

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ С ПЕРЕМЕННЫМ РАСХОДОМ ВОЗДУХА

Н.С. Морозова, А.Н. Нагорная

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Рассмотрены вопросы аэродинамики вентиляционных сетей с переменным расходом воздуха на примере здания гостиницы. Предложен вариант использования кольцевых сетей воздухопроводов для стабилизации статического давления по длине сети и обеспечения оптимального воздухораспределения при изменении расхода воздуха. Выполнено компьютерное моделирование вентиляционной сети тупиковой и кольцевой конфигурации в программном пакете SolidWorks Flow Simulation. Расчёты показали, что закольцовывание сетей воздухопроводов способствует выравниванию расходов воздуха через воздухообразующие отверстия при изменении производительности системы. Выполнена оценка целесообразности применения VAV – регуляторов в вентиляционных сетях с переменным расходом воздуха.

Ключевые слова: гостиницы, энергосбережение, вентиляция с переменным расходом воздуха, кольцевые сети воздухопроводов.

В настоящее время с целью обеспечения комфортного пребывания людей большинство современных общественных зданий оборудованы системами механической приточно-вытяжной вентиляции. Это прописано в требованиях современной нормативной литературы [1]. При этом затраты на нагрев приточного вентиляционного воздуха зимой и его охлаждение летом становятся одной из самых крупных статей расхода при эксплуатации общественного здания.

Особенностью эксплуатации некоторых общественных зданий является неравномерность их заполнения. К таким зданиям в первую очередь относятся гостиницы. Согласно статистическим данным [2], в основном, в Челябинске представлен сегмент делового туризма. На его долю приходится около 80–90% всех прибывающих в город людей. Среднегодовой показатель заполняемости гостиниц Челябинска составляет примерно 50–65%. При этом гостиницы в течение года заполняются крайне неравномерно. Во время проведения массовых мероприятий, таких как, например, чемпионаты мира, международные форумы, гостиницы могут заполняться на 100%. При этом в другое время может быть занято только 20–30% номеров [2].

Учитывая данную особенность эксплуатации, получается, что самый экономичный способ вентилирования зданий со значительной неравномерностью использования – это применение систем с переменным расходом воздуха, когда производительность этих систем, в случае гостиниц, зависит от количества занятых номеров.

Гостиницы, как правило, являются зданиями «коридорного типа», поэтому в них используется следующая стандартная схема вентиляции: магистральный воздухопровод прокладывается под потолком коридора, а в каждый номер заходит отдель-

ное ответвление. Система вентиляции с переменным расходом воздуха реализуется с помощью электронных ключей (карточек). Когда постоялец входит в номер, вставляет такую карточку и, тем самым, автоматически обеспечивает подачу электроэнергии в номер, в этот момент открывается заслонка на ответвлении от магистрального воздухопровода, обеспечивая подачу приточного воздуха.

Регулирование расхода воздуха на источнике (приточной установке) достигается установкой частотного регулятора скорости вращения вентилятора. Однако при уменьшении расхода воздуха изменяется скорость в сечении воздухопровода и, соответственно, потери давления. Вследствие этого нарушается аэродинамический режим вентиляционной сети, а, следовательно, и гидравлическая увязка ответвлений. Расход воздуха, поступающего через ответвления на магистральном воздуховоде (в данном случае в гостиничные номера), изменяется непропорционально, при закрытии одних ответвлений он может вырасти или снизиться в других в 2–3 раза по сравнению с номинальным.

Проблему нарушения аэродинамики вентиляционной сети при изменении расхода воздуха предлагается решить с помощью поэтажной «закольцовки» магистральных воздухопроводов. Перемычка позволяет снизить неравномерность воздухораспределения за счет перетока воздуха от более нагруженной ветки к менее нагруженной путем смещения «нулевой» точки. Предложенная схема способствует выравниванию статического давления по длине воздухопровода, за счет этого повышается равномерность раздачи воздуха через ответвления.

Для проверки данного предположения в программном пакете SolidWorks Flow Simulation была смоделирована вентиляционная сеть здания 2-этажной гостиницы с 12 номерами на каждом этаже.

