



УДК 697.24

**Бройда В.А.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: broida@mail.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

## Расчетные характеристики стабилизатора расхода вентиляционного воздуха

### Аннотация

Отключение части концевых участков может приводить к нерасчетному возрастанию расхода воздуха на остальных участках вентиляционной системы с механическим побуждением. Это может быть причиной повышенного уровня шума и бесполезных затрат электроэнергии. С понижением температуры наружного воздуха увеличивается больше расчетного расход естественной вытяжной системы, увеличиваются затраты тепла на нагревание наружного воздуха, компенсирующего вытяжку в холодный период года. Применяя стабилизаторы расхода воздуха, можно избежать таких нежелательных последствий.

В статье рассчитываются рабочие параметры стабилизатора расхода воздуха прямого действия с линейной характеристикой упругого элемента: изменение давления и перепада давления, переменный коэффициент местного сопротивления, стабилизированный расход воздуха, усилие и растяжение упругого элемента.

**Ключевые слова:** стабилизатор, расход, упругий элемент.

Во многих случаях вентиляционные системы работают при переменном режиме. Отключение или изменение расхода воздуха на отдельных концевых участках систем с механическим побуждением приводит к изменению давления и расхода воздуха на других участках. Нерасчетное повышение расхода воздуха ведет к бесполезным затратам электроэнергии, может быть причиной возникновения аэродинамического шума.

Естественные вытяжные системы работают в условиях постоянно меняющегося гравитационного давления. При повышении гравитационного давления эти системы удаляют излишнее количество воздуха, что приводит к повышенным затратам тепловой энергии на нагревание воздуха, компенсирующего вытяжку в холодный период года. Избежать подобных нежелательных последствий можно, стабилизировав расход воздуха при возможных повышениях давления на участках вентиляционной сети.

Для этой цели могут использоваться обычные средства автоматического регулирования, состоящие из датчиков скорости или расхода воздуха, контроллера, обрабатывающего сигналы датчика и вырабатывающего управляющие сигналы для привода, который перемещает регулирующий орган. Подобные системы эффективны, но сложны, дороги и используют внешний источник энергии.

Более дешевыми и не потребляющими энергию внешнего источника являются регуляторы прямого действия. Такие устройства в ответ на повышение перепада давления или скорости потока сокращают площадь сечения для прохода воздуха, увеличивают потерю давления и приближают расход к расчетной величине. Для компенсации усилия от давления на регулятор могут использоваться силы противовесов или силы натяжения, возникающие в упругих элементах [1 и др.].

Целью исследования является определение характеристик работы стабилизирующего устройства прямого действия с упругим элементом, обладающим линейной характеристикой упругости.

В данном решении изменяющееся давление, действующее в вентиляционной системе, моделируется гравитационным давлением  $P$ , возникающим при некоторой температуре наружного воздуха  $t$ , которое находится по формуле:

$$P = g \cdot h \cdot (\rho - \rho_B), \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, при любой температуре  $t$ , в том числе при температуре внутреннего воздуха  $t_B$ , определяется выражением:

$$\rho = 353 / (273 + t), \quad (2)$$

$h$  – разница отметок центра впускного устройства и устья вытяжного канала, м.

Обычно естественная вытяжная вентиляции рассчитывается на гравитационное давление  $P_5$ , которое формируется при температуре наружного воздуха  $t=5$  °С, именно при такой температуре расход воздуха имеет расчетное значение  $L=L_5$ .

Гравитационное давление затрачивается на преодоление аэродинамического сопротивления системы. Общая потеря давления в системе  $P$  складывается из потери давления в стабилизаторе  $\Delta P$  – устройстве с изменяемой геометрией – и потери давления в остальной части системы с неизменными геометрическими размерами, которую удобно выразить через характеристику  $s$ , величину постоянную для этой части системы:

$$P = \Delta P + s \cdot (\rho \cdot L)^2. \quad (3)$$

Изменение геометрии проходного сечения в стабилизирующем устройстве происходит за счет возрастающего перепада давления  $\Delta P$ , под действием которого перемещается регулирующая часть устройства, сокращающая проходное сечение. Перемещение ограничивает упругий элемент, в котором перемещение вызывает возрастающее растягивающее (или сжимающее) усилие.

