

## Исследование параметров работы вентилятора в термически нестационарной вентиляционной системе

*А.И.Василенко*

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Целью работы является определение закономерностей, определяющих параметры работы вентилятора в термически нестационарной вентиляционной системе, содержащей воздухонагреватель, расположенный по ходу движения воздуха после вентилятора. Установлено, что вентиляционная система, содержащая воздухонагреватель, имеет две характеристики аэродинамического сопротивления, отнесенные к объемным расходам воздуха на участках сети до и после воздухонагревателя. Обосновано, что при использовании метода наложения  $P-L$  характеристик для определения параметров работы вентилятора в рассматриваемой системе, необходимо применять  $P-L$  характеристику сети, отнесенную к объемному расходу воздуха до воздухонагревателя. Получены зависимости определяющие параметры работы вентилятора в зависимости от вида его аэродинамической характеристики и места расположения воздухонагревателя в системе.

**Ключевые слова:** вентиляционные системы, термически нестационарный режим, вентилятор, воздухонагреватель, энергоэффективность, энергосбережение.

Повышение требований к микроклимату в помещениях современных зданий и ужесточение нормативов по их энергоэффективности обуславливает необходимость разработки новых схемотехнических решений в области их инженерно-технического обеспечения, в том числе установок отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК). Важнейшими направлениями повышения энергетической эффективности этих установок является совершенствование их принципиальных схем [1-4], а также создание и внедрение комплексов автоматического управления работой данных установок [5-8]. Опыт показывает, несмотря на определенную автономность исследований по указанным направлениям, существует ряд вопросов, решение которых оказывает влияние на технический прогресс по двум указанным направлениям. К таким вопросам можно отнести исследования в области разработки новых вентиляционных агрегатов, центральных кондиционеров и других элементов ОВК. Однако, получение ожидаемого энергосберегающего эффекта от внедрения новых разработок

---

связано с рядом трудностей, связанных с недостаточной изученностью особенностей работы вентиляторных агрегатов в термически нестационарных вентиляционных системах, содержащих теплообменники.

Рассмотрим работу вентилятора в термически нестационарной вентиляционной сети содержащей воздухонагреватель, рис.1.

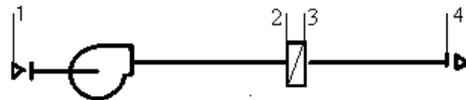


Рис. 1. Схема системы механической вентиляции с воздухонагревателем.

Введем обозначения:

$L_{1-2}$ ,  $L_{2-3}$ ,  $L_{3-4}$  - соответственно объемные расходы воздуха на участках 1-2, 2-3, 3-4;  $P_v$ ,  $L_v$  - соответственно давление воздуха, создаваемое вентилятором и его объемная производительность;  $\Delta P_{1-2}$ ,  $\Delta P_{2-3}$ ,  $\Delta P_{3-4}$  - потери давления воздуха на участках 1-2, 2-3, 3-4;  $k_{1-2}$ ,  $k_{2-3}$ ,  $k_{3-4}$  - характеристики аэродинамического сопротивления участков 1-2, 2-3, 3-4;  $\Delta P$  - потери давления воздуха в системе;  $\rho_{1-2}$ ,  $\rho_{3-4}$  - плотности воздуха на участках 1-2, 3-4.

Ограничим область исследований анализом параметров работы вентилятора при постоянном значении плотности воздуха в его входном патрубке равной  $\rho_{1-2}$ .

В рассматриваемой системе имеют место следующие соотношения:

$$L_v = L_{1-2} = L_{3-4} \frac{\rho_{3-4}}{\rho_{1-2}}; \quad (1)$$

$$P_v = f(L_v); \quad (2)$$

$$P_v = \Delta P. \quad (3)$$

Потери давления воздуха в системе определяются следующими уравнениями:

$$\Delta P = \left[ k_{1-2} + k_{2-3} + k_{3-4} \frac{\rho_{1-2}}{\rho_{3-4}} \right] \rho_{1-2} L_{1-2}^2 = K_{(1-2)} \rho_{1-2} L_{1-2}^2 ; \quad (4)$$

$$\Delta P = \left[ \left( k_{1-2} + k_{2-3} \right) \frac{\rho_{3-4}}{\rho_{1-2}} + k_3 \right] \rho_{3-4} L_{3-4}^2 = K_{(3-4)} \rho_{3-4} L_{3-4}^2 ; \quad (5)$$

При отсутствии нагрева воздуха в воздухонагревателе  $\rho_{3-4} = \rho_{1-2}$ :

$$\Delta P = \left[ k_{1-2} + k_{2-3} + k_{3-4} \right] \rho_{1-2} L_{1-2}^2 = K' \rho_{1-2} L_{1-2}^2 \quad (6)$$

Из зависимостей (4) и (5) следует, что рассматриваемая вентиляционная сеть имеет две характеристики сети, отнесенные к объемным расходам воздуха на участках 1-2 и 3-4.