Для расчетов программа CFD-моделирования строит прямоугольную сетку, произвольным образом пересекающую поверхность модели, созданной в системе графического проектирования. Для описания физических процессов используются дифференциальные уравнения. Более подробно принцип работы программного комплекса SolidWorks Flow Simulation представлен в следующих работах [3].

Расход воздуха через каждое отверстие принят равным 500 м³/ч. Вентиляционная сеть в режиме полной загрузки в проектном режиме отрегулирована путем изменения площадей поперечного сечения отверстий, движения воздуха по перемычке нет.

В режиме эксплуатации рассмотрена ситуация наполненности гостиницы на 60 %, на втором этаже занято 6 номеров, а на первом – 8. Расход воздуха в системе регулируется вентилятором с частотным преобразователем пропорционально количеству занятых номеров.

На рис. 1 и 2 представлено продольное сечение вентиляционной сети с эпюрой скоростей. Области с наименьшей скоростью движения воздуха показаны чёрным цветом, цвета постепенно изменяются к белому по мере увеличения скорости. Чёрные линии показывают интенсивность и характер движения воздуха. Их концентрация прямо пропорциональна скорости движения.

Из рис. 1 видно, что воздух на первом этаже

доходит только до 11-го отверстия по ходу движения воздуха, а в 12-е он поступает через перемычку со второго этажа.

Из рис. 2 следует, что при отсутствии замыкающей перемычки равномерность воздухораспределения значительно нарушается. Расход у первых отверстий сильно падает, а у последних – увеличивается почти в 2 раза из-за большой площади поперечного сечения.

Численные значения расходов через отверстия при двух конфигурациях сети представлены в таблице (отверстия пронумерованы по ходу движения).

Выполненные расчеты показали, что установка перемычки, которая будет закольцовывать поэтажные воздухопроводы в зданиях коридорного типа, способствует выравниванию расходов воздуха через отверстия при снижении производительности системы.

Аэродинамикой систем с переменным расходом воздуха занимаются многие инженеры-исследователи. Например, Таецеол Ким из университета Оклахомы (США) изучал оптимальный метод подбора сечений воздухопроводов для вентиляционных систем с изменяющимся расходом воздуха [4].

Компания Belimo предлагает устанавливать на ответвлениях в каждое помещение VAV-регуляторы, которые поддерживают заданный расход приточного воздуха в зависимости от текущей потребности. Необходимая величина рас-

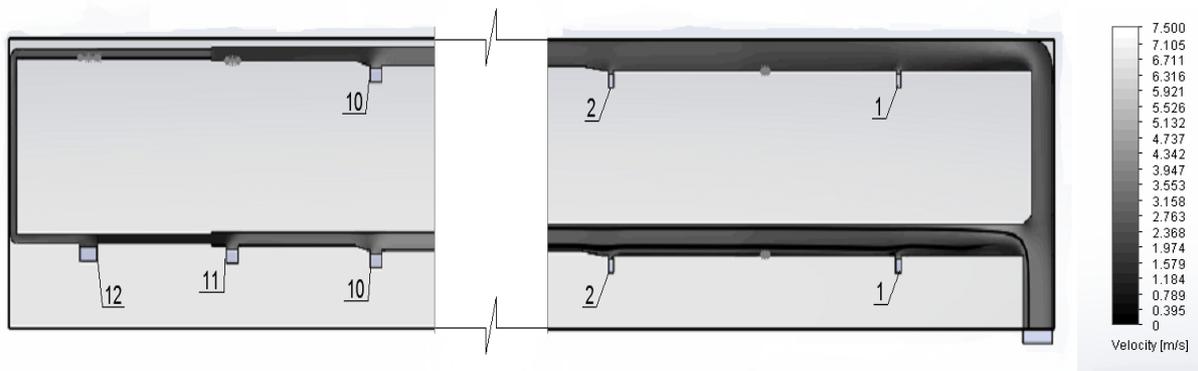


Рис. 1. Эпюра скоростей в закольцованной вентиляционной сети при загрузке гостиницы 60 %

