



УДК: 697.92, 628.854
DOI: 10.52409/20731523_2023_1_43
EDN: ИНКРHS



Аналитическое исследование работы естественной вытяжной системы вентиляции многоэтажного здания со стабилизаторами расхода воздуха в холодный период года

В. А. Бройда¹

Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская федерация.

Аннотация *Постановка задачи.* Естественная вентиляция широко применяется в зданиях различного назначения. При понижении температуры наружного воздуха возрастает расход приточного и удаляемого воздуха, что ведет к увеличению затрат тепловой энергии в течение холодного периода года. Исследование, направленное на устранение этой проблемы актуально. Для предотвращения роста расхода вентиляционного воздуха могут применяться стабилизаторы расхода воздуха – регуляторы прямого действия или обычные автоматические регуляторы, использующие внешние источники энергии. Стабилизаторы могут устанавливаться на впускные устройства или на вытяжные каналы. В многоэтажных зданиях вытяжные системы, часто общие для всех или нескольких этажей. Собственники помещений могли бы устанавливать стабилизаторы расхода воздуха для улучшения свойств своих вентиляционных систем. Цель исследования заключается в аналитическом определении влияния установленных стабилизаторов расхода на изменение расхода вытяжного воздуха на ответвлениях, на которых не установлены стабилизаторы расхода, а также на остальных участках вытяжной естественной системы вентиляции многоэтажного здания. Задачи исследования: построить аналитическую модель для изучения такого влияния; выполнить вычисления и определить изменение расхода воздуха в зависимости от этажа, на ответвлении которого нет стабилизатора расхода и, изменение расхода на остальных участках системы и всей системы в целом.

Результаты. Получены аналитические зависимости и выполнен анализ влияния применения стабилизаторов расхода не на всех этажах многоэтажного здания. Установлено, что на этажах, на которых стабилизаторы не применены, расход вытяжки значительно возрастает, также возрастает расход воздуха на остальных последовательно включенных участках и в системе вентиляции в целом.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в количественной оценке влияния применения стабилизаторов не на всех этажах системы естественной вентиляции многоэтажного здания, что дает возможность при устройстве таких систем осознано делать выбор применения стабилизаторов расхода воздуха.

Ключевые слова: естественная вентиляция, стабилизатор расхода, приточный клапан, вытяжной канал, многоэтажное здание, холодный период года.

Для цитирования: Бройда В.А. Аналитическое исследование работы естественной вытяжной системы вентиляции многоэтажного здания со стабилизаторами расхода воздуха в холодный период года // Известия КГАСУ. 2023. №1(63), с.43-51, DOI: 10.52409/20731523_2023_1_43, EDN: ИНКРHS

Analytical study of the operation of the natural exhaust ventilation system of a multi-storey building with air flow stabilizers in the cold season

V. A. Broida¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering
¹Kazan, Russian Federation

Abstract: *Formulation of the problem.* Natural ventilation is widely used in buildings for various purposes. When the outdoor temperature drops, the consumption of supply and exhaust air increases, which leads to an increase in the cost of thermal energy during the cold season. The research aimed at eliminating this problem is relevant. To prevent an increase in ventilation air flow, air flow stabilizers can be used - direct-acting regulators or conventional automatic regulators using external energy sources. Stabilizers can be installed on intake devices or on exhaust channels. In multi-storey buildings, exhaust systems are often common to all or several floors. Homeowners could install air flow stabilizers to improve the properties of their ventilation systems. The purpose of the study is to analytically determine the effect of installed flow stabilizers on the change in exhaust air flow in branches where flow stabilizers are not installed, as well as in other sections of the exhaust natural ventilation system of a multi-storey building. The research objectives are: to build an analytical model to study such influence; to perform calculations and determine the change in air flow depending on the floor, on the branch of which there is no flow stabilizer and the change in flow in the rest of the system and the entire system as a whole.

Results. Analytical dependencies are obtained and the analysis of the impact of the use of flow stabilizers not on all floors of a multi-storey building is carried out. It has been established that on the floors where stabilizers are not used, the exhaust flow rate increases significantly. Also, the air flow increases in the remaining sections connected in series and in the system as a whole.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry lies in the quantitative assessment of the impact of the use of stabilizers not on all floors of the natural ventilation system of a multi-storey building, which makes it possible to consciously choose the use of air flow stabilizers when installing such systems.

Keywords: natural ventilation, flow stabilizer, supply valve, exhaust channel, multi-storey building, cold season.

