Очевидно, что на уровне центра нижних отверстий создается перепад давления (разрежение), равное разности веса столбов наружного и внутреннего воздуха, а именно

$$H_1 = h_1 \cdot \rho_n - h_1 \cdot \rho_v = h_1(\rho_n - \rho_v) \text{ (кг/м}^2\text{)}$$

Этот перепад давлений обеспечивает поступление в корпус наружного воздуха.

Путем аналогичных рассуждений можно определить, что разность давлений на уровне центра отверстий, расположенных выше плоскости равных давлений, составит

$$H_2 = h_2 \cdot (\rho_n - \rho_v) \text{ (кг/м}^2\text{)}$$

причем это давление направлено со стороны корпуса в сторону окружающей атмосферы и вызывает движение воздуха из корпуса в атмосферу.

Таким образом, под влиянием разностей давлений возникает воздухообмен с поступлением (притоком) воздуха через нижние отверстия и удалением (вытяжкой) воздуха через верхние открытые отверстия.

Общая величина всей располагаемой разности давлений носит название теплового напора и равна сумме давлений на уровне нижних и верхних отверстий, то есть

$$H_T = H_1 + H_2 = h \cdot (\rho_n - \rho_v) \text{ (кг/м}^2\text{) [3]}$$

Получается тепловой напор (H_T – давление создаваемое нагревом воздуха) равен произведению из разности удельных весов воздуха на вертикальное расстояние между осями (серединами) нижних и верхних отверстий. Давление создаваемое потоком нагретого воздуха пропорционально высоте h и его температуре.

На рис.2 показано упрощенное представление «теплового напора». Его абсолютное значение равно изображенному на рис.3.

$$H_T = h \cdot (\rho_n - \rho_v) \text{ (кг/м}^2\text{)}$$

Зависимость плотности воздуха от температуры приведена на рисунке 1.

3. Практический расчет системы естественной вентиляции.

Рассмотрим для примера стандартный корпус компьютера «midi Tower»:

- высота между центрами входных и выходных вентиляционных отверстий – 0,25 м;
- температура наружного воздуха 22 °С;
- температура воздуха в выходном вентиляционном отверстии корпуса 55 °С.

$$H_T = h \cdot (\rho_n - \rho_v) = 0,25 \text{ м} (1,19 - 1,075) \text{ Кг/м}^3 = 0,029 \text{ Кг/м}^2.$$

Исходя из соотношения 1атм.тех=9806 мм.вод ст. получается тепловой напор (перепад давления) -

$$H_T = 284 \text{ мм вод. ст.}$$

Скорость воздуха в вентиляционном отверстии зависит от разности давлений внутри и вне корпуса определяется из выражения:

$$v = \sqrt{\frac{2g\Delta H}{\rho}} \text{ м/сек [4]}$$

где v - скорость воздуха в м/сек;

g - ускорение земного притяжения 9,81 м/сек²;

ρ - удельный вес наружного воздуха в кг/м³;

ΔH - разность давлений в кг/м².

Объем воздуха, проходящего через вентиляционное отверстие, определяется по формуле:

$$L = K \cdot V \cdot S \text{ (м}^3\text{/сек) [5]}$$

где L - объем воздуха в м³/сек;

S - площадь отверстия в м²; (Вент. 120мм $S_{\text{прох}} = 83,7 \text{ см}^2 = 0,00837 \text{ м}^2$)

K - коэффициент расхода, зависящий от конструкции выходного вентиляционного отверстия, принимаем равным - 0,7.

Учитывая принятую для использования конструкцию согласно рис.2 (площадь входных отверстий $S_{\text{вх}}$ много больше площади выходных вентиляционных отверстий $S_{\text{вых}}$) рассчитываются только условия протока охлаждающего воздуха для выходных вентиляционных отверстий.

Отсюда для $H_T = 0,029 \text{ Кг/м}^2$ получим $V = 0,69 \text{ м/сек}$.

Объем проходящего воздуха для данных параметров и площади $S = 0,00837 \text{ м}^2$ получим $L = 0,004 \text{ м}^3\text{/сек} = 0,24 \text{ м}^3\text{/мин}$.

Это для $h = 0,25 \text{ м}$.

