



УДК 697.92

**Бройда Владимир Аронович**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: [broida@mail.ru](mailto:broida@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

**Романов Вадим Сергеевич**

ведущий инженер

E-mail: [romanov.v.s96@mail.ru](mailto:romanov.v.s96@mail.ru)

**АО Татхимфармпрепараты**

Адрес организации: 420091, Россия, г. Казань, ул. Беломорская, д. 260

**Расчетные характеристики стабилизатора расхода воздуха прямого действия  
с нелинейной жесткостью упругого элемента,  
включенного в естественную вытяжную систему**

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Естественные вытяжные системы широко применяются в различных типах зданий. С понижением температуры наружного воздуха увеличивается больше расчетного расход естественной вытяжки, который сопровождается ростом затрат тепла на нагрев наружного холодного воздуха. Стабилизация расхода и устранение бесполезных затрат тепла в холодный период года – актуальная проблема. Целью исследования является определение расчетных характеристик стабилизирующего устройства, предложенного в патенте соавтора статьи, с упругим элементом, обладающим необходимой нелинейной жесткостью, изготовленным из пружинной стали и включенного в естественную вытяжную систему вентиляции.

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в аналитически полученных характеристиках стабилизатора расхода воздуха прямого действия с упругим элементом, имеющим нелинейную характеристику жесткости. Принятые параметры упругого элемента обеспечивают стабилизацию расхода воздуха при небольшой начальной потере давления.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что такое устройство стабилизирует расход естественной вытяжки в широком диапазоне температур наружного воздуха, применимо к большинству этажей многоэтажных зданий. Использование стабилизаторов расхода в естественных вытяжных системах экономит тепловую энергию в холодный период года и способствует лучшему поддержанию микроклимата в помещениях.

**Ключевые слова:** стабилизатор, расход воздуха, упругий элемент, жесткость, естественная вытяжка.

**Введение**

Системы естественной вентиляции широко используются в гражданских зданиях различного назначения. Совершенствованию и развитию элементов, конструкций и режимов работы этих систем посвящены современные численные и экспериментальные исследования [1-3] и др. В климатических условиях России большое применение находят системы естественной вытяжной вентиляции. При понижении температуры наружного воздуха ниже расчетной для естественных систем  $t=5$  °С, возрастает гравитационное давление, что приводит к увеличенному расходу вытяжного и, замещающего его наружного холодного воздуха. В результате значительно возрастают затраты тепловой энергии на нагревание избыточного количества воздуха в течение холодного периода года. Следует отметить, что продолжительность периода повышенного расхода воздуха, когда температура наружного воздуха ниже  $t=5$  °С, немного меньше продолжительности холодного периода года периода, с температурой наружного воздуха ниже  $t=8$  °С, но это различие невелико.

Разработка устройств для поддержания нормативного воздухообмена в системах естественной вентиляции – актуальная проблема, тем более, что имеется огромный фонд зданий и строятся новые здания частично или полностью оборудованные системами естественной вытяжной вентиляции.

Одно из направлений решения этой проблемы – применение недорогих стабилизаторов расхода прямого действия, которые, не используя внешние источники энергии, практически устраняют избыток удаляемого воздуха и, тем самым, перерасход тепловой энергии в холодный период года.

Такие устройства могут встраиваться в каналы естественных вытяжных систем или устанавливаться на входе в вытяжные каналы. В связи с применением современных плотных окон, для обеспечения достаточного притока наружного воздуха часто используются приточные устройства, встраиваемые в конструкцию окон или в наружные ограждения – стеновые воздушные клапаны. Обычно такие клапаны имеют ручную регулировку расхода воздуха. Устройства, стабилизирующие расход воздуха могут включаться в конструкцию приточных стеновых клапанов и обеспечивать приблизительно постоянный расход приточного, а следовательно, и удаляемого естественной вытяжкой воздуха.

Имеется значительное количество отечественных разработок устройств для поддержания расчетного расхода воздуха в виде патентов [4-6] и др. Однако, на рынке в виде готовых к применению изделий, присутствуют, в основном, устройства иностранных производителей [7, 8] и др. Такие устройства поддерживают приблизительно постоянный расход: с нарастанием гравитационного давления, расход воздуха на регулируемых участках системы несколько увеличивается. К тому же эти устройства осуществляют стабилизацию при достаточно большой величине собственной начальной потери давления – от 40-50 Па, что не вполне подходит для большинства естественных вытяжных систем.