For citation: Broida V.A. Analytical study of the operation of the natural exhaust ventilation system of a multi-storey building with air flow stabilizers in the cold season // News KSUAE. 2023. № 1(63), p. 43-51, DOI: 10.52409/20731523_2023_1_43, EDN: IHKPHS

1. Введение

Системы естественной вентиляции во многих случаях обеспечивают необходимый воздухообмен в помещениях зданий различного назначения. Такая вентиляция не требует затрат энергии на перемещение воздуха. Но с понижением температуры наружного воздуха, возрастает гравитационное давление и, при отсутствии регулирования, увеличивается воздухообмен по сравнению с расчетным, что ведет к повышенным затратам тепловой энергии в холодный период года. Несмотря на многолетнюю практику использования, постоянно появляются исследования, направленные на совершенствование этого типа систем вентиляции; экспериментальные и аналитические [1- 4], методами вычислительной гидродинамики [5-7], особенностей их применения в холодный период года [8, 9].

В зданиях с устаревшими неплотными окнами, через окна происходит достаточное поступление наружного холодного воздуха, замещающего воздух удаляемый естественными вытяжными системами. В таких зданиях следует стабилизировать расход

удаляемого воздуха с помощью устройств, устанавливаемых на входе в вытяжной вентиляционный канал.

В зданиях с современными плотными окнами существует другая проблема: как обеспечить приток необходимого количества наружного воздуха и распределить его в объеме помещения, не вызывая ухудшения микроклимата, что исследуется в работах [10-13]. Для решения этой проблемы применяются различные впускные устройства. По месту их размещения можно выделить следующие разновидности:

- клапаны, встраиваемые или пристраиваемые к конструкциям оконных рам;
- клапаны, врезаемые в конструкцию стены (стенные клапаны);
- клапаны, размещаемые под окнами и др.

В таких устройствах могут присутствовать козырьки, защищающие от наружных осадков, сетка для предотвращения попадания в помещение насекомых, защита от уличного шума (слой звукопоглощающего материала), а также устройства для ручного регулирования расхода приточного воздуха.

Например, оконные клапаны фирмы «Air Vox» выпускаемые в виде моделей Standart, Comfort и Comfort-S, могут встраиваться или закрепляться на оконной раме. Перемещение воздуха через клапан осуществляется за счет действия механической или естественной вытяжки. Регулирование расхода воздуха у всех моделей ручное, автоматически обеспечивается только защита от действия ветра для предотвращения сквозняков.

Известны автоматические клапаны фирмы «Aereco», приточные оконные и стеновые, а также вытяжные. Их действие основано на изменении сечения для прохода воздуха в зависимости от относительной влажности воздуха в помещении, которую воспринимает гигроскопический материал. Таким образом, это устройство поддерживает определенную влажность в помещении, но не заданный расчетный расход воздуха.

Имеются конструкции автоматических регуляторов прямого действия не потребляющие энергии от внешних источников. Но выпускаемые устройства такого направления, например фирм «Systemair», «Aldes» и др. в основном пригодны для стабилизации расхода воздуха в системах вентиляции с механическим побуждением, так как их диапазон регулирования начинается с перепада давления порядка 40 - 50 Па.

В настоящее время известны и разрабатываются новые конструкции стабилизаторов расхода воздуха прямого действия, которые могли бы применяться как для установки на вытяжных каналах естественных вытяжных систем так и на устройствах для впуска наружного воздуха в помещения с естественной вытяжкой [14, 15].

Вместе с тем следует отметить, что для стабилизации расхода воздуха естественных систем нескольких верхних этажей зданий, где гравитационного давления недостаточно для работы регуляторов прямого действия, придется использовать более дорогую обычную схему автоматического регулирования, содержащую датчик скорости (расхода) воздуха, контроллер и исполнительный механизм.

В работе [16] показано, что применение стабилизаторов расхода экономически целесообразно. Их стоимость может окупаться за несколько лет эксплуатации экономией тепловой энергии за счет значительно уменьшения попадания в помещение излишнего количества холодного наружного воздуха в течение холодного периода года.

По мере появления доступных стабилизаторов расхода воздуха, пригодных для использования с естественными вытяжными системами, владельцы помещений могли бы улучшить качество своих систем вентиляции, устанавливая стабилизаторы расхода на впуск наружного воздуха или на вытяжные каналы. В [17] показано, что принцип аэродинамического расчета вытяжной системы одинаков для случая с регулятором на впуске воздуха в помещение или на вытяжном канале из помещения.

