

Анализ перспектив применения расходомеров в компактных ПВУ с роторным рекуператором

Рецензия эксперта на статью получена
19.11.2024 [The expert review of the article
was received on November 19, 2024]

Тепловые потери через входные группы здания

Система теплоснабжения здания офисного или торгово-развлекательного назначения имеет подсистемы: горячего водоснабжения, отопления и вентиляции. Система вентиляции в ряде случаев используется в том числе для подачи тепловой энергии в здание и создания комфортного микроклимата в здании. Для сотрудников и посетителей в здании предусмотрены входные группы, для разгрузки грузовых автомобилей — ворота, для заезда автомобилей сотрудников и посетителей — несколько въездных ворот. Данные конструктивные элементы имеют частый режим использования. В холодный период времени через входные группы и въезды в здание будет поступать холодный воздух, имеющий более высокую плотность. Для компенсации данного явления применяют вращающиеся либо автоматически закрывающиеся двери, а также воздушные тепловые завесы шибиряющего типа. Расход приточного воздуха вентиляционной установки здания при этом увеличивается незначительно, но спрос в тепловой энергии при тепловых потерях через проемы возрастает.

Приточная вентиляционная установка является составляющей частью системы, обеспечивающей тепловой приток. Следовательно, система будет функционировать тем точнее, чем точнее будет прогноз тепловых потерь. К ним относятся потери через ограждающие конструкции (трансмиссионные) и инфильтрационные.

В холодный период времени через входные группы и въезды в здание будет поступать холодный воздух, имеющий более высокую плотность. Для компенсации данного явления применяют вращающиеся либо автоматически закрывающиеся двери, а также воздушные тепловые завесы шибиряющего типа

Трансмиссионные потери включают: светопрозрачные конструкции (окна); входная группа (двери); стены; кровля; пол и фундамент. Инфильтрационные потери возможны через: окна; входная группа (двери); ограждающие конструкции с учетом ветровой нагрузки; система естественной вентиляции.

Для расчета тепловых потерь через входную группу нужно получить данные:

1. Число дверей $n_{\text{двер}}$, шт.
2. Температура внутреннего воздуха около входной двери — $t_{\text{двер}}$, °C.
3. Расчетная температура наружного воздуха — $t_{\text{наружн}}$, °C.
4. Длина $l_{\text{двер}}$ и высота $h_{\text{двер}}$ типовой входной двери.
5. Тип двери, на основании которого определяется $R_{\text{двер}}$ (табл. 1).
6. Год установки двери $T_{\text{двер}}$, на основании которого вычисляется возраст и коэффициент старения двери:

$$T = T_{\text{тек}} - T_{\text{двер}}, \quad (1)$$

где T — определяемый возраст двери; $T_{\text{тек}}$ — текущий год.

УДК 621.1.016. Научная специальность: 2.1.3.

Анализ перспектив применения расходомеров в компактных приточно-вытяжных установках с роторным рекуператором

С. В. Гужов, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **А. А. Арбатский**, к.т.н., генеральный директор ООО «НИИ «Энергоэффективных технологий микроклимата»; **Е. В. Крылова**, к.п.н., доцент, заместитель директора по учебной работе Института тепловой и атомной энергетики (ИТАЭ) НИУ «МЭИ»; **Д. Н. Темрина**, студент, НИУ «МЭИ»; **А. О. Сорокина**, студент, НИУ «МЭИ»

Современные системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуператором, применяемые, например, в зданиях торгово-развлекательного или офисного назначения, имеют достаточно сложные системы управления. Система управления должна быть надежной, обеспечивать достаточную точность регулировать в целях поддержания комфортного микроклимата в каждом помещении здания. В число датчиков такой системы обязательно входят расходомеры, обеспечивающие измерение объема газа либо жидкости, используемой в вентиляционной установке. В статье приведен упрощенный подход по расчету тепловых и инфильтрационных потерь через входные группы для здания, расположенного в климатических условиях города Москвы. Перечислены различные способы измерения температуры потока газа, пригодные для применения в компактных приточно-вытяжных установках с роторным рекуператором. На основе метода теории решения изобретательских задач показана комплексность и полнота применяемых методов измерения. Сделан вывод о достаточности методов измерения и о приоритетности при комплектации вентиляционных установок технико-экономических критериев.

