

ТЕПЛОГАЗОВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ. ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИЕ И ПРИРОДООХРАННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 697.92:532.525.2

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКРУЧЕННЫХ СТРУЙ В СИСТЕМАХ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Н.С. Витальев

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ),
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: nikitavit.nv@gmail.com

Выполнен обзор литературных источников на тему воздухораспределения закрученными струями в помещениях. Основное внимание уделено применению потолочных вентиляторов, позволяющих повысить энергоэффективность систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Приведены зависимости для расчета скорости воздуха в помещениях при работе потолочных вентиляторов.

Ключевые слова: воздухораспределение, закрученные струи, потолочные вентиляторы.

APPLICATION OF SWIRLING JETS IN GENERAL VENTILATION SYSTEMS

N. Vitalev

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russian Federation
e-mail: nikitavit.nv@gmail.com

There is a review of literary sources on the subject of air distribution by rotated jets in rooms. The focus is on the use of ceiling fans to improve the energy efficiency of ventilation and air conditioning systems. The dependencies for calculation of air velocity in rooms when ceiling fans are operating are given.

Keywords: air distribution, rotating jets, ceiling fans.

Введение. Повышение энергоэффективности систем вентиляции идет по пути развития схем воздухораспределения и воздухораспределителей. В частности, уменьшение энергетических затрат достигается при применении закрученных струй. За счет высокой эжекционной способности приточных закрученных струй обеспечивается их интенсивное перемешивание с воздухом помещения и создается равномерное поле скоростей и температур воздуха в обслуживаемой зоне помещения.

Струя называется закрученной, если помимо аксиальной (параллельной оси струи) и радиальной (вдоль радиусов поперечного сечения) скорости струя имеет еще и тангенциальную (нормальную к радиусу поперечного сечения) скорость. Закрученные струи образуются при истечении через воздухораспределители с закручивающими устройствами, в том числе через потолочные вентиляторы.

Основная часть. Большое внимание расчету закрученных струй уделил Р.Б. Ахмедов. В зависимости от степени закрутки выделены слабозакрученная, умереннозакрученная и сильнозакрученная струи [1; 2].

В работе [2] проводилось исследование закрученных струй применительно для организации топочного процесса, а именно для струи, выходящей из горелочного устройства. Производилось исследование угла раскрытия струи от степени закрутки и угла раскрытия отверстия для выхода воздуха в топочное пространство. Выводы статьи, которые можно использовать для формирования гипотезы исследования закрученных струй в системах вентиляции, следующие:

- угол раскрытия закрученной струи больше угла раскрытия осесимметричной струи;
- масса закрученной струи увеличивается по длине потока, при этом возрастание массы происходит тем больше, чем степень крутки потока.

В работе [3] выведены формулы для определения тангенциальной и аксиальной составляющих скорости закрученной струи. Радиальными составляющими скоростей для расчета пренебрегают, так как они малы по сравнению с аксиальной и тангенциальной составляющими скоростей.

На рисунке 1 представлено поле скоростей воздуха, полученное в исследовании [4] при работе потолочного вентилятора диаметром 1524 мм в помещении с размерами 5,49 × 5,49 × 2,53 м.