Величины  $P_v$  и  $L_v$  могут быть определены графо-аналитическим способом по методу наложения  $P-L$  характеристик [9-11]. Необходимо отметить, что известные решения этой задачи [9-11] основаны на использовании характеристики сети, отнесенной к расходу воздуха на участке после воздухонагревателя, что не соответствует физическому смыслу исследуемого процесса. Этот вывод обусловлен тем, что смысл метода наложения характеристик состоит в нахождении точки пересечения  $P-L$  характеристик сети и вентилятора, соответствующих одному и тому же значению плотности воздуха. А это означает, что в данном случае должна использоваться уравнение (4).

Результаты применения метода наложения характеристик, применительно к рассматриваемой задаче, представлены на рис. 2. Пересечение линии 1, построенной по уравнению (6) и линии 4, являющейся графическим отображением  $P-L$  характеристики вентилятора при  $\rho_{1-2}$ , определяет координаты его рабочей точки при отсутствии нагрева воздуха - точка 1 на рис. 2.

$$L_v = L_1; \quad P_v = P_1; \quad N_1 = \frac{L_1 P_1}{\eta_1};$$

где:  $\eta_1$  - КПД вентилятора.

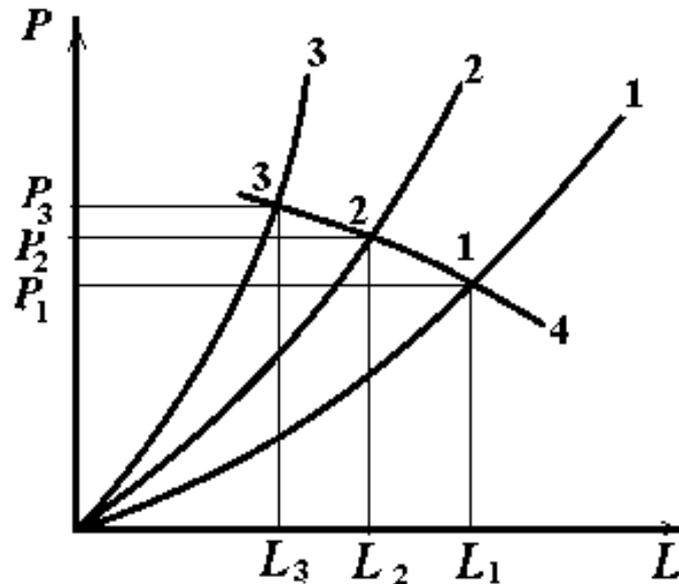


Рис. 2. Диапазон изменения параметров работы вентилятора при отсутствии и при наличии нагрева воздуха в воздухонагревателе. Характеристики сети соответственно: 1 - по уравнению (6); 2 - по уравнению (4); 3 - по уравнению (10). 4 –  $P$ - $L$  характеристика вентилятора.

При нагреве воздуха в воздухонагревателе  $\rho_{3-4} < \rho_{1-2}$ , и параметры работы вентилятора определяются координатами точки 2 на пересечении линий 2 и 4, рис. 2. Смещение линии 2 влево по отношению к линии 1, рис. 2, обосновывается тем, что из сопоставления формул (4) и (6) следует:

$$k_{3-4} \frac{\rho_{1-2}}{\rho_{3-4}} > k_{3-4}, \text{ поэтому } K_{(1-2)} \geq K'. \text{ Величина } K_{(1-2)} \text{ в зависимости от}$$

местоположения теплообменника в сети находится в пределах:

$$k_{3-4} \frac{\rho_{1-2}}{\rho_{3-4}} \geq K_{(1-2)} \geq k_{1-2}; \quad (7)$$

Нижний предел неравенства соответствует случаю, когда теплообменник размещен на выходе воздуха из системы, рис. 3:

$$k_{1-2} \gg k_{2-3} + k_{3-4}; \quad (8)$$

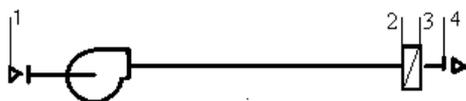


Рис. 3. Схема системы с  $P-L$  характеристикой сети по условию (8).