В данном решении регулирующий орган моделируется местным аэродинамическим сопротивлением в виде внезапного сужения. Одна сторона проходного прямоугольного отверстия неизменна –  $a$ , а другая сторона переменна, она в ходе регулирования сокращается от начальной величины  $b$  на величину перемещения  $x$ , следовательно, текущая величина второй стороны этого сечения  $b-x$ . Используется известная формула для коэффициента местного сопротивления (КМС) внезапного сужения [2] и тогда величина  $\Delta P$  выражается следующим образом:

$$\Delta P = \left( \frac{f}{a \cdot (b-x)} - 1 \right)^2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left( \frac{L}{f} \right)^2, \quad (4)$$

где  $f$  – неизменяемая площадь сечения широкой части канала, м<sup>2</sup>.

Задавая величину КМС при открытом сечении  $axb$  как  $\zeta_s = \left( \frac{f}{a \cdot b} - 1 \right)^2$ , можно найти характеристику неизменяемой части системы  $s$  из выражения:

$$s = P_5 - \zeta_s \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left( \frac{L_5}{f} \right)^2 / (\rho \cdot L_5)^2. \quad (5)$$

Сила натяжения упругого элемента с линейной характеристикой выражается через его упругость  $\alpha$  и растяжение, равное перемещению  $x$ :

$$F = \alpha \cdot (x + x_0), \quad (6)$$

где  $x_0$  – начальное растяжение (или сжатие) упругого элемента, при котором регулирующий орган устанавливается в положение, соответствующее расчетному давлению  $P = P_5$  и расходу  $L = L_5$ .

Усилие, возникающее от перепада давления и воздействующее на упругий элемент при температуре  $t=5$  °С:

$$F_5 = k \cdot \left( \frac{f}{a \cdot b} - 1 \right)^2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left( \frac{L_5}{f} \right)^2 \cdot f_c, \quad (7)$$

где  $f_c$  – площадь поверхности органа стабилизирующего устройства, который воспринимает перепад давления  $\Delta P$ ;  $k$  – коэффициент согласования перепада давления  $\Delta P$ , с перепадом давления, непосредственно воздействующим на воспринимающий

элемент, который зависит от конкретной картины обтекания потоком этого элемента, в первом приближении  $k=1$ .

Для выбора характеристики упругого элемента  $\alpha$ , можно поставить дополнительное условие, например, чтобы при минимальной расчетной наружной температуре  $t_M$  и, соответственно, максимальном гравитационном давлении  $P_M$ , расход воздуха оставался определенным  $L_M$ . При этом условии перемещение регулирующего элемента будет иметь максимальную величину  $x_M$ :

$$x_M = b - f / (a \cdot (1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (P_M - s \cdot (\rho \cdot L_M)^2)}{\rho \cdot (L_M / f)^2}})) \quad (8)$$

При температуре  $t=t_M$  усилие, воздействующее на упругий элемент:

$$F_M = k \cdot \left( \frac{f}{a \cdot (b - x_M)} - 1 \right)^2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left( \frac{L_M}{f} \right)^2 \cdot f_c \quad (9)$$

Тогда линейная характеристика упругого элемента может быть найдена как:

$$\alpha = (F_M - F_0) / x_M \quad (10)$$

а начальное растяжение пружины:

$$x_0 = F_0 / \alpha \quad (11)$$

Совокупность приведенных выше зависимостей приводит к кубическому уравнению относительно неизвестной величины перемещения  $x$ , с чрезвычайно громоздкими выражениями для его коэффициентов, решение которого находится аналитически в виде конечных формул, но из-за громоздкости здесь не приводится. После нахождения величины  $x$  вычисляется стабилизированный расход воздуха  $L$  и другие характеристики работы стабилизирующего устройства.

Ниже представлены результаты расчетов, выполненных при следующих условиях: высота естественного вытяжного канала  $h=16$  м, температура внутреннего воздуха  $t_B=20$  °С, диапазон изменения температуры наружного воздуха от  $-35$  °С до  $+5$  °С, расчетный расход воздуха  $L_5=100$  м<sup>3</sup>/ч или  $0,0278$  м<sup>3</sup>/с, значение КМС при открытом регулируемом сечении  $\zeta_5=3$ , площадь поперечного сечения канала  $f=0,016$  м<sup>2</sup>, размеры регулируемого сечения  $a=0,44$  м,  $b=0,0133$  м, площадь поперечного сечения элемента, воспринимающего перепад давления  $f_c=0,0154$  м<sup>2</sup>,  $L_M=L_5$ ,  $k=1$ .

