

Сравнительный анализ компоновочных решений систем приточной вентиляции и кондиционирования воздуха

А.И. Василенко

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы, связанные с исследованием аэродинамических и энергетических характеристик двух компоновочных решений систем механической приточной вентиляции и систем кондиционирования воздуха - с размещением вентилятора до и после воздухонагревателя. На основе использования графоаналитического метода исследования параметров работы вентилятора в вентиляционной сети получены зависимости, определяющие аэродинамические и энергетические характеристики систем в трех характерных режимах их работы - при температурах наружного воздуха равных расчетной, средней температуре отопительного периода и +8 °С. Полученные зависимости свидетельствуют о том, что при термически нестационарном режиме работы приточной вентиляционной системы в холодный период года установка воздухонагревателя после вентилятора позволяет повысить уровень энергетической эффективности системы по сравнению с размещением воздухонагревателя перед вентилятором.

Ключевые слова: вентилятор, воздухонагреватель, система вентиляции, система кондиционирования воздуха, мощность, энергосбережение, энергоэффективность, нестационарный режим, холодный период года, метод наложения характеристик.

Актуализация проблемы повышения энергетической и аэродинамической эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха (далее СВКВ) [1-3] предопределяет необходимость проведения исследований по поиску энергосберегающих принципиальных схем систем, а также разработки алгоритмов и технических средств автоматического управления их работой в различных режимах эксплуатации СВКВ [4-6].

В приточных системах вентиляции и кондиционирования воздуха в основном используется компоновочная схема, в которой вентилятор установлен после воздухонагревателя [7,8], рис. 1.



Рис. 1. Схема системы механической вентиляции с воздухонагревателем, установленным до вентилятора (вариант 1).

Второе компоновочное решение, рис. 2, применяется редко, в основном в рециркуляционных отопительно-вентиляционных агрегатах.

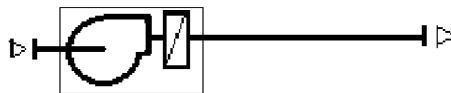


Рис. 2. Схема системы механической вентиляции с воздушонагревателем, установленным после вентилятора (вариант 2).

В результате анализа термодинамических процессов, протекающих в системах по вариантам 1 и 2, нами было установлено, что при работе в стационарном режиме система по варианту 2 отличается большей энергетической эффективностью по сравнению с системой по варианту 1 [9]. Однако, приточные вентиляционные системы, совмещенные с воздушным отоплением, характеризуются термически нестационарным режимом работы, обусловленным изменением температур наружного, t_n , и, как следствие, приточного воздуха, t_{np} , в течение холодного периода года.

Специфика термически нестационарных систем заключается в том, что изменения температуры воздуха в системе преобразуют аэродинамические характеристики вентиляционного оборудования, причем эти преобразования носят нелинейный характер и вызывают, в свою очередь, изменения объемного и массового расхода воздуха на участках вентиляционной системы. Особенностью термической нестационарности СВКВ является то, что их рабочие процессы могут быть рассмотрены как совокупность ряда последовательных во времени стационарных процессов, разделенных динамическими переходными процессами. Из данной совокупности процессов можно выделить три наиболее характерных, отражающих ключевые условия проектирования систем. Первый соответствует расчетной температуре наружного воздуха, $t_{нр}$, и его плотности, $\rho_{нр}$, в холодный период года, $t_{нр}$, второй - средней температуре наружного воздуха в отопительный период, $t_{нср}$, и соответствующей ей плотности воздуха, $\rho_{нср}$, и третий -

температуре наружного воздуха в начале и в окончании отопительного периода, $t_{н +8}$, равной $+8$ °С и соответствующей ей плотности воздуха, $\rho_{н +8}$. Каждому из перечисленных выше режимов работы системы соответствуют расчетные температуры приточного воздуха, $t_{пр р}$, $t_{пр ср}$, $t_{пр +8}$, и его плотности, $\rho_{пр р}$, $\rho_{пр ср}$, $\rho_{пр +8}$, определяемые из условий теплового баланса обслуживаемого помещения.