Ключевые слова: общеобменная вентиляция, приточно-вытяжная установка, тепловой баланс, тепловые потери, инфильтрационные потери, измерение расхода.

UDC 621.1.016. The number of scientific specialty: 2.1.3.

Analysis of the prospects for the use of flow meters for compact air handling units with a rotary recuperator

S. V. Guzhov, PhD, Associate Professor, National Research University "Moscow Power Engineering Institute"; **A. A. Arbatsky**, PhD, General Director of the General Director of the "Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate", LLC; **E. V. Krylova**, PhD, Associate Professor, Deputy Director for Academic Affairs of the Institute Thermal and Nuclear Power Engineering of the NRU "MEI"; **D. N. Temrina**, student, NRU "MEI"; **A. O. Sorokina**, student, NRU "MEI"

Modern supply and exhaust ventilation systems with recuperator, used, for example, in commercial, entertainment or office buildings, have rather complex control systems. The control system must be reliable and ensure sufficient control accuracy in order to maintain a comfortable microclimate in each room of the building. The sensors of such a system must include flowmeters that measure the volume of gas or liquid used in the ventilation system. The article presents a simplified approach to calculating heat and infiltration losses through the entrance panels for a building located in the climatic conditions of the city of Moscow. Various methods of measuring the temperature of the gas flow are listed, suitable for use in compact supply and exhaust air installations with a rotary heat exchanger. Based on the method of theory of inventive problem solving, the complexity and completeness of the applied methods of change are shown. The conclusion is made about the sufficiency of measurement methods and the priority of technical and economic criteria when completing ventilation installations.

Keywords: general exchange ventilation, supply and exhaust system, heat balance, heat losses, infiltration losses, flow measurement.

Коэффициент старения имеет диапазон [0; 1]. Если здание новое, то $k = 1$, если зданию 40 лет и более — принимается $k = 0,35$. В промежутке между возрастом здания 1–40 лет коэффициент старения определяется по формуле:

$$k = 1 - 0,0169 T. \quad (2)$$

Расчет тепловых потерь производится по формуле:

$$\Delta Q_{\text{двер_тепл}} = (t_{\text{двер}} - t_{\text{наруж}})(1 + 0,1 + \beta) \times \times (8,59 \times 10^{-7} \times 24 \times 205) \frac{n_{\text{двер}} l_{\text{двер}} k}{R_{\text{двер}}}. \quad (3)$$

Для расчета инфильтрационных потерь используется табл. 2 и формула (4):

$$\Delta Q_{\text{двер_инф}} = 9,554 \times 10^{-4} (t_{\text{двер}} - t_{\text{наруж}}) \times \times n_{\text{двер}} (2l_{\text{двер}} + 2h_{\text{двер}}) q_{\text{инф_двер}} a_{\text{притвора_двер}}.$$

В случае, если на рассматриваемом объекте существует несколько типов окон или окон с разной геометрией, либо окон различного возраста, то формулу (3) необходимо применять для каждого их типов окон с последующим суммированием результатов. Входные группы для прохода людей, разгрузки и проезда автотранспорта являются достаточно большими, и могут быть долго открыты. Следова-

тельно, в данном случае актуальным является вопрос о применяемом способе измерения расхода воздуха.

Способы измерения температуры воздуха для АСУ системы вентиляции

Существует достаточно развитое множество расходомеров для систем вентиляции. Наиболее простой способ измерить расход в системе вентиляции состоит в применении анемометра. Ротационные

расходомеры [1] подразделяют на крыльчатые и турбинные. Принцип действия — использования механических передач: при наличии данные о вращении крыльчатки и о сечении канала нетрудно рассчитать расход. К недостаткам можно отнести чувствительность к загрязнениям, наличии движущихся частей, что приводит к ускоренному износу и шуму в процессе эксплуатации, уязвимость к пневматическим ударам.

Мембранный расходомер [2] основан на принципе перемещения мембран измерительных камер по мере поступления в них газа. Недостатками является невысокая точность измерений по сравнению с другими типами счетчиков, чувствительность к механическим загрязнениям.

Расходомер на основе трубки Вентури [3] основан на измерении расхода по перепаду давлений за сужением воздухопровода. К недостаткам можно отнести нелинейную статическую характеристику, узкий динамический диапазон, дополнительное гидравлическое сопротивление, а также значительные длины прямых участков до и после расходомера.

