

Метод анализа изменений механической мощности воздушного потока в вентиляционной системе

А.И.Василенко

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: С целью получения объективных данных об энергетическом потенциале воздушных потоков в системе вентиляции предлагается использовать параметр «локальная механическая мощность потока». Приводятся формулы, характеризующие изменение данного параметра на различных участках вентиляционной системы. Описывается предлагаемый автором способ графического отображения процессов изменения параметров потока в координатных осях $L - P_n$, позволяющий достаточно просто определять изменение его локальной механической мощности на изотермических и неизоотермических участках вентиляционной системы.

Ключевые слова: вентиляционные системы, вентилятор, механическая мощность, теплообменник, энергоэффективность, энергосбережение.

Повышение энергетической эффективности зданий является комплексной задачей, требующей для своего решения реализации ряда организационных, экономических и технических мероприятий [1-3]. Важнейшей составной частью технических решений в области энергосбережения является повышение энергетической эффективности систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Известно, что системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК) являются крупными потребителями электроэнергии, на их долю приходится около 40 % общей электрической мощности, потребляемой зданиями [4-6]. Это обуславливает необходимость исследования вопросов энергосбережения в системах ОВК при разработке стратегических направлений и практических рекомендаций по повышению энергетической эффективности зданий. В последние годы в данном направлении исследований наметился существенный прогресс [7-10], что позволило добиться значительного продвижения как в области исследования энергосберегающей проблематики вентиляционных систем, так и в области разработки энергоэффективных конструкций отдельных элементов вентиляционных систем. Однако, по

нашему мнению, некоторые принципиальные вопросы, связанные с повышением энергетической эффективности ОВК, требуют дополнительной методологической проработки. В данной статье описывается разработанный нами метод анализа изменений механической мощности воздушного потока при его перемещении по элементам вентиляционной системы.

Реализация целевой функции вентиляционной системы сопровождается изменением параметров воздуха в процессе его движения по системе, в том числе изменением термодинамических параметров - температуры, плотности и давления воздуха. Это дает основание применять при исследовании вентиляционных систем термодинамические методы, позволяющие установить общие закономерности, описывающие процессы и явления в системах и определяющие уровень их энергетической эффективности.

При наличии теплового и механического взаимодействия потока с окружающей средой и отсутствии технической работы, преобразования энергии в нем описываются уравнением Бернулли, все величины которого отнесены к единице объема перемещаемого воздуха:

$$P_{n1} = P_{n2} + \Delta P_{(1-2)} - \Delta P_v. \quad (1)$$

В последней формуле: P_{n1} , P_{n2} - соответственно полные давления воздуха в сечениях 1 и 2, характеризующие механическую энергию единицы объема воздуха в данных сечениях; ΔP_v - увеличение полного давления воздуха в вентиляторе; $\Delta P_{(1-2)}$ - потери давления воздуха на участке между сечениями 1 и 2 в результате совершения потоком работы против сил сопротивления его движению и ускорения или замедления потока.

Для характеристики уровня механической энергии потока в j - м сечении вентиляционной системы используем понятие «локальной механической мощности потока», N_j , равной произведению полного давления воздуха в сечении, P_{nj} , на ее объемный расход в данном сечении, L_j :

$$N_j = P_{nj} L_j . \quad (2)$$

Изменение механической мощности потока на участке 1-2 отображается зависимостью

$$N_{(n+1)-n} = \int_1^2 L dP_n ; \quad (3)$$

Для последовательно расположенных изотермических участков системы при $L = const$, связь между значениями локальной механической мощности потока в сечениях 1 и 2 при наличии потерь давления и подвода механической энергии к потоку на участке между данными сечениями устанавливается зависимостью, полученной из совместного решения (1) и (2):

$$N_1 = N_2 + \Delta N_{1-2} - N_v . \quad (4)$$

Для неизотермических потоков связь между значениями локальной механической мощности потока в сечениях 1 и 2, может быть установлена из совместного решения уравнения (1) и уравнения расхода:

$$N_1 = N_2 \frac{\rho_2}{\rho_1} + \Delta P_{(1-2)} L_1 - N_v . \quad (5)$$

Зависимости (4) и (5) позволяют установить распределение значений локальной механической мощности потока в характерных сечениях аэродинамической системы и выявить участки, на которых происходит увеличение или уменьшение этой величины.

Необходимо отметить, что в общем случае все процессы изменения параметров воздуха в вентиляционных системах являются политропными процессами, строгий анализ которых связан с существенными трудностями. Однако задачу исследования можно упростить, если при исследовании процессов изменения параметров потока исходить из того, что в соответствие с режимами работы вентиляционных систем $|P_n| \leq 5 \cdot 10^3$ Па, $w \leq 30$ м/с, поэтому сжимаемость воздуха и увеличение его температуры в результате

трения и повышения давления в вентиляторе можно не учитывать.

Отообразим характерные для вентиляционных систем процессы изменения полного давления и объемного расхода транспортируемой среды на различных участках системы в координатных осях $L-P_n$, рис. 1.