Устройства и принципы действия стабилизаторов расхода достаточно разнообразны. Большее применение находят конструкции, которые реагируют на повышение скорости воздушного потока уменьшением площади сечения для прохода воздуха, увеличением потери давления в стабилизаторе, чем возвращают расход к его заданной величине. Воздействие воздушного потока на регулирующий элемент компенсируют с помощью противовесов, пневматических компенсаторов, но чаще с помощью упругих элементов различных типов из разнообразных материалов (металлические пружины, синтетические упругие материалы). Упругий элемент должен обладать определенной характеристикой жесткости, чтобы в ответ на возмущающее воздействие воздушного потока определенным образом компенсировать возникающее усилие.

Упругий элемент с линейной жесткостью не дает приемлемой характеристики стабилизатора расхода – при изменении температуры наружного воздуха расход удаляемого воздуха существенно отличается от расчетного. Возможно применение сложного упругого элемента, составленного из нужной комбинации простых элементов с линейными характеристиками жесткости [9], но такое решение усложняет конструкцию устройства.

В устройствах [7, 8] применяются упругие элементы специальной формы. В некоторых устройствах, элемент, воспринимающий давления потока, элемент, оказывающий необходимое сопротивление и упругий элемент, обладающий заданной переменной характеристикой жесткости, совмещен в единой детали сложной формы изготовленной из синтетического материала (модель Modulo и др.) [8], что требует налаживания специального производства.

### **Цель исследования**

Целью данного исследования является определение расчетных характеристик стабилизирующего устройства прямого действия, предложенного в патенте соавтора статьи [4], с упругим элементом, обладающим необходимой нелинейной жесткостью, изготовленным из пружинной стали и включенного в естественную вытяжную систему вентиляции.

**Метод исследования**

Действующее в естественной вытяжной системе со стабилизатором расхода воздуха гравитационное давление  $P$ , Па, расходуется на преодоление потери давления в геометрически неизменяемой части системы с приблизительно постоянной аэродинамической характеристикой  $s$ , Па/(м<sup>3</sup>/ч), и на преодоление переменной потери давления в изменяемой части системы – в стабилизаторе расхода  $\Delta P$ , Па, тогда:

$$P = s \cdot L^2 + \Delta P, \quad (1)$$

где  $L$  – фактический расход воздуха в вытяжной вентиляционной системе, м<sup>3</sup>/ч.

Расчетный расход естественной вытяжной системы  $L_5$ , м<sup>3</sup>/ч, соответствует гравитационному давлению  $P_5$ , Па, возникающему при температуре наружного воздуха  $t=5$  °С.

При любой температуре наружного воздуха  $t$  гравитационное давление  $P$  находится по формуле:

$$P = g \cdot h \cdot 353 (1/(273+t) - 1/(273+t_B)), \quad (2)$$

где  $t_B$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

$h$  – разность отметок центра вытяжной решетки и выпускного отверстия вытяжного канала, м.

Следует уточнить, что подобное определение величины  $h$  более подходит для зданий с устаревшими неплотными окнами. В зданиях с современными плотными окнами правильнее определять величину  $h$ , как разность отметок центра приточных устройств для естественного притока и выпускного отверстия вытяжного канала.

В стабилизирующем устройстве, представленном в патенте [4], регулирование расхода происходит за счет изменение проходного сечения, которое является следствием воздействия аэродинамической силы воздушного потока, перемещающей регулирующий элемент устройства. Возникающее перемещение ограничивается действием упругого элемента, в котором перемещение вызывает определенное противодействующее усилие.