Исходя из формулы (1) тепловая мощность выводимая за пределы корпуса с помощью естественной вентиляции равна:

$$W = L (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) \rho C \text{ (Дж/сек, Вт)}$$

W - отводимая мощность дж/сек,

L - объем проходящего воздуха м³/сек,

$\rho_{\text{вх}}$ - уд вес приточного воздуха Кг/м³, (1,19 Кг/м³)

C - теплоемкость входящего воздуха дж/Кг град (1008 дж/Кг град),

$t_{\text{вх}}$ - температура воздуха на входе град (22°С),

$t_{\text{вых}}$ - температура воздуха на выходе (55°С).

$W = 158,3 \text{ дж/сек}$

Результаты вычислений для $h = 0,25 \text{ м}$ и $h = 0,42 \text{ м}$ $\rho_{\text{вх}} = 1,19 \text{ Кг/м}^3$ сведены в таблицу 1.

$t_{\text{ВЫХ}} \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t_{\text{ВХ}}=22 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	$W \text{ Дж/сек}$ ($h=0,25\text{м}$)	$W \text{ Дж/сек}$ ($h=0,42\text{м}$)
30	21,1	26,9
35	40,5	53,
40	64,8	84,2
45	93,8	121,4
50	124,3	161,2
55	158,3	205,8

Таблица 1

Полученные результаты сведены в график зависимости отводимой мощности от температуры выходного воздуха и показаны на рисунке 4.

В данном случае увеличение h получено на одном и том же корпусе, но с измененной конструкцией вентиляционного канала. Это изменение дало 30% увеличение эффективности системы охлаждения.

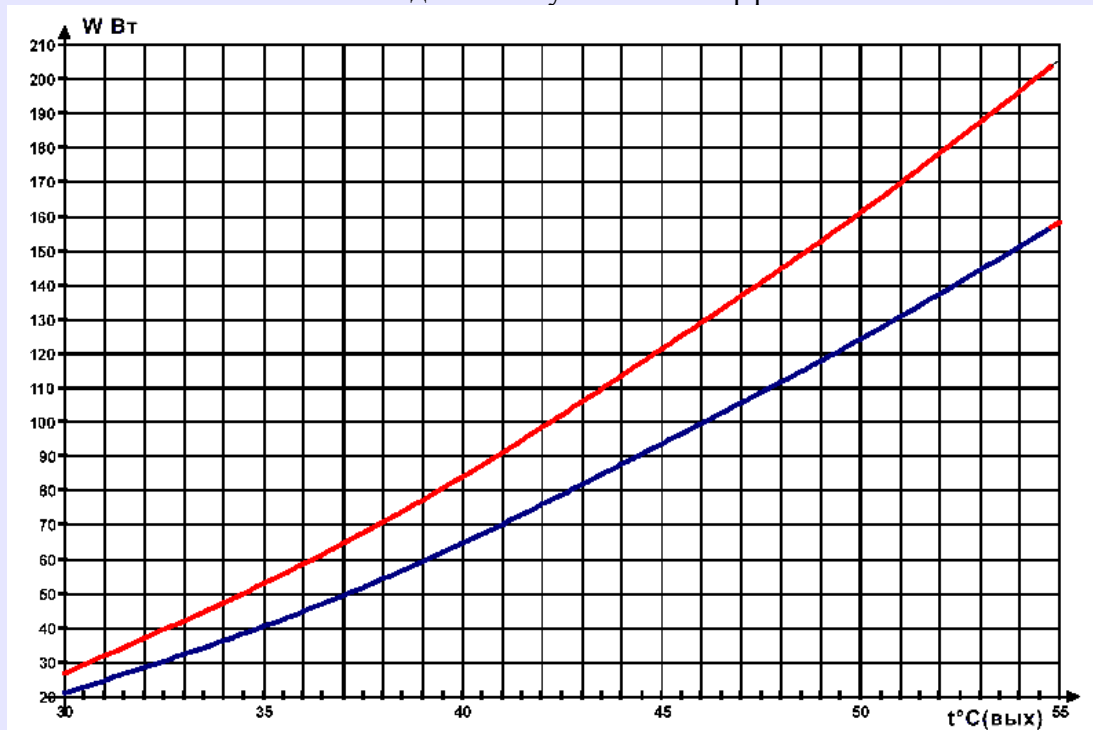


Рисунок 4

Если Вам интересно и для практики посчитайте W для $h=0,5 \text{ м}$.