Зависимости, отображающие связь аэродинамических и энергетических характеристик вентилятора при работе системы по варианту 1 в трех указанных выше режимах работы системы, можно определить графоаналитическим методом наложения характеристик с использованием формул пересчета характеристик сети и вентилятора по плотности воздуха [10,11]. На рис. 3 показано изменение аэродинамических параметров работы вентилятора в системе по варианту 1 в зависимости от значения температуры наружного и, соответственно, приточного воздуха в трех рассматриваемых режимах работы системы.

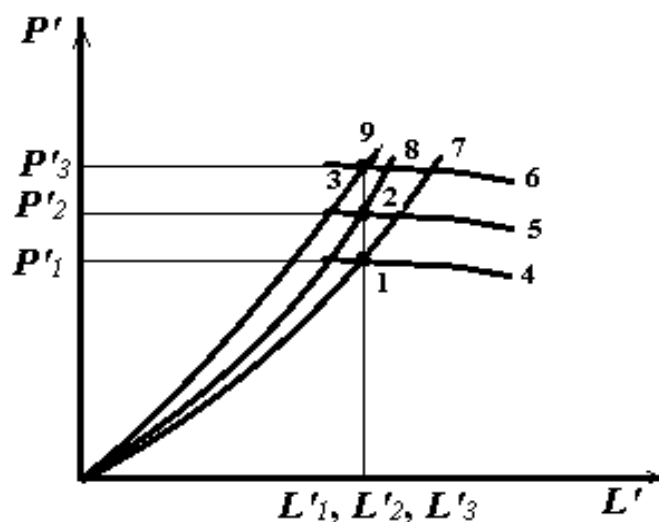


Рис. 3. Параметры работы вентилятора в системе по варианту 1 при режимах ее работы при температурах приточного воздуха, равных $t_{пр р}$, $t_{пр ср}$, $t_{пр +8}$. 1, 2, 3 - соответственно рабочие точки вентилятора при температурах приточного воздуха, равных $t_{пр р}$, $t_{пр ср}$ и $t_{пр +8}$; 4, 5, 6 - соответственно P - L характеристики вентилятора при $t_{пр р}$, $t_{пр ср}$, $t_{пр +8}$; 7, 8, 9 - соответственно P - L характеристики сети при $t_{пр р}$, $t_{пр ср}$, $t_{пр +8}$.

Параметры работы вентилятора в системе по варианту 2 в трех рассматриваемых режимах работы, определены по методике, приведенной в [12] и представлены на рис.4