Дополнительно к указанным выше величинам вычисляются:

– скорость воздуха в регулируемом сечении устройства  $w=L/(a \cdot (b-x))$ ;

– относительный стабилизированный расход воздуха  $L_{отн}=L/L_5$ ;

– относительный нестабилизированный расход в такой же системе

$$L_0 = \sqrt{(\rho - \rho_B) / (\rho_5 - \rho_B)} = \sqrt{((273+5) \cdot (t_B - t)) / ((273+t) \cdot (t_B - 5))}$$

Результаты расчетов графически показаны на рисунках 1-3.

Из представленных материалов видно, что в указанном диапазоне температур гравитационное давление  $P$  изменяется от  $10,2$  Па до  $43,7$  Па. Потеря давления в стабилизирующем устройстве  $\Delta P$  возрастает от  $5,7$  Па до  $37,6$  Па. При этом необходимое для стабилизации перемещение регулирующего органа  $x$  изменяется от  $0$  до  $6,2$  мм, а коэффициент местного сопротивления увеличивается от  $3$  до  $16,8$ . Требуемое усилие упругого элемента  $F$  не превышает  $0,58$  Н. Можно отметить, что скорость воздуха в наиболее сжатом сечении устройства  $w < 9$  м/с, такая скорость не является причиной заметного аэродинамического шума. Использование устройства с линейной характеристикой упругого элемента позволяет добиваться только приближенной стабилизации расхода. По условиям приведенного расчета максимальное отклонение стабилизированного расхода от расчетного составляет чуть более  $25$  % и наблюдается в середине температурного диапазона.

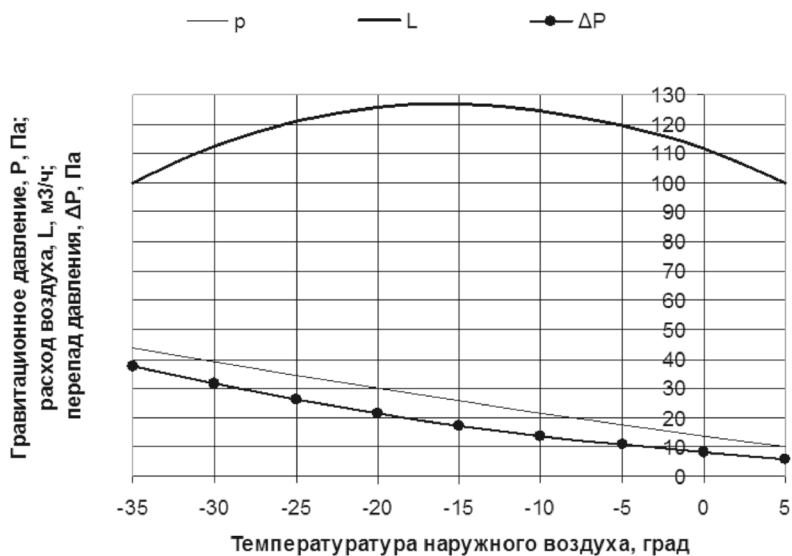


Рис. 1. Изменение гравитационного давления  $P$ , Па, стабилизированный расход воздуха  $L$ , м³/ч, падение давления на стабилизирующем устройстве  $\Delta P$ , Па

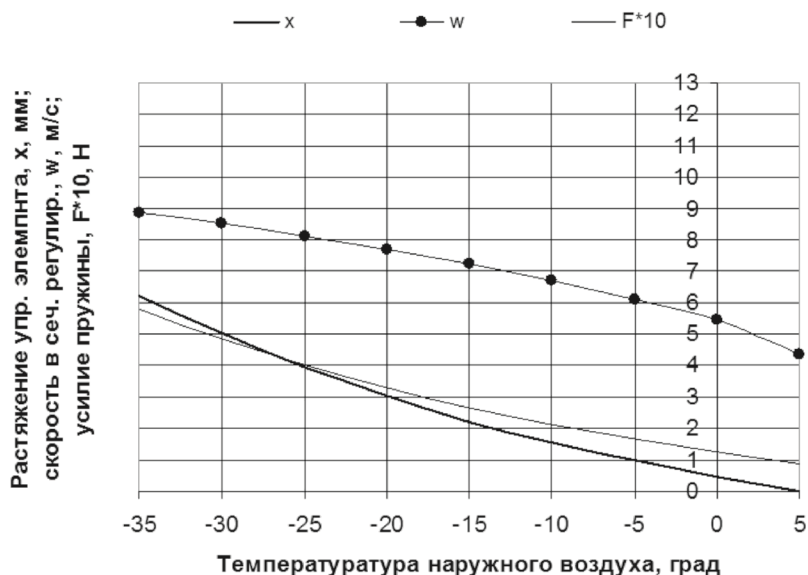


Рис. 2. Растяжение упругого элемента,  $x$ , мм, скорость воздуха в сечении регулирования,  $w$ , м/с, усилие на упругом элементе,  $Fx10$ , Н

Но при отсутствии стабилизатора расход воздуха в такой же системе возрастает более чем в два раза, и максимальное значение наблюдается при наиболее низкой температуре. По-видимому, большую точность стабилизации обеспечит упругий элемент с нелинейной, а специально подобранной характеристикой.