4. Принудительная вентиляция.

Принудительная вентиляция, как уже писалось выше, это вентиляция где воздушные потоки, обеспечивающие теплообмен создаются и существуют за счет внешнего нагнетающего (вытягивающего) электромеханического устройства – вентилятора. Это принудительной вентиляции.

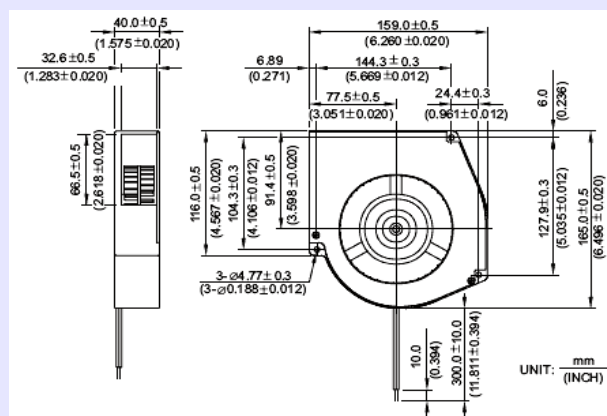
Этот вид вентиляции требует дополнительных энергозатрат, повышает уровень шума и снижает надежность конструкции РЭА.

Понятно, что в данном случае охлаждение полностью зависит от характеристик применяемых вентиляторов. В низко профильных корпусах с большим аэродинамическим сопротивлением большое значение имеет и это сопротивление.

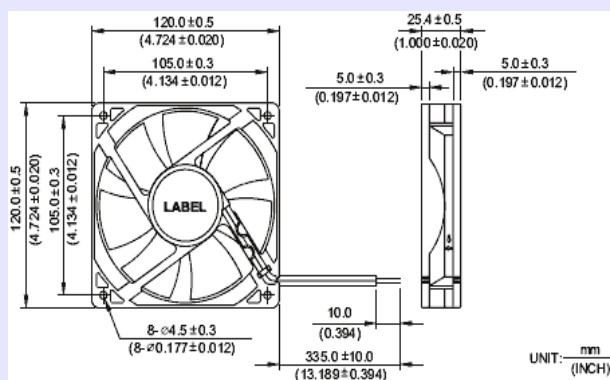
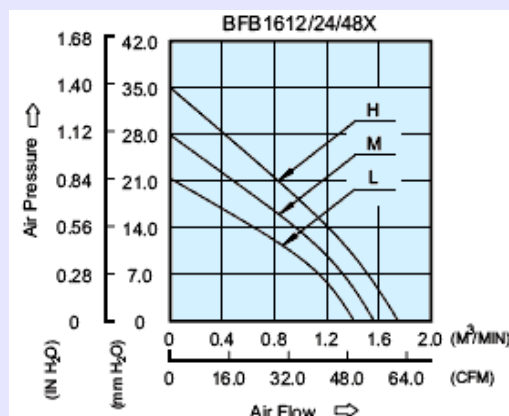
Для принудительной вентиляции в ПК применяются осевые и центробежные вентиляторы, имеющие различные характеристики.

Аэродинамическое сопротивление корпусов ПК, для обеспечения эффективного охлаждения, должно быть много меньше избыточного давления создаваемого вентилятором. Это подробно описано в статье «Схемы включения вентиляторов для охлаждения системных блоков персональных компьютеров».

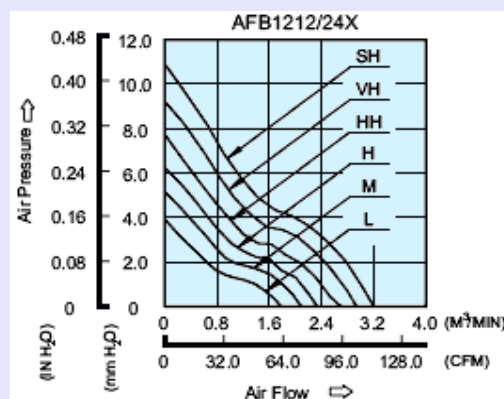
Чтобы понять преимущества и недостатки этих двух систем, сравним характеристики осевого и центробежного вентилятора. Для сравнения возьмем по одному из наиболее близких по характеристикам представитель каждого вида. Это осевой вентилятор **AFB1212L** и центробежный вентилятор (бLOWER) **BFB159x165x40**.