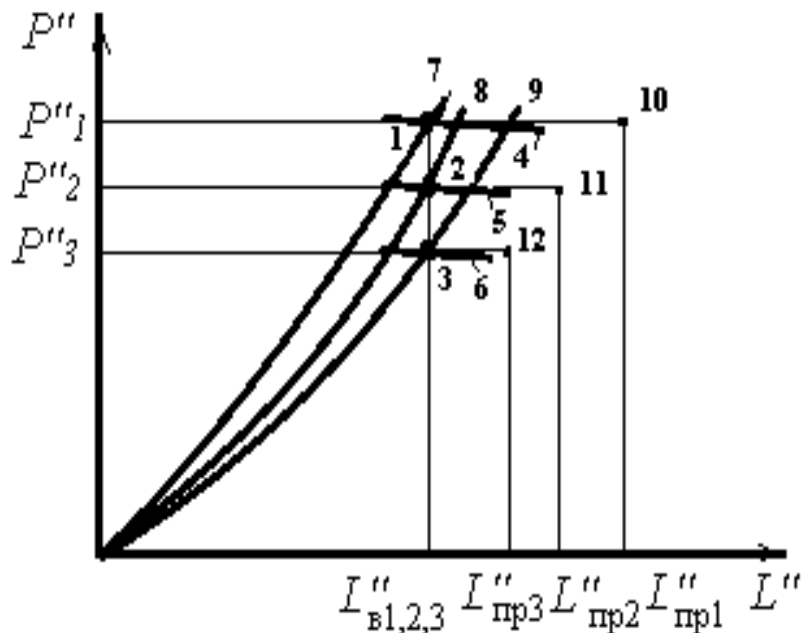


Рис. 4. Параметры работы вентилятора в системе по варианту 2 в режимах ее работы при температурах наружного воздуха, равных $t_{нр}$, $t_{нсп}$, $t_{н+8}$. 1, 2, 3 - соответственно рабочие точки вентилятора при температурах наружного воздуха, равных $t_{нр}$, $t_{нсп}$ и $t_{н+8}$; 4, 5, 6 - соответственно $P-L$ характеристики вентилятора при $t_{нр}$, $t_{нсп}$, $t_{н+8}$; 7,8,9 - соответственно $P-L$ характеристики сети при $t_{нр}$, $t_{нсп}$, $t_{н+8}$; 10,11,12 - соответственно точки, характеризующие объемные расходы приточного воздуха при $t_{нр}$, $t_{нсп}$, $t_{нр+8}$.

Примем в качестве заданных параметров работы систем объемный расход приточного воздуха, $L_{нрр}$, и давление воздуха, создаваемое вентилятором, $P_{вр}$, в режиме работы систем при $t_n = t_{нр}$. Эти заданные параметры соответствуют координатам точки 1 на рис. 3 и точки 10 на рис. 4. Зависимости, характеризующие аэродинамические и энергетические показатели систем в трех рассматриваемых режимах работы представлены в таблицах 1, 2 и 3.

Зависимости между параметрами работы вентиляторов L' , L'' , P' , P'' , N' , N'' в трех рассматриваемых режимах работы в системах по вариантам 1 и 2

приведены в таблице 1

Таблица 1

$L', L'', P', P'', N', N''$ для систем по вариантам 1 и 2

$t_{\text{н}}$	Система по варианту 1			Система по варианту 2		
	$L_{\text{г}}', \text{м}^3/\text{с}$	$P_{\text{г}}', \text{Па}$	$N_{\text{г}}', \text{Вт}$	$L_{\text{г}}'', \text{м}^3/\text{с}$	$P_{\text{г}}'', \text{Па}$	$N_{\text{г}}'', \text{Вт}$
$t_{\text{нр}}$	$L_{\text{нрр}}$	$P_{\text{р}}$	$N_{\text{р}}$	$L_{\text{нрр}} \frac{\rho_{\text{нрр}}}{\rho_{\text{нр}}}$	$P_{\text{р}}$	$N_{\text{р}} \frac{\rho_{\text{нрр}}}{\rho_{\text{нр}}}$
$t_{\text{н ср}}$	$L_{\text{нрр}}$	$P_{\text{р}} \frac{\rho_{\text{нрср}}}{\rho_{\text{нрр}}}$	$N_{\text{р}} \frac{\rho_{\text{нрср}}}{\rho_{\text{нрр}}}$	$L_{\text{нрр}} \frac{\rho_{\text{нрр}}}{\rho_{\text{нр}}}$	$P_{\text{р}} \frac{\rho_{\text{нрср}}}{\rho_{\text{нр}}}$	$N_{\text{р}} \frac{\rho_{\text{нрр}} \cdot \rho_{\text{нрср}}}{\rho_{\text{нр}}^2}$
$t_{\text{н+8}}$	$L_{\text{нрр}}$	$P_{\text{р}} \frac{\rho_{\text{нр+8}}}{\rho_{\text{нрр}}}$	$N_{\text{р}} \frac{\rho_{\text{н+8}}}{\rho_{\text{нр+8}}}$	$L_{\text{нрр}} \frac{\rho_{\text{нрр}}}{\rho_{\text{нр}}}$	$P_{\text{р}} \frac{\rho_{\text{н+8}}}{\rho_{\text{нр}}}$	$N_{\text{р}} \frac{\rho_{\text{нрр}} \cdot \rho_{\text{н+8}}}{\rho_{\text{нр}}^2}$

В таблице 2 приведены зависимости для определения безразмерных параметров, устанавливающих соотношения между объемной производительностью вентиляторов, \bar{L} , создаваемого ими давления воздуха, \bar{P} и потребляемой мощностью \bar{N} .