Расходомер на основе трубки Пито [4] работает на определении разницы общего и статического давлений, получая таким образом значение динамического давления, которое затем пересчитывается в скорость и затем в расход. Основным недостатком является подверженность засорению, особенно мелкодисперсными частицами.

Ультразвуковой расходомер [5] основан на измерении разницы скорости протекания ультразвука по ходу и против хода движения потока. К недостаткам таких расходомеров можно отнести пониженную чувствительность из-за паразитных сигналов и помех, вызванных прохождением колебаний не только по измеряемой среде, но и по стенке трубы.



... Значение теплового сопротивления в зависимости от разных типов двери

табл. 1

Тип	$R_{\text{двер}}, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$
Двери одинарные деревянные без тамбура	1,058
Двери одинарные деревянные с тамбуром между ними	1,058
Двери двойные (распашные) деревянные без тамбура	1,058
Двери двойные (распашные) деревянные с тамбуром между ними	1,058
Двери одинарные ПВХ без тамбура	0,821
Двери одинарные ПВХ с тамбуром между ними	0,821
Двери двойные (распашные) ПВХ без тамбура	0,821
Двери двойные (распашные) ПВХ с тамбуром между ними	0,821
Двери одинарные алюминиевые без тамбура	0,802
Двери одинарные алюминиевые с тамбуром между ними	0,802
Двери двойные (распашные) алюминиевые без тамбура	0,802
Двери двойные (распашные) алюминиевые с тамбуром между ними	0,802

... Значение q для инфильтрации двери

табл. 2

Тип	$a_{\text{притвора_двер}}$	$q_{\text{инф_двер}}, \text{кг} / (\text{ч} \cdot \text{м})$
Двери одинарные деревянные без тамбура	0,5	5,6
Двери одинарные деревянные с тамбуром между ними	0,5	5,6
Двери двойные (распашные) деревянные без тамбура	0,5	5,6
Двери двойные (распашные) деревянные с тамбуром между ними	0,5	5,6
Двери одинарные ПВХ без тамбура	0,33	3,8
Двери одинарные ПВХ с тамбуром между ними	0,33	3,8
Двери двойные (распашные) ПВХ без тамбура	0,33	3,8
Двери двойные (распашные) ПВХ с тамбуром между ними	0,33	3,8
Двери одинарные алюминиевые без тамбура	0,33	2,0
Двери одинарные алюминиевые с тамбуром между ними	0,33	2,0
Двери двойные (распашные) алюминиевые без тамбура	0,33	2,0
Двери двойные (распашные) алюминиевые с тамбуром между ними	0,33	2,0

Вихревой расходомер [6] основан на измерении частоты колебаний, возникающих в потоке в процессе вихреобразования. В потоке на пути проходящего по трубопроводу воздуха устанавливается тело обтекания, чаще всего имеющее форму трапеции. Это препятствие создает в потоке цепочку вихрей, называемую «дорожкой Кармана». Расстояние между вихрями постоянно и зависит от размера препятствия, а частота вихрей пропорциональна скорости потока. Ниже в потоке, за телом обтекания устанавливается элемент, осуществляющий индикацию проходящих мимо вихрей. Различают три основных вида расходомеров:

1. **Вихревые расходомеры с неподвижным обтекаемым телом.** В некоторых случаях применяют два или более тел обтекания для усиления выходного сигнала.
2. **Счетчики вихревого типа с прецессией воронкообразного вихря.** Поток закручивается в первичном преобразователе, и далее по трубе формируется воронкообразное завихрение потока.
3. **Вихревые счетчики с осциллирующей струей.** Первичным преобразователем таких счетчиков является струя, колеблющаяся в автоматическом режиме благодаря специальной конструкции устройства [7].