Верхний предел неравенства (10) соответствует размещению вентилятора и теплообменника на входе воздуха в систему, рис. 4:

$$k_{3-4} \gg k_{1-2} + k_{2-3}; \quad (9)$$

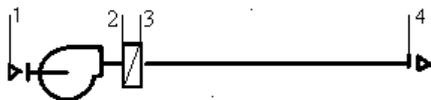


Рис. 4. Схема системы с  $P-L$  характеристикой сети по условию (9).

Уравнение характеристики сети, удовлетворяющей условию (8) соответствует зависимости (6) и отображается линией 1, рис. 2, а уравнение характеристики сети, удовлетворяющей условию (9) отображается линией 3 на рис. 2 и имеет вид:

$$\Delta P = k_{(3-4)} \frac{\rho_{1-2}^2}{\rho_{3-4}} L_{1-2}^2; \quad (10)$$

Таким образом, при работе системы в термически нестационарном режиме рабочая точка вентилятора находится на  $P-L$  характеристике вентилятора, соответствующей  $\rho_{1-2}$ , между точками 1 и 3, рис. 2, а ее

координаты зависят от плотности нагретого воздуха и местоположения воздухонагревателя в сети.

### **Выводы:**

- нагрев воздуха в воздухонагревателе приводит к уменьшению объемной производительности вентилятора, минимальное уменьшение соответствует размещению воздухонагревателя на выходе воздуха из системы, а максимальное - размещению вентилятора и воздухонагревателя на входе воздуха в систему;
- нагрев воздуха приводит к увеличению потерь давления воздуха в системе и, соответственно, увеличению давления воздуха, создаваемого вентилятором, при этом минимальное увеличение давления соответствует как размещению воздухонагревателя на выходе воздуха из системы, так и применению вентилятора с горизонтальным участком характеристики между точками 1-3 на рис. 2;
- максимальная стабильность объемного расхода и потерь давления воздуха в рассматриваемой системе соответствует размещению воздухонагревателя вблизи выхода воздуха из системы.

### **Литература.**

1. Кокорин О.Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования. М.: Издательство АСВ, 2013. 256 с.
2. Караджи В.Г., Московко Ю.Г. Оценка аэродинамической эффективности вентиляционных систем //АВОК, 2008, № 7. с.46.
3. Караджи В.Г., Московко Ю.Г. Способы увеличения аэродинамической эффективности вентиляционных систем //АВОК, 2009, № 5.с.28.
4. Галкина Н.И. КПД систем вентиляции. // Инженерный вестник Дона, 2017, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4106](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4106).

5. 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.

6. E. Mathews, C. Botha, D. Arndt, and A. Malan, - HVAC control strategies to enhance comfort and minimise energy usage // Energy Build., vol. 33, no. 8, pp. 853 – 863, 2001.

7. 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.

8. 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.

9. Вахвахов Г.Г. Работа вентиляторов в сети. - М.: Стройиздат, 1975. - 101 с.

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

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

### References

1. Kokorin O. Ja. Jenergoberezhenie v sistemah otoplenija, ventiljacji, kondicionirovanija [Energy saving in heating, ventilation, air conditioning systems]. М.: Izdatel'stvo ASV, 2013. 319 p.

2. Karadzhi V.G., Moskovko Ju.G. Ocenka ajerodinamicheskoj jeffektivnosti ventiljacionnyh system [Evaluation of the aerody namic efficiency of ventilation systems]. AVOK.2008, № 7. p. 46.



3. Karadzhi V.G., Moskovko Ju.G. Sposoby uvelichenija aerodinamicheskoy effektivnos ti ventiljacionnyh system [Ways to increase aerodynamic effectiveness of ven tilation systems]. AVOK. 2009, № 5. p. 28.

4. Galkina N.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine /archive/N2y2017/4106](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4106).

5. K. F. Fong, V. I. Hanby, and T. T. Chow, Energy Build., vol. 38, no.3, pp. 220 –231, 2006.

6. E. Mathews, C. Botha, D. Arndt, and A. Malan, Energy Build., vol. 33, no. 8, pp. 853 – 863, 2001.

7. 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.

8. Nguyen Xuan Manh. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3178](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3178).

9. Vahvahov G.G. Rabota ventiljatorov v seti [The fans in the network]. M.: Stroiizdat, 1975. 101 p.

10. Kalinuchkin M.P. Ventiljatornie ustanovki [Fan installation]. M.: Vischaja chkola, 1979. 223 p.

11. Poljakov V.V., Skvorzov L.C.. Nasosi i ventiljatori [Pumps and fans]. M.: Stroiizdat, 1990. 336 p.