Таблица 2

Значения $\bar{L}, \bar{P}, \bar{N}$ для трех режимов работы систем

$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	$\bar{L} = \frac{L''}{L'}$	$\bar{P}_{\text{г}} = \frac{P''_{\text{г}}}{P'_{\text{г}}}$	$\bar{N}_{\text{г}} = \frac{N''_{\text{г}}}{N'_{\text{г}}}$
$t_{\text{нр}}$	$\frac{\rho_{\text{нрр}}}{\rho_{\text{нр}}}$	1	$\frac{\rho_{\text{нрр}}}{\rho_{\text{нр}}}$
$t_{\text{н ср}}$	$\frac{\rho_{\text{нрр}}}{\rho_{\text{нр}}}$	$\frac{\rho_{\text{нрср}} \cdot \rho_{\text{нрр}}}{\rho_{\text{нр}} \cdot \rho_{\text{нрср}}}$	$\frac{\rho_{\text{нрр}}^2 \cdot \rho_{\text{нрср}}}{\rho_{\text{нр}}^2 \cdot \rho_{\text{нрср}}}$
$t_{\text{н+8}}$	$\frac{\rho_{\text{нрр}}}{\rho_{\text{нр}}}$	$\frac{\rho_{\text{н+8}} \cdot \rho_{\text{нрр}}}{\rho_{\text{нр}} \cdot \rho_{\text{нр+8}}}$	$\frac{\rho_{\text{нрр}}^2 \cdot \rho_{\text{н+8}}}{\rho_{\text{нр}}^2 \cdot \rho_{\text{нр+8}}}$

В таблице 3 приведены зависимости, определяющие объемные расходы приточного воздуха, L'_{np} , L''_{np} , и массовые расходы воздуха, G' , G'' в системах по варианту 1 и варианту 2.

Таблица 3

L'_{np} , L''_{np} , G' , G'' , \bar{L}_{np} , \bar{G} для трех режимов работы систем.

$t_{нв} \text{ } ^\circ\text{C}$	Система 1		Система 2		$\bar{L}_{np} = \frac{L''_{np}}{L'_{np}}$	$\bar{G} = \frac{G''}{G'}$
	L'_{np} , $\text{м}^3/\text{с}$	G' , $\text{кг}/\text{с}$	L''_{np} , $\text{м}^3/\text{с}$	G'' , $\text{кг}/\text{с}$		
$t_{нр}$	$L_{нрр}$	$L_{нрр} \cdot \rho_{нрр}$	$L_{нрр}$	$L_{нрр} \cdot \rho_{нрр}$	1	1
$t_{нср}$	$L_{нрр}$	$L_{нрр} \cdot \rho_{нср}$	$L_{нрр} \frac{\rho_{нрр} \cdot \rho_{нср}}{\rho_{нр} \cdot \rho_{нср}}$	$L_{нрр} \frac{\rho_{нрр} \cdot \rho_{нср}}{\rho_{нр}}$	$\frac{\rho_{нрр} \cdot \rho_{нср}}{\rho_{нр} \cdot \rho_{нср}}$	$\frac{\rho_{нрр} \cdot \rho_{нср}}{\rho_{нр} \cdot \rho_{нср}}$
$t_{н+8}$	$L_{нрр}$	$L_{нрр} \cdot \rho_{нр+8}$	$L_{нрр} \frac{\rho_{нрр} \cdot \rho_{н+8}}{\rho_{нр} \cdot \rho_{нр+8}}$	$L_{нрр} \frac{\rho_{нрр} \cdot \rho_{н+8}}{\rho_{нр}}$	$\frac{\rho_{нрр} \cdot \rho_{н+8}}{\rho_{нр} \cdot \rho_{нр+8}}$	$\frac{\rho_{нрр} \cdot \rho_{н+8}}{\rho_{нр} \cdot \rho_{нр+8}}$

Выводы:

1. Зависимости, представленные в таблицах 1-3, позволяют определять основные аэродинамические и энергетические характеристики вентиляторов в трех характерных режимах работы систем в холодный период года;

2. Анализ значений мощности, потребляемой вентиляторами систем, свидетельствует о том, что система по варианту 2 характеризуется более высоким уровнем энергетической эффективности по сравнению с системой по варианту 1.