Таким образом, представлен расчет характеристик стабилизатора расхода воздуха прямого действия, в состав которого входит элемент, воспринимающий перепад давления, за счет которого перемещается регулирующий орган и упругий элемент, ограничивающий это перемещение. Устройство с линейной характеристикой упругого элемента осуществляет приблизительную стабилизацию, максимальное отклонение от расчетного расхода составляет около 25 %, но нестабилизированный расход воздуха в такой же системе возрастает более чем в 2 раза. Применение стабилизирующего устройства, в частности, в естественной вытяжной системе значительно снизит перерасход тепловой энергии на нагревание холодного наружного воздуха.

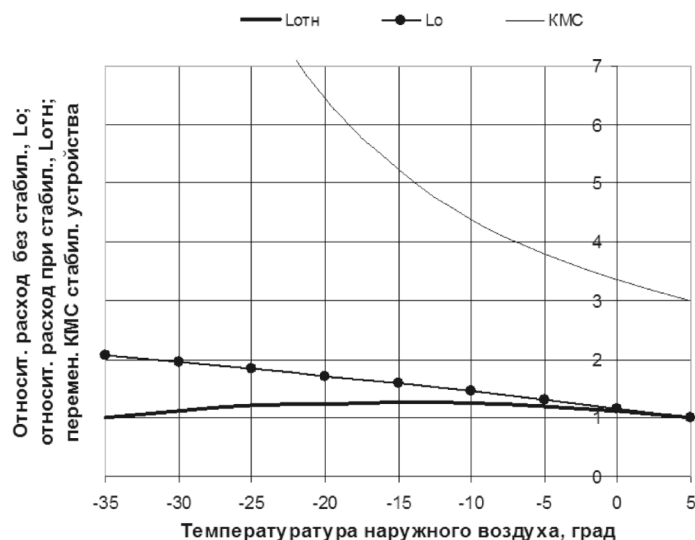


Рис. 3. Относительный расход без стабилизации,  $L_0$ , и при стабилизации,  $L_{отн}$ , изменение  $KMC$

#### Список библиографических ссылок

1. Устройство для регулирования расхода воздуха: пат. 2277206 Рос. Федерация. № 2004135681/06; заявл.06.12.04; опубл.27.05.06. Бюл. № 15. – 8 с.
2. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции. – М.: Стройиздат, 1979. – 295 с.

**Broyda V.A.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: broida@mail.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st. 1

#### Calculated characteristics of ventilation air flow stabilizer

##### Resume

Disabling of the end sections, may result in unplanned increased airflow in the remaining sections of the ventilation system with mechanical drive. This may lead to increased noise level and wasted electric power consumption. With decreasing temperature of the outdoor air, the air flow of natural exhaust system increases more than predicted, also additional heat is required to warm up outdoor air intake compensating for the exhaust. Applying airflow stabilizers can prevent such undesirable consequences.

The article examines application of direct action stabilizer comprising of the following elements: element that reduces the flow cross-section due to the rising pressure drop, elastic element with linear characteristic of elasticity, which limits the reduction of its cross section. Aerodynamic resistance of stabilizer is described as a sudden narrowing of the channel. Pressure change is modeled as an increase in gravitational pressure of the natural exhaust system. Based on evaluation of applied forces and pressures, the magnitude of the flow cross-section reduction and tension of the elastic element are calculated.

As a result, the following characteristics of the direct action stabilizer are determined: change in pressure and pressure drop, variable drag coefficient, stabilized airflow, stress and tension of the elastic element.

**Keywords:** stabilizer, airflow, elastic element.

#### Reference list

1. Device for air flow control: the patent 2277206 Russian Federation. № 2006128121/06; it is declared 06.12.04; it is published 27.05.06. The bulletin № 15. – 8 p.
2. Taliev V.N. Aerodynamics of the ventilation. – M.: Stroyizdat, 1979. – 295 p.