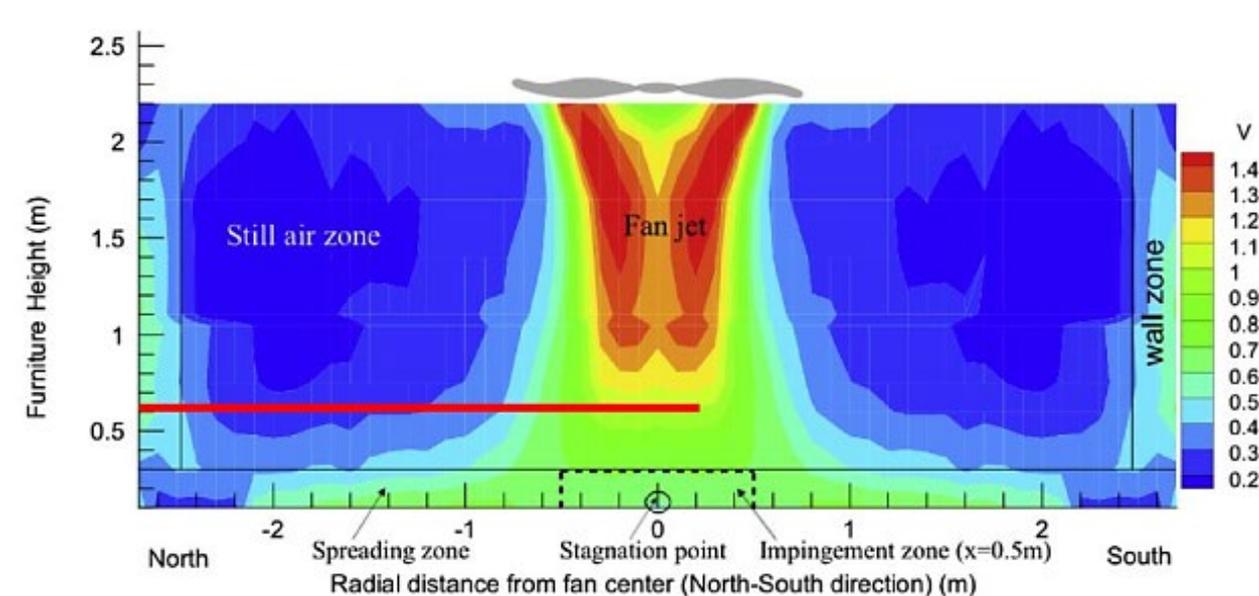


Рисунок 1. – Поле скоростей [4]

Общий вид потолочного вентилятора, используемого в исследованиях, представлен на рисунке 2.



Рисунок 2. – Потолочный вентилятор

Закрученная струя, образованная потолочным вентилятором на входе в рабочую зону, имеет максимальную скорость до 1,4 м/с. Дальнобойность струи больше, чем высота установки потолочного вентилятора, поэтому существенное влияние на развитие струи оказывает пол, который является поверхностью настиления. Вблизи поверхности пола струя разворачивается на 90° и развивается как полуограниченная веерная струя. В исследовании [4] авторы статьи выделяют 5 зон поля скоростей: 1 – зона струи вентилятора – её можно назвать начальным участком, в котором скорость постоянна; 2 – зона столкновения с полом; 3 – зона распространения горизонтальной струи (развитие полуограниченной струи); 4 – зона настиления на стены; 5 – зона застойного воздуха.

Для оценки влияния закрутки потока на развитие полуограниченной струи необходимы дополнительные исследования.

Под вентилятором образуется струя со значительными скоростями воздуха, что ограничивает применение подобных устройств непосредственно над местами длительного пребывания людей. Для решения этой проблемы в работе [5] предложена конструкция потолочного вентилятора, у которого лопатки расположены на некотором расстоянии от оси вращения. Такая конструкция позволила увеличить степень крутки потока, тем самым получить более широкий угол раскрытия струи и более равномерное поле скоростей в помещении.

Для практического применения таких вентиляторов (воздухораспределителей) приведена зависимость (1) для определения средневзвешенной по объёму помещения скорости воздуха в зависимости от геометрических параметров потолочного вентилятора, частоты вращения, угла установки лопаток и геометрических параметров обслуживаемого помещения [5]

$$W_{\text{ср}} = 0,4236 \cdot \frac{n \cdot d_{\text{в}}^{1,79} \cdot d_{\text{к}}^{1,24} \cdot K_{\text{N}}^{0,95}}{b^{0,177} \cdot \Pi^{0,52} \cdot h^{1,34} \cdot \sin \beta^{1,17}} \quad (1)$$

где n – частота вращения вентилятора, мин⁻¹;
 $d_{\text{в}}$ – диаметр вентилятора (размах лопастей), м;
 $d_{\text{к}}$ – удвоенное расстояние от оси вращения до корня лопатки, м;
 b – ширина лопатки, м;
 K_{N} – коэффициент мощности, определяемый по формуле:

$$K_{\text{N}} = 17740 \cdot \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d_{\text{в}}^5} \quad (2)$$

β – угол установки лопатки к горизонту;
 Π и h – периметр и высота помещения соответственно, м;
 ρ – плотность воздуха, кг/м³;
 N – мощность на валу вентилятора, Вт.

В работе [6] с целью получения зависимости для определения подвижности воздуха в помещении при работе потолочного вентилятора проведены испытания 9 типов вентиляторов. В исследовании применяются следующие определения и термины:

D – диаметр вентилятора, м;
 C – высота помещения, м;
 N – скорость вращения вентилятора, об/мин;
 Q – производительность (объемный расход) вентилятора, м³/с;
 SF – средняя скорость воздуха непосредственно под лопастями вентилятора, м/с;
 SO – подвижность воздуха в помещении;

R – линейный размер помещения (если помещения квадратной формы, то принимается как сторона помещения, если помещения прямоугольное то принимается как корень квадратный из площади помещения);

H – высота установки вентилятора;

M – расстояние от лопастей вентилятора до потолка.