Аэродинамической характеристикой стабилизатора расхода воздуха может служить изменяющийся коэффициент его местного сопротивления  $\zeta$ , отнесенный к скорости потока во входном сечении канала стабилизирующего устройства диаметром  $d$ , м. Для конкретной конструкции устройства с определенным соотношением геометрических размеров величина коэффициента местного сопротивления  $\zeta$  зависит от изменяемого положения регулирующего органа, которое характеризует расстояние  $l$ , м, измеряемое от края диафрагмы устройства [4]. Следовательно,  $\zeta$  зависит от относительного размера  $l/d$ :

$$\zeta = f_1(l/d). \quad (3)$$

Потеря давления в стабилизаторе расхода  $\Delta P$ , составит:

$$\Delta P = \zeta \cdot (\rho/2) \cdot (L/f)^2, \quad (4)$$

где  $f$  – площадь поперечного сечения входного канала,  $f = \pi \cdot d^2/4$ , м<sup>2</sup>.

Начальное значение расстояния  $l=l_5$ , соответствует температуре наружного воздуха  $t=5$  °С, ему отвечает относительный размер –  $l_5/d$  и, начальная потеря давления стабилизирующего устройства  $\Delta P_5$ :

$$\Delta P_5 = f_1(l_5/d) \cdot (\rho/2) \cdot (L_5/f)^2. \quad (5)$$

Аэродинамическая сила давления воздушного потока на подвижный элемент  $M$ , Н, равна:

$$M = k \cdot (\rho/2) \cdot (L/f)^2 \cdot f_0, \quad (6)$$

где  $k$  – эмпирический коэффициент, характеризующий воздействие воздушного потока на подвижный элемент, для заданной конструкции стабилизирующего устройства также зависящий от расстояния  $l$ ;

$f_0$  – площадь поперечного сечения подвижного элемента, воспринимающего давление воздушного потока, м<sup>2</sup>.

Силе давления  $M$  противодействует упругий элемент.

Для определенной конструкции стабилизирующего устройства существует функциональная зависимость  $k$  от относительного размера  $l/d$ :

$$k = f_2(l/d). \quad (7)$$

Положению регулирующего органа при  $t=5$  °С и относительному размеру  $l_5/d$  соответствует аэродинамическая сила давления  $M_5$ , Н:

$$M_5 = f_2(l_5/d) \cdot (\rho/2) \cdot (L_5/f)^2 \cdot f_0. \quad (8)$$

Упругий элемент должен обладать переменной жесткостью, обеспечивающей определенное положение регулирующего элемента  $l$ , отвечающее возникающей аэродинамической силе  $M$  и требуемой при этих условиях потери давления в стабилизирующем устройстве  $\Delta P$ .

В данной работе исследуется возможность использовать упругий элемент из пружинной стали (с модулем сдвига  $G=80000$  МПа) переменной жесткости, которая обеспечивается специально подобранной формой. Конкретные параметры упругого элемента обеспечиваются выбором:

- толщины стали  $\delta$ , мм;
- начальной длины упругого элемента  $h_0$ , мм;
- его максимального поперечного размера, который в данной работе принимается равным диаметру проточной части устройства  $d$ , м;
- величины аэродинамической силы  $M_5$ , Н;
- величины относительного перемещения  $l_5/d$ , соответствующей силе  $M_5$ .

Выражение значения силы  $M_5$  через технические параметры выбранного упругого элемента определяется выражением [10]:

$$M_5 = 12 \cdot 10^8 \cdot h_0 \cdot \delta^4 / d^3, \quad (9)$$

а относительное изменение его длины  $h_{II}/h_0$ , происходящее под действием силы  $M$ , рассчитывается по формуле:

$$h_{II}/h_0 = 1,4285 - 1,2215 \cdot (M_5/M)^{0,333} - 0,002893 \cdot (M_5/M)^{-1}, \quad (10)$$

где  $h_{II}$  – актуальное значение длины упругого элемента, сократившегося под воздействием силы  $M$ , мм.

Численное решение системы уравнений (1-10) выполняется при условии, что перемещение регулирующего элемента совпадает с изменением длины упругого элемента, и с изменением длины (и, соответственно, площади сечения) окна для прохода воздуха. Такое решение позволяет выбрать и рассчитать параметры упругого элемента, при которых расход удаляемого воздуха  $L$ , будет оставаться приблизительно равным заданному расходу  $L_5$ , несмотря на изменение температуры наружного воздуха  $t$  и, связанного с ним изменением гравитационного давления  $P$ .

Целесообразно сравнить изменение нестабилизированного расхода  $L_H$  и расхода воздуха в системе вытяжной вентиляции со стабилизатором с нелинейно жестким упругим элементом  $L$ .