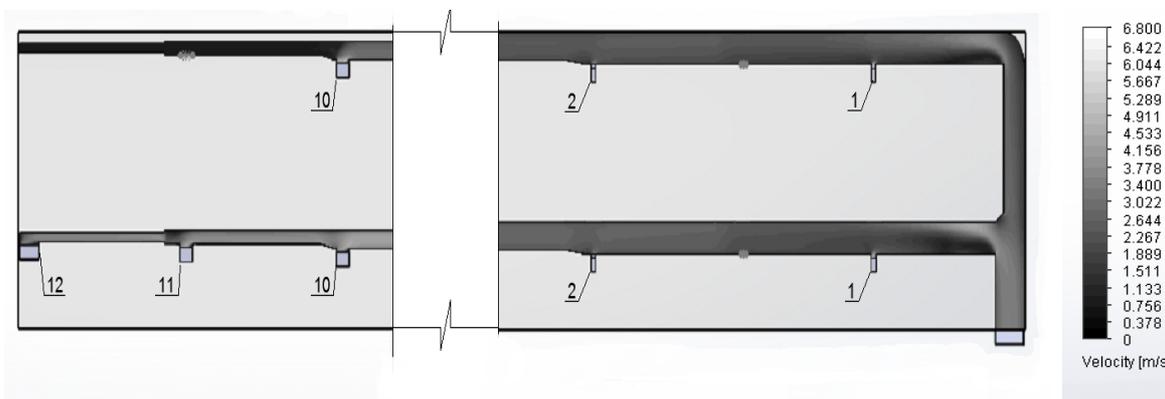


Рис. 2. Эпюра скоростей в вентиляционной сети без замыкающей перемычки при загрузке гостиницы 60 %

Инженерное оборудование зданий и сооружений

хода определяется значением внешнего управляющего сигнала, который может поступать от терморегуляторов, датчиков углекислого газа или других элементов системы управления, находящихся в помещении. На измерительных элементах VAV-регулятора, установленных в воздуховоде, возникает перепад давлений, зависящий от скорости воздуха. Значение этого перепада подается на измерительный преобразователь, где определяется фактический расход воздуха, который потом сравнивается с заданным. Исходя из этого сравнения

формируется величина отклонения, на основании которого генерируется сигнал для изменения положения дроссельной заслонки [5]. Основные конструктивные элементы регулятора расхода VAV представлены на рис. 3.

Такая система достаточно эффективна в поддержании заданного расхода воздуха в помещении. Ее главными недостатками являются: высокая стоимость средств автоматизации и высокие требования к квалификации обслуживающего их персонала.

Расходы воздуха через приточные отверстия

Номер приточного отверстия	Расход воздуха, м ³ /ч	
	в системе без «закольцовки» (рис. 2)	в системе с «закольцовкой» (рис. 1)
1 этаж		
1	160	350
2	закрыто	
3	180	460
4	закрыто	
5	215	380
6	закрыто	
7	325	420
8	420	460
9	закрыто	
10	1160	770
11	870	770
12	1160	460
2 этаж		
1	160	350
2	закрыто	
3	180	460
4	180	350
5	закрыто	
6	закрыто	
7	закрыто	
8	420	460
9	690	580
10	1160	770
11	закрыто	
12	закрыто	

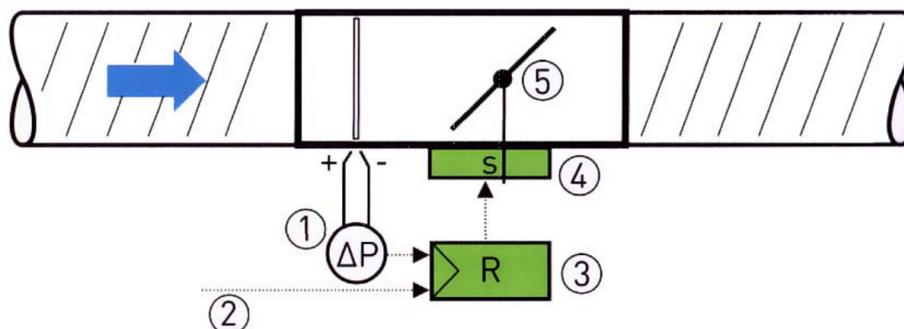


Рис. 3. Конструктивные элементы регулятора расхода VAV:
1 – преобразователь перепада давлений; 2 – внешний управляющий сигнал;
3 – VAV-регулятор; 4 – электропривод дроссельной заслонки; 5 – дроссельная заслонка

Предложенное в работе решение с кольцевой сетью воздухопроводов обеспечивает не такое точное поддержание расходов воздуха в ответвлениях при изменении скорости в магистрали, как в случае применения VAV-регуляторов. Однако применение кольцевых сетей воздухопроводов позволяет значительно снизить стоимость системы. Наличие соединяющей перемычки позволяет отказаться от дорогостоящих регуляторов, заменив их обычной двухпозиционной заслонкой. Такую систему легко автоматизировать и эксплуатировать.