Приведенный анализ демонстрирует полноту используемых физических принципов, применяемых в компактных ПВУ с роторным рекуператором для измерения расхода воздушного потока. К основным критериям при комплектации вентустановок можно отнести особенности эксплуатации и технико-экономические параметры

Кориолисовы расходомеры [8] снабжены одной или двумя U-образными трубками, колеблющимися в результате внешнего вибрационного воздействия, генерируемого специальным возбудителем. В случае отсутствия потока колебания трубки будут происходить равномерно и синхронно. Если же по трубке проходит газ, под действием силы Кориолиса происходит сдвиг фазы колебаний: разные части трубы начинают отклоняться в разные стороны. Степень отклонения при этом пропорциональна скорости проходящего газа. Датчики, находящиеся на входе и на выходе расходомера регистрируют характер этих колебаний, а затем данные значения переводятся в значения скорости потока и расход [9]. Недостат-



Рис. 1. Диаграмма принципов, доступных для применения в компактных приточно-вытяжных установках с роторным рекуператором при измерении расхода газа

ками являются чувствительность к внешним вибрационным возмущениям и трудность использования для больших диаметров свыше 200 м.

Принцип измерения тепловых расходомеров [10] основан на зависимости теплоотдачи нагретого элемента, помещенного в поток, от скорости течения потока. Недостатками приборов данного типа является их большая инерционность.

Принцип работы электромагнитного расходомера [11] заключается в том, что при прохождении проводящей жидкости через магнитное поле генерируется ЭДС, пропорциональная скорости движения потока. К недостаткам относится зависимость от электропитания, а также способность работать только в электропроводных средах.

Оптический расходомер [12] функционирует на использовании зависимости оптических эффектов от скорости движения жидкости или газа. К недостаткам относится трудность регулирования точности в зависимости от запыленности среды.

С точки зрения теории и практики инженерного эксперимента принято выде-

лять несколько доступных к применению способов измерения расхода газа. Для области энергетики различают: тепло; холод; электричество; магнит; звук; вибрация; свет; ядерные силы; гравитация; кинетическая энергия; сила Архимеда; энергия сжатия пружины; гидро-, пневмо- и механическая; химическая; биологическая и пр. Каждый из перечисленных факторов может быть применен как направления для развития расходомеров для применения в компактных приточно-вытяжных установках с роторным рекуператором. На основе принципов действия составлена диаграмма полноты использования доступных принципов (рис. 1).

Приведенный анализ демонстрирует полноту используемых физических принципов, применяемых в компактных приточно-вытяжных установках с роторным рекуператором для измерения расхода воздушного потока. Как следствие, к основным критериям при комплектации вентиляционных установок можно отнести не принцип действия, а особенности эксплуатации и технико-экономические параметры. ●

1. Учет расхода газообразных сред с помощью ротационных счетчиков газа [Электр. текст]. АО «ЭМИС» от 01.06.2022. Режим доступа: emis-kir.ru. Дата обращения: 05.01.2025.
2. Диафрагменные (мембранные, камерные) счетчики газа [Электр. текст]. Компания «Газовик». Режим доступа: gazovik-gaz.ru. Дата обращения: 05.01.2025.
3. Расходомер с трубкой Вентури [Электр. текст]. Fuji Electric France. Режим доступа: fujielectric.fr/ru. Дата обращения: 07.01.2025.
4. Классификация расходомеров газа — часть 2 [Электр. текст]. ООО «Измерение и Контроль». Режим доступа: izmerkon.ru. Дата обращения: 08.01.2025.
5. Ультразвуковой расходомер [Электр. текст]. «Википедия». Режим доступа: ru.wikipedia.org. Дата обращения: 08.01.2025.
6. Богуш М.В. Вихревые расходомеры газа и пара / Актуальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения: Мат. II Межд. молодежной науч. конф. (06–10.09.2015, г. Ростов-на-Дону). — Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015.
7. Вихревой расходомер: преимущества и недостатки эксплуатации, область применения [Электр. текст].

8. Кориолисов расходомер [Электр. текст]. «Википедия». Режим доступа: ru.wikipedia.org. Дата обращения: 10.01.2025.
9. Принцип действия расходомеров постоянного перепада давления [Электр. текст]. «Анемометры. Измерители скорости газов» / пользователь «Юрий» от 24.03.2023. Режим доступа: anemometers.ru. Дата обращения: 08.01.2025.
10. Тепловой расходомер [Электр. текст]. «Википедия». Режим доступа: ru.wikipedia.org. Дата обращения: 11.01.2025.
11. Электромагнитный расходомер жидкости, газа и пара [Электр. текст]. «Яндекс.Дзен» / пользователь «Все про КИПиА» от 15.04.2022. Режим доступа: dzen.ru. Дата обращения: 10.01.2025.
12. Стационарный оптический расходомер Focus Probe [Электр. текст]. ООО «КиПарт». Режим доступа: keypart.ru. Дата обращения: 10.01.2025.