Изменение расхода нестабилизированной естественной вытяжки  $L_H$  не зависит от расчетного этажа здания, а его зависимость от температуры наружного воздуха выражается формулой:

$$L_H = L_5 \times \sqrt{((273+5) \times (t_B - t)) / ((273+t) \times (t_B - 5))}. \quad (11)$$

## Результаты

Ниже приводятся результаты расчетов системы зависимостей (1-11), выполненных для 3-11 этажей многоэтажного здания (отсчет этажей ведется сверху). Задано: центры вытяжных решеток располагаются ниже потолка помещения на 0,2 м, высота этажа  $h_3=3$  м, высота расположения выпускного отверстия вытяжной шахты над верхним этажом  $h_{III}=3,8$  м, тогда высота вытяжного канала для каждого этажа определится по формуле:

$$h_K = h_{III} + h_3 \cdot (n-1) + 0,2, \quad (12)$$

где  $n$  – номер этажа при отсчете этажей от верха здания.

Температура внутреннего воздуха  $t_B=20$  °С, рассматривается изменение температуры наружного воздуха  $t$  в пределах от +5 °С до -35 °С, расчетный расход естественной вытяжки  $L_5=100$  м<sup>3</sup>/ч, диаметр входа в проточную часть стабилизирующего устройства  $d=0,2$  м, (площадь сечения  $f=0,0314$  м<sup>2</sup>), скорость движения воздуха в проточной части устройства 0,88 м/с, площадь сечения элемента, воспринимающего действие воздушного потока  $f_0=0,0157$  м<sup>2</sup>.

Расчетные зависимости для переменного коэффициента местного сопротивления стабилизирующего устройства (3) и для коэффициента, характеризующего воздействие потока на подвижный элемент устройства (7) заданы степенными функциями:

$$\zeta = a l \cdot (l/d)^{b l}, \quad (13)$$

$$k = a_2 \cdot (l/d)^{b_2}, \quad (14)$$

где  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $a_2$ ,  $b_2$  – эмпирические коэффициенты, значения которых для одной из конструкций стабилизатора определены в работе В.А. Бройды и Ф.Ф. Сафиуллина «Численное исследование аэродинамики цилиндрического тела в канале с диафрагмой», опубликованной в Известиях КГАСУ в № 3 за 2015 год:

$$a_1=2,211, b_1=-1,263, a_2=1,020, b_2=-1,439.$$

Выбранные параметры упругого элемента и его настройки, в зависимости от номера расчетного этажа, приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Параметры и настройки упругого элемента для каждого расчетного этажа**

Номер расчетного этажа при отсчете от верха здания, $n$	Толщина пружинной стали, $\delta$ , мм	Начальная длина упругого элемента, $h_0$ , мм	Начальное относительное положение регулирующего элемента, $l_5/d$	Начальное натяжение упругого элемента, $M_5$ , Н
3	1,0	150,9	0,540	0,0189
5	1,0	150,5	0,540	0,0189
7	1,1	129,4	0,465	0,0237
9	1,2	112,6	0,405	0,0291
11	1,3	98,9	0,355	0,0354

Изменение нестабилизированного расхода воздуха в естественной вытяжной системе  $L_H$ , соответствующее выше приведенным условиям, рассчитанное по формуле (11) представлено в табл. 2.

Таблица 2

**Расчетное изменение нестабилизированного расхода воздуха  $L_H$  в зависимости от температуры наружного воздуха  $t$**

Температура наружного воздуха, $t$ , °С	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35
Расход воздуха, $L_H$ , м <sup>3</sup> /ч	100	117	131	145	159	171	183	195	207

Изменения расхода воздуха  $L$  при использовании стабилизатора с упругим элементом выбранной нелинейной жесткости в зависимости от температуры наружного воздуха  $t$ , рассчитанные по выше приведенным формулам и условиям, а также рассчитанные гравитационные давления  $P_5$  и начальные потери давления стабилизатора  $\Delta P_5$  на этажах многоэтажного здания при  $t=5^\circ\text{C}$ , представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Расчетные изменения стабилизированного  $L$  расхода воздуха, гравитационные давления  $P_5$  и начальные потери давления стабилизатора  $\Delta P_5$  (при  $t=5^\circ\text{C}$ ) на этажах многоэтажного здания**