Литература

1. СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». – М.: Минрегион России, 2012. – 81 с.
2. PRO Челябинск. – <http://chelyabinsk.arendator.ru/> (дата обращения 04.09.2014).

[arendator.ru/](http://chelyabinsk.arendator.ru/) (дата обращения 04.09.2014).

3. Нагорная, А.Н. CFD-моделирование теплового и воздушного режима кинотеатра / А.Н. Нагорная, Е.В. Денисюк // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 61–64.
4. Kim, T. *Optimum duct design for variable air volume systems*. – USA: Oklahoma State University, 2001. – 172 с.
5. Бучек, Р. Системы VAV. Руководство / Р. Бучек, М. Хлудзинска, Г. Кубицки. – Краков: Группа FORTIS, 2009. – 80 с.
6. Нагорная, А.Н. Проблемы организации воздухораспределения при вытесняющей вентиляции с переменным расходом воздуха / А.Н. Нагорная, Н.С. Морозова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 65–67.

Морозова Нина Сергеевна, аспирант кафедры «Теплогоснабжение и вентиляция», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), numullit@gmail.com

Нагорная Анастасия Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогоснабжение и вентиляция», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), nagornaya74@mail.ru

Поступила в редакцию 26 января 2015 г.

ON OPTIMISATION OF VARIABLE AIR VOLUME VENTILATION SYSTEM DESIGN

N.S. Morozova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, numullit@gmail.com

A.N. Nagornaya, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, nagornaya74@mail.ru

The questions of aerodynamics in ventilation systems with variable air volume are considered on the basis of hotel building. The method of using looped ductworks for equalization of static pressure along the ductwork and for provision of optimal air distribution during the change of the load is given. Computer simulation of ventilation network of a dead-end and ring configuration is performed with SolidWorks Flow Simulation software package. The calculations show that loopback network of ducts contributes to air flow balance at the change of system performance. The assessment of the necessity to use VAV regulators in ventilation systems with variable air volume is given.

Keywords: hotels, energy saving, ventilation system with variable air volume (VAV), looped ductworks.

References

1. SP 60.13330.2012. *Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozduha* [Heating, Ventilation and Air Conditioning]. Moscow, Russian Ministry of Regional Development Publ., 2012. 81 p.
2. PRO Chelyabinsk [PRO Chelyabinsk]. Available at: <http://chelyabinsk.arendator.ru/> (accessed 04.09.2014).
3. Nagornaya A.N., Denisyuk E.V. [CFD modeling of the thermal and air mode of movie theater]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction and Architecture*, 2013, vol. 13, no. 2. pp. 61–63 (in Russ.).
4. Kim Taecheol. *Optimum duct design for variable air volume systems*. USA: Oklahoma State University, 2001. 172 p.

Инженерное оборудование зданий и сооружений

5. Buchek R., Hludzinska M., Kubicki G. *Sistemy VAV. Rukovodstvo* [System VAV. leadership]. Krakov, Grupa FORTIS Publ., 2009. 80 p.

6. Nagornaya A. N., Morozova N.S. [Problems of the organization of airdistribution at the forcing-out ventilation with a variable consumption of air]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction and Architecture*, 2013, vol. 13, no. 2. pp. 65–67 (in Russ.).

Received 26 January 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Морозова, Н.С. К вопросу об оптимизации конструкции вентиляционных сетей с переменным расходом воздуха / Н.С. Морозова, А.Н. Нагорная // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 32–36.

REFERENCE TO ARTICLE

Morozova N.S., Nagornaya A.N. On Optimisation of Variable Air Volume Ventilation System Design. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2015, vol. 15, no. 2, pp. 32–36. (in Russ.)