BFB159x165x40mm



AFB1212L



Основы вентиляции корпусов РЭА и ПК.

Модель	Типоразмер	Рабочее напряжение	Предельные напряжения	Потр. ток	Потребляемая мощность	Скорость вращения	Макс. расход	Макс. давления воздуха.	Уровень шума
Тип	мм	Вольт	Вольт	Ампер	Вт	об/мин	м ³ /час	мм. Н ₂ O	дб
BFB16L	159x165x40	12	7,0 - 13,2	0,8	9,6	1800	1,41	21,5	51,5
AFB12L	120x120x25.4	12	7,0 - 13,8	0,14	1,68	1900	1,782	3,93	32,5

Таблица 3

Сразу бросаются в глаза главное отличие.

При расходах имеющих один порядок, центробежный вентилятор - имеет максимальное давление в 5,5 раза выше осевого.

Отсюда вытекают:

1. его более высокая потребляемая мощность (более чем в 5,5 раза),
2. и конечно высокий уровень шума.

Это позволяет рекомендовать центробежный вентилятор для применения в системах принудительного охлаждения (вентиляции) с высоким аэродинамическим сопротивлением.

Например - при потерях давления в охлаждаемой системе равном 4 мм.Н₂O осевой вентилятор модели L будет иметь стремящийся к нулю расход, а у центробежного вентилятора расход составит 1,3 м³/мин для модели L.

Та же формула [2.1] позволяет посчитать ориентировочную величину тепловой мощности, которая может быть выведена за пределы корпуса с помощью принудительной вентиляции.

$$W = L_{\text{пр}} / (t_{\text{yx}} - t_{\text{пр}}) \rho_{\text{пр}} C \quad (\text{Вт})$$

Получаем - W – отводимые избытки тепла Дж/сек или Вт,

При: t_{yx} – температура воздуха уходящего из вентилируемого объема (град.С),

$t_{\text{пр}}$ – температура приточного воздуха (град.С),

$\rho_{\text{пр}}$ – удельный вес приточного воздуха в кг/м³,

C – теплоемкость воздуха в Дж/кг град,

$L_{\text{пр}}$ – объем приточного воздуха м³/сек.

В виде графика это выглядит так:

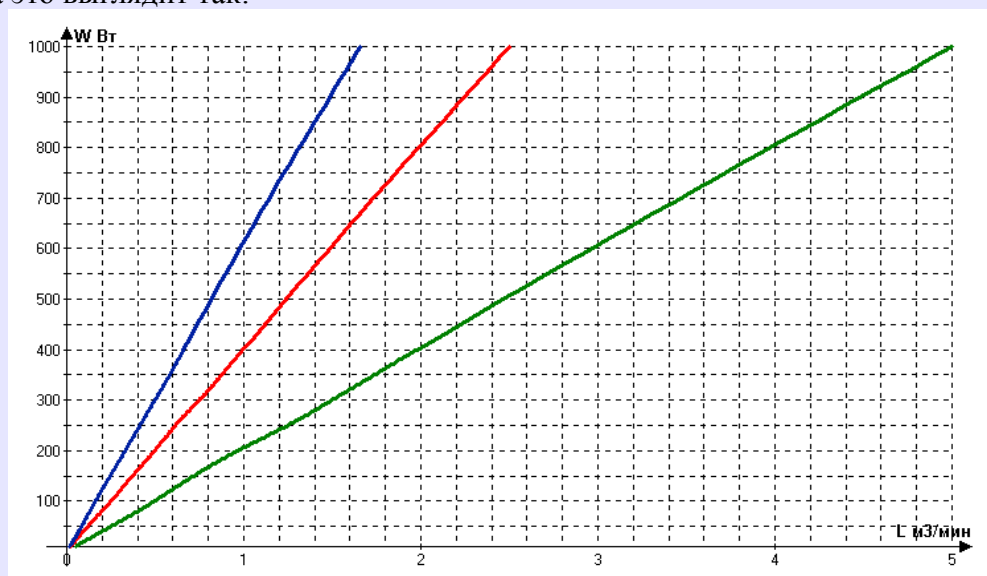
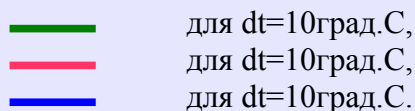


Рис.6

На графике:



Из формулы и графика на рис.6 видим, что вывод тепла пропорционален расходу охлаждающего воздуха $L_{\text{пр}}$ (конечно W определяется еще и разностью температур, но мы ведем расчет для заданной температуры выходящего воздуха). Поэтому главной задачей вентиляции корпусов для систем принудительного и естественного охлаждения является обеспечение максимального расхода охлаждающего воздуха.