Температура наружного воздуха, $t$ , °С											
	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35		
Этаж (при отсчете сверху)	Гравитационное давление, $P_5$ , Па	Потери давления стабилизатора, $\Delta P_5$ , Па	Стабилизированный расход воздуха, $L$ , м <sup>3</sup> /ч								
			100	107	111	111	112	109	107	104	101
3	6,37	2,27	100	107	111	111	112	109	107	104	101
5	10,2	2,3	100	107	113	112	108	1,04	101	100	100
7	14,0	2,7	100	107	112	111	107	103	100	101	103
9	17,9	3,3	100	107	112	110	106	103	110	102	105
11	21,7	3,85	100	107	112	110	105	101	100	101	104

Таким образом, при изменении температуры наружного воздуха в рассматриваемых пределах от  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  нестабилизированный расход естественной вытяжной системы  $L_H$  увеличивается от  $100\text{ м}^3/\text{ч}$  до  $207\text{ м}^3/\text{ч}$ , то есть более чем в 2 раза (табл. 2).

Стабилизирующие устройства с нелинейно жестким упругим элементом из пружинной стали специально подобранной формы при рационально выбранных параметрах и настройках обеспечивают приблизительно постоянный расход удаляемого воздуха для каждого из этажей от третьего до одиннадцатого (при счете этажей сверху здания) во всем диапазоне изменения температуры наружного воздуха от  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этом начальная потеря давления устройства (при подобранном значении  $l_s/d$ ) не превышает  $2,27\text{ Па}$  для третьего этажа и составляет порядка  $0,2 \cdot P_5$  или меньшую долю от гравитационного давления при температуре наружного воздуха  $t=5\text{ }^{\circ}\text{C}$  для остальных этажей.

Выполненные расчеты показывают, что стабилизатор расхода с подобным упругим элементом обеспечивает близкий к заданному, практически постоянный расход воздуха во всем диапазоне изменения температур. Так отклонение стабилизированного расхода  $L$  от заданного значения  $L_5=100\text{ м}^3/\text{ч}$  в отдельных частях температурного диапазона не превышает  $13\%$ , а в большей части температурного диапазона еще меньше.

В действительности, вероятно, начальная потеря давления будет несколько выше, за счет неизбежно возникающих сил трения в движущихся элементах конструкции стабилизирующего устройства. Последнее обстоятельство, возможно, несколько сузит температурный диапазон применения устройства, например, стабилизатор будет срабатывать начиная с температуры наружного воздуха  $0$  или  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тем ни менее, начальная потеря давления устройства будет невелика, что позволит применять его в естественных вытяжных системах многоэтажных зданий.

Подобные расчеты при рационально выбранных параметрах упругого элемента могут быть выполнены для других заданных расходов вытяжного воздуха, что позволяет применять конструкцию устройства стабилизации расхода воздуха [4] для разнообразных вытяжных естественных систем вентиляции, кроме верхних этажей многоэтажных зданий.

В зданиях с устаревшими неплотными окнами требуется их уплотнение на холодный период года, что приводит к неконтролируемому ухудшению микроклимата. В противном случае также происходит нарушение микроклимата – переохлаждение помещений. Применение стабилизаторов расхода, установленных на естественных вытяжных системах, устраняет эту проблему.

В зданиях с современными плотными окнами для нормальной работы естественной вытяжки применяют приточные клапаны. Такие клапаны обычно имеют ручную регулировку расхода приточного и, следовательно, вытяжного воздуха. При ручной регулировке параметры микроклимата поддерживаются приблизительно, а чаще, в холодный период года, не выдерживаются. Использование рассмотренных стабилизаторов расхода в конструкции стеновых клапанов позволит автоматически поддерживать заданный расход приточного и, следовательно, удаляемого воздуха.

В случае устаревших неплотных и современных плотных окон применение стабилизаторов, ограничивает поступление наружного воздуха и облегчает формирование благоприятных температурных условий в зоне поступления наружного холодного воздуха.