Введены следующие безразмерные величины:

dr – отношение диаметра вентилятора к размеру помещения;

do – отношение диаметра вентилятора к высоте обслуживаемой зоны (1,7 м);

cd – отношение высоты помещения от пола до потолка к диаметру вентилятора;

hd – отношение высоты установки вентилятора к диаметру вентилятора;

md – отношение расстояния от лопастей вентилятора до потолка к диаметру вентилятора.

Определяется минимальная, средняя и максимальная скорости воздуха в зоне нахождения человека в положении сидя (среднее значение на высоте 0,1, 0,6 и 1,1 м) и в положении стоя (0,1, 1,1 и 1,7 м).

Средняя скорость воздуха на выходе из вентилятора, м/с, при номинальной частоте вращения

$$SF_{rated} = Q/(\pi \cdot D^2/4). \quad (3)$$

Расстояние от вентилятора до потолка, м,

$$M = C - H. \quad (4)$$

Относительные скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещения для человека, находящегося в положении сидя:

– минимальная

$$SO_{seat.min} = 0,9dr - 0,017cd + 0,11do + 0hd + 0,024 + 0,047; \quad (5)$$

– средняя

$$SO_{seat.avg} = 0,99dr - 0,06cd + 0,11do + 0hd + 0,024 + 0,025; \quad (6)$$

– максимальная

$$SO_{seat.max} = 1,3 - 0,18hd - 0,1. \quad (7)$$

Для человека, находящегося в положении стоя:

– минимальная

$$SO_{stand.min} = SO_{seat.min} - 0,024; \quad (8)$$

– средняя

$$SO_{stand.avg} = SO_{seat.avg} - 0,024; \quad (9)$$

– максимальная

$$SO_{stand,max} = SO_{seat,max} + 0,1; \quad (10)$$

Средняя скорость воздуха на выходе из вентилятора при фактической частоте вращения, если фактическая частота вращения вентилятора отличается от номинальной

$$SF_{rpm} = Q \cdot RPM / RPM_{rated}. \quad (11)$$

Расчетные скорости воздуха, м/с, определяются по формуле 10

$$SO = SF_{rpm} \cdot SO_i, \quad (12)$$

где SO_i – значение относительной скорости, вычисленное по формулам 3–8.

Данная методика помогает определить скорости воздуха в помещении. При этом нет возможности рассчитать аэродинамические характеристики струи, такие как дальнобойность. Для больших помещений, у которых геометрические характеристики больше дальнобойности струи, нет возможности определить необходимое количество потолочных вентиляторов. В приведенной методике не учитывается угол установки лопаток. Угол установки влияет на форму создаваемой струи и, следовательно, на поле скоростей.

Заключение. Современные методы расчета не позволяют рассчитать осесимметричную слабо закрученную струю, развивающуюся в ограниченном пространстве. Такая струя образуется при распределении воздуха потолочными вентиляторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмедов, Р.Б. Аэродинамика закрученной струи / Р.Б. Ахмедов. – М. : Энергия, 1977. – 240 с.
2. Афросимова, В.Н. Аэродинамические характеристики струй при различных условиях течения / В.Н. Афросимова // Теория и практика сжигания газа часть 4 : сб.ст. – Ленинград : Недра, 1968. – 226 с.
3. Гримитлин, М.И. Распределение воздуха в помещениях / М.И. Гримитлин. — Изд. 3-е, доп. и испр. — СПб. : Авок Северо-Запад, 2004. — 319 с.
4. Gao, Y. Ceiling fan air speeds around desks and office partitions/ Y. Gao, H. Zhang, E. Arens [et al] // Building and Environment. – 2017. – Vol 124. – P.412-440. – doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.029.
5. Насонов, Е.А. Исследование потолочных вентиляторов новой конструкции/ Е.А. Насонов, Т.И. Крюкова // Водоснабжение и санитарная техника. —1979. – № 4. – С. 20–22.
6. Raftery P. Ceiling fans: Predicting indoor air speeds based on full scale laboratory measurements / P. Raftery, J. Fizer, W. Chen, Y. He, H. Zhang, E. Arens, S. Schiavon, G. Paliaga // Building and Environment. – 2019. – Vol 155. – P. 210-223. doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.040.