References — see page 96.

Analysis of the prospects for the use of flow meters for use in compact air handling units with a rotary recuperator. Pp. 77–79.

Sergey V. Guzhov, PhD, Associate Professor, National Research University "Moscow Power Engineering Institute"; **Andrey A. Arbatsky**, PhD, General Director of the General Director of the "Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate", LLC; **Elena V. Krylova**, PhD, Associate Professor, Deputy Director for Academic Affairs of the Institute Thermal and Nuclear Power Engineering of the NRU "MEI"; Daria N. Temrina, student, NRU "MEI"; **Anna O. Sorokina**, student, NRU "MEI"

1. *Uchet rashoda gazoobraznykh sred s pomosh'ju rotatsionnykh schetchikov gaza* [Accounting for the flow rate of gaseous media using rotary gas meters]. AO "JeMIS" ["EMIS"; JSC] of June 1, 2022. Web-source: emis-kip.ru. Access date: January 5, 2025. [In Russian]
2. *Diafragmennye (membrannye, kamernye) schetchiki gaza* [Diaphragm (membrane, chamber) gas meters]. Kompaniya "Gazovik" ["Gazovik" Co.]. Web-source: gazovik-gaz.ru. Access date: January 5, 2025. [In Russian]
3. *Rashodomer s trubkoj Venturi* [Flow meter with a Venturi tube]. Fuji Electric France. Web-source: fujielectric.fr. Access date: January 7, 2025. [In Russian]
4. *Klassifikatsiya rashodomerov gaza — chast' 2* [Classification of gas flow meters. Part 2]. OOO "Izmerenie i Kontrol" ["Measurement and control", JSC]. Web-source: izmerkon.ru. Access date: January 8, 2025. [In Russian]
5. *Ultrazvukovoj rashodomer* [Ultrasonic flowmeter]. Wikipedia. Web-source: ru.wikipedia.org. Access date: January 8, 2025. [In Russian]
6. M.V. Bogush. *Vikhrevye rashodometry gaza i para* [Vortex flowmeters for gas and steam]. Aktualnye problemy piezoelektricheskogo priborostroenija: Mat. II Mezhd. molodezhnoj nauch. konf. (06–10.09.2015, g. Rostov-na-Donu) [Actual problems of piezoelectric instrument making: Proc. of the II International Youth Scientific Conference. September 06–10, 2015. Rostov-on-Don]. Rostov-on-Don. Izd-vo JuFU [Publishing House of the Southern Federal University]. 2015. [In Russian]
7. *Vikhrevoj rashodomer: preimushhestva i nedostatki jekspluatatsii, oblast' primeneniya* [Vortex flowmeter: advantages and disadvantages of operation, scope of application]. Yandex.Dzen: "OSNA" user at June 12, 2023. Web-source: dzen.ru. Access date: January 9, 2025. [In Russian]
8. *Korolisov rashodomer* [Ultrasonic flowmeter]. Wikipedia. Web-source: ru.wikipedia.org. Access date: January 10, 2025. [In Russian]
9. *Printsip dejstvija rashodomerov postojannogo perepada davlenija* [Operating principle of constant differential pressure flowmeters]. "Anemometry. Izmeriteli skorosti gazov" [Anemometers. Gas velocity meters]: "Yuri" user at March 24, 2023. Web-source: anemometers.ru. Access date: January 8, 2025. [In Russian]
10. *Teplovoj rashodomer* [Thermal flowmeter]. Wikipedia. Web-source: ru.wikipedia.org. Access date: January 11, 2025. [In Russian]
11. *Elektromagnitnyj rashodomer zhidkosti, gaza i para* [Electromagnetic flowmeter for liquid, gas and steam]. Yandex.Dzen: "Vsjo pro KIPiA" [Everything about control and measuring instruments and automation] user at April 15, 2022. Web-source: dzen.ru. Access date: January 10, 2025. [In Russian]
12. *Statsionarnyj opticheskij rashodomer Fotsus Probe* [Focus Probe stationary optical flowmeter]. OOO "KiPart" ["KiPart", JSC]. Web-source: keypart.ru. Access date: January 10, 2025. [In Russian]