Особо следует сказать об особенностях применения осевых вентиляторов в системах охлаждения, определяемых их низким избыточным давлением.

Низкое избыточное давление осевого вентилятора подразумевает его применение в системах с низким аэродинамическим сопротивлением. Причем для его эффективного применения (с расходами близкими к заявленным в документации) требует, чтобы это аэродинамическое сопротивление составляло менее 10% от паспортного расхода вентилятора.

В связи с этим следует обратить особое внимание на монтаж осевых вентиляторов. Часто их ставят в перфорацию корпуса, площадь отверстий которой ($S_{\text{перф}}$) много меньше проходного сечения вентилятора ($S_{\text{вент}}$).

$$K = S_{\text{вент}} / S_{\text{перф}}$$

При таком монтаже, для наших скоростей воздушных потоков, реальный расход примерно в K раз меньше паспортного.

5. Заключение

Современные технические решения в проектировании, должны отличаться применением оптимальных конструкций.

Аналогичная ситуация и в охлаждении РЭА.

Так конструкции с малым тепловыделением могут быть выполнены в низкопрофильных корпусах, и иметь малый уровень шума.

Конструкции с тепловыделением средним и выше могут выполняться в корпусах типа «Десктоп» или низкопрофильных стоечных корпусах.

Но при высоких тепловыделениях присущих серверам и высокопроизводительным ПК и рабочим станциям, в низкопрофильных корпусах стоечного типа, приходится применять эффективную систему принудительной вентиляции. В этом случае мы вынуждены мириться с повышенным шумом, снижением надежности. Причем снижение надежности конструкции в большой мере определяется надежностью системы вентиляции. Поскольку практически всегда выход из строя системы вентиляции низкопрофильных корпусов с большим тепловыделением приводит к перегреву элементов конструкции РЭА.

Иная ситуация с вертикальными корпусами - для компьютеров это корпуса типа "Tower" ("башня").

Эти корпуса наиболее приспособлены для систем со средним и большим тепловыделением, даже при естественной вентиляции. Это позволяет иметь низкий уровень шума.

При большом тепловыделении грамотно спроектированный корпус способен обеспечить нормальные температурные условия работы узлов компьютера при приемлемом уровне шума. (Например: изготовлен корпус, который при тепловыделении 500 Вт, имеет уровень шума до 25 дБ, перегрев воздуха в корпусе – несколько градусов).

При грядущих тепловыделениях в районе 1000-1200 Вт только в таких корпусах можно обеспечить нормальные температурные условия работы узлов компьютера при уровне шума до 40 дБ.

Справочные данные.

Соотношения величин.

Производительность вентилятора.

CFM	м³/мин	м³/час	л/сек
1	0.028	1.7	0.47
35.3	1	60	16.7
0.59	0.017	1	0.28
0.16	0.06	3.6	1

Давление.

дюйм H ₂ O	мм H ₂ O	Паскаль
1	25.4	249
0.039	1	9.81
0.004	0.1	1

Константы для расчетов вентиляции.

θ, K	$\lambda \times 10^2$ Вт/(мхК)	$\nu \times 10^6$ м²/с	c_p , Дж/(кгхК)	ρ , кг/м³	$\alpha \times 10^6$, м²/с	$t^\circ C$
223	2,04	9,2	1013	1,58	12,7	-50
273	2,385	12,8	1006	1,345	18,2	0
293	2,62	15,8	1005	1,193	22,2	20
333	2,9	19	1006	1,06	27,2	60
373	3,21	23,1	1009	0,95	33,6	100

Литература.

1. Батурин В. В. Основы промышленной вентиляции. Профиздат, 1956,
2. Справочник конструктора РЭА, под ред. Р.Г.Варламова, М, Советское радио, 1980 г.
3. Материалы раздела «Охлаждение» сайта <http://electrosad.narod.ru/indexCool.htm>