Использование стабилизаторов расхода в естественных вытяжных системах дает существенное сокращение затрат тепловой энергии в холодный период года. Некоторое удорожание систем естественной вытяжной вентиляции за счет включения дополнительных устройств – стабилизаторов расхода – как это показано в работе [11], вполне окупается экономией тепловой энергии.

Кроме того, после экспериментальной проверки на работоспособность возможно применение такого стабилизирующего устройства в системах вентиляции с механическим побуждением для поддержания постоянства расходов воздуха на отдельных участках систем.

Перспектива дальнейшего развития данной тематики – это расчет и подбор упругого элемента, обеспечивающего оговоренное уменьшение расхода естественной вытяжки при значительном понижении температуры наружного воздуха. Такое снижение расхода рационально на ограниченный по продолжительности период существенного

похолодания, что позволит снизить затраты тепловой энергии в самый напряженный период ее потребления.

### Заключение

Выполненное исследование показывает целесообразность разработки и применения стабилизирующих устройств с упругим элементом заданной нелинейной жесткости для существующих и строящихся многоэтажных зданий. Использование подобных стабилизаторов расхода в естественных вытяжных системах дает существенное сокращение затрат тепловой энергии в холодный период года, экономически оправдано и способствует лучшему поддержанию микроклимата в помещениях.

### Список библиографических ссылок

1. Mansouri Y., Allard F., Musy M. Conceptual Implementation of Natural Ventilation Strategy : dig. of art. – Eighth International IBPSA Conference Netherlands / Eindhoven, 2003. URL: [http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS2003%5CBS03\\_0815\\_822.pdf](http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS2003%5CBS03_0815_822.pdf) (дата обращения: 18.03.2019).
2. Хабибуллин Ю. Х., Барышева О. Б. Разработка энергосберегающего устройства приточной вентиляции : сб. ст. Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании – Международной научной конференции / МГСУ. М., 2012. С. 257–260.
3. Wong A. W. J., Ibrahim I. H. Utilizing Computational Fluid Dynamics in the Analysis of Natural Ventilation in Buildings // International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2016. № 9. Vol. 10. P. 1132–1138. URL: <https://waset.org/publications/10005317/utilizing-computational-fluid-dynamics-in-the-analysis-of-natural-ventilation-in-buildings> (дата обращения: 19.03.2019).
4. Устройство стабилизации расхода воздуха : пат. 2547602 Рос. Федерация. № 2013151943/12 ; заявл. 21.11.2013 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. 4 с.
5. Энергосберегающий регулятор расхода воздуха систем естественной вентиляции : пат. 2527725 Рос. Федерация. № 2013115179/12 ; заявл. 04.04.2013 ; опубл. 10.09.2014, Бюл. № 25. 6 с.
6. Устройство стабилизации и регулирования расхода воздуха вытяжной шахты : пат. 2324120 Рос. Федерация. № 2006128121/06 ; заявл. 02.08.2006 ; опубл. 10.05.2008, Бюл. № 13. 3 с.
7. Регуляторы постоянного расхода воздуха Systemair RDA // URL: [http://www.groupsystem.ru/catalog/regulatory\\_raskhoda\\_vozdukha](http://www.groupsystem.ru/catalog/regulatory_raskhoda_vozdukha) (дата обращения: 25.03.2019).
8. Constant Airflow Regulator MR. MR Mono – MR Modulo. Aldes. Каталог оборудования 2014. 16 p. URL: [http://www.kaffe.gr/datafiles/file/MR\\_TECHNICAL\\_EN.pdf](http://www.kaffe.gr/datafiles/file/MR_TECHNICAL_EN.pdf) (дата обращения: 16.03.2019).
9. Бройда В. А. Характеристики стабилизатора расхода вентиляционного воздуха прямого действия // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 7. С. 64–67.
10. Пономарев С. Д., Андреева Л. Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. М. : Машиностроение, 1980. 326 с.
11. Бройда В. А. Экономия тепловой энергии за счет стабилизации расхода естественной вытяжной вентиляции // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 10. С. 54–58.