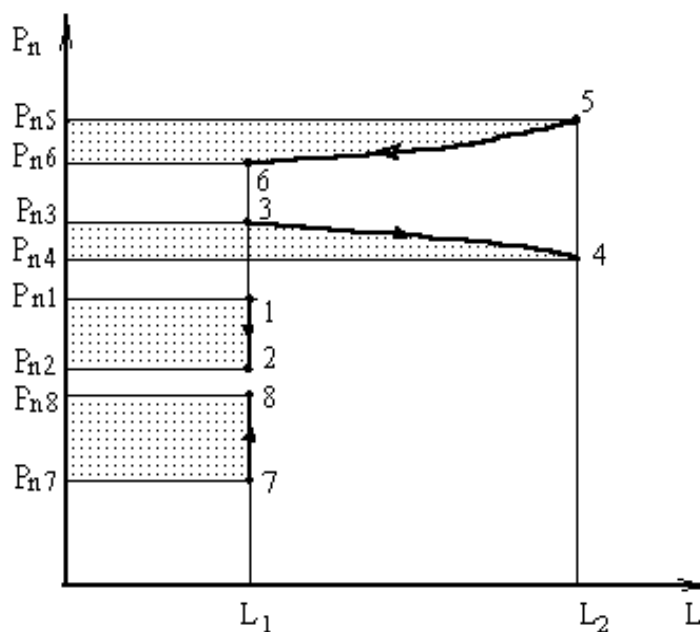


Рис. 1. Процессы изменения параметров воздуха на изотермических и неизотермических участках вентиляционной системы.

В соответствии с принятыми допущениями изотермические процессы движения потока с диссипацией или подводом механической энергии к потоку отображаются противоположно направленными вертикальными линиями 1-2 или 7-8.

Линия 1-2 отображает изменение полного давления и механической мощности потока при его движении по изотермическому участку 1-2. Так как $P_{n2} < P_{n1}$, следовательно ΔN_{1-2} является величиной отрицательной.

Линия 7-8 отображает процесс подвода механической мощности к потоку в вентиляторе при величине создаваемого им полного давления воздуха равного $\Delta P_v = P_{n8} - P_{n7}$. Так как $P_{n8} > P_{n7}$, то ΔN_{7-8} величина положительная.

Необходимо отметить, что в общем случае процесс изменения параметров воздуха в вентиляторе является адиабатическим и сопровождается повышением температуры воздуха вследствие работы адиабатического сжатия, при этом прирост температуры потока составляет $0,8^{\circ}\text{C}$ на 1 кПа увеличения полного давления потока в вентиляторе. Учитывая приведенный выше диапазон изменения полного давления потока в вентиляционной системе, можно считать, что увеличение температуры потока в вентиляторе не превышает 3°C и не оказывает существенного влияния на объемный расход потока. Это позволяет, при сохранении соразмерности изменения плотности воздуха в вентиляторе и теплообменниках, отобразить процесс изменения параметров потока в вентиляторе линией $L=const$.

Линия 3-4 отображает процесс нагрева транспортируемой среды в теплообменнике. В общем случае характер линии 3-4 определяется закономерностями распределения полных давлений и объемных расходов транспортируемой среды в зоне теплообмена, которые, в свою очередь, зависят от конструктивного решения теплообменника и условий теплообмена. Изменение локальной механической мощности потока в данном процессе в соответствии с формулой (3) равно площади фигуры, заключенной между линией 3-4 и осью ординат:

$$\Delta N_{(3-4)} = \int_3^4 L dP_n .$$

Линия 5-6 отображает процесс охлаждения воздуха в теплообменнике. Изменение локальной механической мощности потока в данном процессе равно

$$\Delta N_{(5-6)} = \int_5^6 L dP_n$$

и отображается площадью фигуры, заключенной между линией 5-6 и осью ординат.

Значения локальной механической мощности потока в точках 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8 определяются произведением координат данных точек.

Выводы:

Введение параметра «локальная мощность воздушного потока» позволяет оценить изменение энергетических характеристик воздушного потока в вентиляционной системе. Отображение процессов изменения полного давления и объемного расхода воздуха в вентиляционных системах в координатных осях $L-P_n$ дает наглядное представление о характере изменений энергетических характеристик воздушного потока в системе вентиляции и позволяет достаточно просто определять изменение его локальной механической мощности на изотермических и неизотермических участках вентиляционной системы.

Литература.

1. А.В. Гавриленко, А.Л. Кирсанов, Т.П. Елисеева. Основные направления энергосбережения в региональной экономике// Инженерный вестник Дона, 2011, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/340.

2. Н.А. Страхова, Н.Ю. Горлова. Концепция энергоресурсосберегающей деятельности в промышленности. // Инженерный вестник Дона, 2011, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/359.

3. С.Г.Шеина, Е.В.Чулкова. Анализ эффективности энергосберегающих мероприятий в рамках реализации программы по энергосбережению в жилищном фонде г. Ростова-на-Дону// Инженерный вестник Дона, 2011, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/707.

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. 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.

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

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

8. Караджи В.Г., Московко Ю.Г. Оценка аэродинамической эффективности вентиляционных систем //АВОК, 2008, № 7. с.46.

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

10. Галкина Н.И. КПД систем вентиляции. // Инженерный вестник Дона, 2017, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4106.

References

1. Gavrilenko A.V., Kirsanov A.L., Yeliseeva T.P. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/340.

2. Strahova N. A., Gorlova N.J. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/359.

3. Sheina S. G., Girya L.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/707.

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

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



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

7. Kokorin O.Ja. Jenergoberezhenie v sistemah otopenija, ventiljacii, kondicionirovanija [Energy saving in heating, ventilation, air conditioning systems]. M.: Izdatel'stvo ASV, 2013. 319 p.

8. Karadzhi V.G., Moskovko Ju.G. Ocenka aerodinamicheskoj jeffektivnosti ventiljacionnyh system [Evaluation of the aerodynamic efficiency of ventilation systems]. AVOK.2008, №7. p. 46.

9. Karadzhi V.G., Moskovko Ju.G. Sposoby uvelichenija aerodinamicheskoj effektivnosti ventiljacionnyh system [Ways to increase aerodynamic effectiveness of ventilation systems]. AVOK. 2009, № 5. p. 28.

10. 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).