Литература

1. Кокорин О.Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования. М.: Издательство АСВ, 2013. 256 с.

2. Караджи В.Г., Московко Ю.Г. Способы увеличения аэродинамической эффективности вентиляционных систем //АВОК, 2009, № 5.с.28.



3. Галкина Н.И. КПД систем вентиляции. // Инженерный вестник Дона, 2017, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4106.

4. K. F. Fong, V. I. Hanby, and T. T. Chow, - HVAC system optimization forenergy management by evolutionary programming//Energy Build., vol. 38, no.3, pp. 220 –231, 2006.

5. Wong Kwok Wai Johnny. Development o f Selection Evaluation and System Intelligence Analytic Models for the Intelligent Building Control Systems, Hong Kong Polytechnic University, 2007. – 414 p.

6. Нгуен Суан Мань. Алгоритм управления подсистемой отопления, вентиляции и кондиционирования в составе интеллектуального управления зданием// Инженерный вестник Дона, 2015, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3178.

7. Мурашко В.П. Системы кондиционирования воздуха. Теория и практика. М.: Евроклимат, 2017. 627 с.

8. Robert McDowall. Fundamentals of HVAC Systems. London: Elsevier, 2006. 217 p.

9. А.И. Василенко. Энергетическая эффективность компоновочных решений отопительно-вентиляционных систем// Инженерный вестник Дона, 2018, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2018/5154.

10. Калинушкин М.П. Вентиляторные установки. - М.: Высш. школа, 1979. - 223 с.

11. Поляков В.В., Скворцов Л.С. Насосы и вентиляторы. – М.: Стройиздат, 1990. – 336 с.

12. Василенко А.И. Исследование параметров работы вентилятора в термически нестационарной вентиляционной системе // Инженерный вестник Дона, 2017, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4397.

References

1. Kokorin O.Ja. Jenergosberezhenie v sistemah otoplenija, ventiljacii, kondicionirovanija [Energy saving in heating, ventilation, air conditioning systems]. M.: Izdatel'stvo ASV, 2013. 319 p.
 2. Karadzhi V.G., Moskovko Ju.G. Sposoby uvelichenija ajerodinamicheskoj effektivnos ti ventiljacionnyh system [Ways to increase aerodynamic effectiveness of ven tilation systems]. AVOK. 2009, № 5. p. 28.
 3. Galkina N.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine /archive/N2y2017/4106.
 4. K. F. Fong, V. I. Hanby, and T. T. Chow, - HVAC system optimization forenergy management by evolutionary programming//Energy Build., vol. 38, no.3, pp. 220 –231, 2006.
 5. Wong Kwok Wai Johnny. Development o f Selection Evaluation and System Intelligence Analytic Models for the Intelligent Building Control Systems, Hong Kong Polytechnic University, 2007. 414 p.
 6. Nguyen Xuan Manh. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3178.
 7. Murashko V.P. Sistemy konditsionirovaniya vozdukh a. Teoriya i praktika [Air conditioning systems. Theory and practice]. M. Evroklimat, 2017. 627 p.
 8. Robert McDowall. Fundamentals of HVAC Systems. ASHRAE. London: Elsevier, 2006. 217 p.
 9. Vasilenko A.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine /archive/n3y2018/5154.
 10. Kalinuchkin M.P. Ventiljatornie ustanovki. Vischaja chkola, 1979. 223 p.
 11. Poljakov V.V., Skvorzov L.C. Nasosi i ventiljatori.Stroiizdat, 1990. 336 p.
 12. Vasilenko A.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine /archive/N4y2017/4397.
-