#### **Broyda Vladimir Aronovich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [broida@mail.ru](mailto:broida@mail.ru)

#### **Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

#### **Romanov Vadim Sergeevich**

lead engineer

E-mail: [romanov.v.s96@mail.ru](mailto:romanov.v.s96@mail.ru)

#### **JSC Tatkhimpharmpreparaty**

The organization address: 420091, Russia, Kazan, Belomorskaya st., 260

## Design characteristics of direct action airflow stabilizer with nonlinear stiffness of elastic element, included in the natural exhaust system

### Abstract

*Problem statement.* Natural exhaust systems are widely used in various types of buildings. With decreasing temperature, natural exhaust flow rate increases more than the predicted, which is accompanied by an increase spending of heat for heating the outside air. Stabilization of airflow and the elimination of useless spending of heat in the cold period of the year is an actual problem. The aim of the study is to determine the design characteristics of a stabilizing device proposed in the author's patent, with an elastic element having the necessary nonlinear stiffness, made of spring steel, included in a natural exhaust ventilation system.

*Results.* The main results of the research consist in analytically obtained characteristics of a direct- action airflow stabilizer with an elastic element having a given nonlinear stiffness characteristic. The adopted parameters of the elastic element of the device provide sufficient stabilization of airflow with a small initial pressure loss.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry is that such a device is able to stabilize the airflow of natural exhaust in a wide range of outdoor temperatures, applicable to most floors of multi-storey buildings. The use of such flow stabilizers in natural exhaust systems saves thermal energy in the cold period of the year and contributes to a better microclimate in the premises.

**Keywords:** stabilizer, airflow, elastic element, stiffness, natural exhaust.

### References

1. Mansouri Y., Allard F., Musy M. Conceptual Implementation of Natural Ventilation Strategy : dig. of art. – Eighth International IBPSA Conference Netherlands / Eindhoven, 2003. P. 815-822. URL: [http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS2003%5CBS03\\_0815\\_822.pdf](http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS2003%5CBS03_0815_822.pdf) (reference date: 18.03.2019).
2. Khabibullin Y. K., Barysheva O. B. Development of an energy-saving supply ventilation device : dig of art. Integration, partnership and innovation in construction science and education – International Scientific Conference / MGSU, M., 2012. P. 257–260.
3. Wong A. W.J., Ibrahim I.H. Utilizing Computational Fluid Dynamics in the Analysis of Natural Ventilation in Buildings // International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2016. № 9. Vol. 10. P. 1132–1138. URL: <https://waset.org/publications/10005317/utilizing-computational-fluid-dynamics-in-the-analysis-of-natural-ventilation-in-buildings> (reference date: 19.03.2019).
4. Air flow stabilization device : patent 2547602 of the Rus. Federation. № 2013151943/12 ; decl. 21.11.2013 ; publ. 10.04.2015. Bull. in № 10. 5 p.
5. Energy-saving airflow regulator of natural ventilation systems: patent 2527725 of the Rus. Federation. № 2013115179/12 ; decl. 04.04.2013 ; publ. 10.09.2014, Bull. in № 25, 12 p.
6. Device for stabilizing and controlling air flow in an exhaust shaft : patent 2324120 of the Rus. Federation. № 2006128121/06 ; decl. 02.08.2006 ; publ. 10.05.2008, Bull. in № 13. 3 p.
7. Constant airflow regulators Systemair RDA. Catalog // URL: [http://www.groupsystem.ru/catalog/regulatory\\_raskhoda\\_vozdukha](http://www.groupsystem.ru/catalog/regulatory_raskhoda_vozdukha) (reference date: 25.03.19).
8. Constant Airflow Regulator MR. MR Mono – MR Modulo. Aldes. Catalog oborudovaniya, 2014. 16 p. URL: [http://www.kaffe.gr/datafiles/file/MR\\_TECHNICAL\\_EN.pdf](http://www.kaffe.gr/datafiles/file/MR_TECHNICAL_EN.pdf) (reference date: 16.03.2019).
9. Broyda V. A. Characteristics of ventilation air flow stabilizer with direct action // Izv. vuzov. Stroitelstvo. 2015. № 7. P. 64–67.
10. Ponomarev S. D., Andreeva L. E. Calculation of the elastic elements of machines and devices. M. : Mashinostroenie, 1980. 326 p.
11. Broyda V. A. Heat savings on air flow rate stabilization of natural ventilation // Izv. vuzov. Stroitelstvo. 2012. № 10. P. 54–58.