Часто естественные вытяжные системы применяются в многоэтажных зданиях, например, в жилых зданиях. В таких зданиях применение стабилизаторов расхода на одних ответвлениях системы будет оказывать определенное влияние на расходы воздуха на ответвлениях необорудованных стабилизаторами, а также на расходы воздуха перемещаемого по общим участкам системы. Наиболее значительно такое влияние будет при изменении температуры наружного воздуха до ее наиболее низкого расчетного значения в холодный период года.

Цель исследования заключается в аналитическом определении влияния установленных стабилизаторов расхода на изменение расхода вытяжного воздуха на ответвлениях, на которых не установлены стабилизаторы расхода, а также на остальных участках вытяжной естественной системы вентиляции многоэтажного здания.

Задачи исследования:

- построить аналитическую модель для изучения такого влияния;
- выполнить вычисления и определить изменение расхода воздуха в зависимости от этажа, на ответвлении которого нет стабилизатора расхода и, изменение расхода на остальных участках системы и всей системы в целом.

2. Материалы и методы

Изучается стабилизация расхода воздуха с помощью устройств, устанавливаемых на входе в этажное ответвление в многоэтажном здании с естественной вытяжной системой.

Исследуется изменение расхода воздуха на одном этажном ответвлении естественной вытяжной системы без стабилизатора расхода, при условии, что на остальных этажных ответвлениях стабилизаторы расхода установлены. Такая проблема может возникать в современных многоэтажных зданиях с естественными вытяжными системами, обслуживающими несколько этажей, с помещениями на этажах, принадлежащими различным собственникам, некоторые из которых применяют или не применяют стабилизаторы расхода воздуха.

Рассматривается система естественной вытяжной вентиляции, которая работает, в основном, за счет гравитационного давления P (действием ветрового давления обычно пренебрегают, как фактором действующим непостоянно), возникающего при некоторой температуре наружного воздуха t , и определяемого формулой:

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

где ρ – плотность воздуха, при любой его температуре t , (в том числе и при температуре внутреннего воздуха t_B), которая определяется выражением:

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

h – разница отметок центра входной решетки и устья вытяжного канала, м.

Естественная вытяжная вентиляция рассчитывается при действии гравитационного давления P_5 , соответствующего температуре наружного воздуха $t = 5$ °С, при которой расход удаляемого воздуха имеет заданное расчетное значение $L = L_5$.

Гравитационное давление затрачивается на преодоление потерь давления на участках системы вентиляции, в данной задаче их удобно выразить через характеристику участка s , Па·с²/м⁶, тогда, потери давления каждого участке выразятся формулой:

$$\Delta P = s \cdot L^2, \quad (3)$$

а сама характеристика каждого расчетного участка соответствует выражению:

$$s = \Delta P / L^2, \quad (4)$$

причем в формулах (3) и (4) расход воздуха выражается в м³/с.

Рассматривается общая структура системы естественной вытяжной вентиляции многоэтажного здания с вертикальным коллектором и односторонними боковыми ответвлениями - «спутниками», присоединенными к коллектору через этаж (см. рис. 1.).

Обычно на верхнем этаже при расчетных температурных условиях $t = 5$ °С, гравитационного давления недостаточно, поэтому на ответвлении верхнего этажа устанавливается вентилятор, обеспечивающий требуемый расход воздуха через это ответвление.

Вводится следующая нумерация расчетных участков рассматриваемой системы вентиляции:

- концевые участки (ответвления) имеют номер расчетного i -го этажа – i ;
- сборные участки коллектора и выбросной шахты имеют номера из двух цифр, первая – номер первого по ходу движения воздуха присоединяемого ответвления, вторая – номер ответвления на конце участка – $i, i+1$.

Аэродинамический расчет заданной структуры вентиляционной системы может быть выполнен по любой общепринятой методике, например методом удельных потерь.

В результате такого расчета при заданных расчетных расходах воздуха L_5 , должны выполняться условия достаточности гравитационного давления и увязки потерь давления в ответвлениях при расчетной температуре наружного воздуха $t=5$ °С. По данным такого расчета, с помощью зависимости (4) определяются характеристики s , всех участков естественной вытяжной системы вентиляции.

Затем производится аэродинамический перерасчет этой же системы на температурные условия холодного периода года по параметру Б. При выполнении этого расчета полагается, что на ответвлениях всех этажей имеются стабилизаторы расхода воздуха, обеспечивающие заданный расход воздуха L_5 , причем на верхнем этаже это условие поддерживает вентилятор. И только на одном из этажей стабилизатор расхода воздуха отсутствует и расход воздуха в ответвлении этого этажа возрастает с понижением температуры наружного воздуха и соответствующим ростом гравитационного давления.

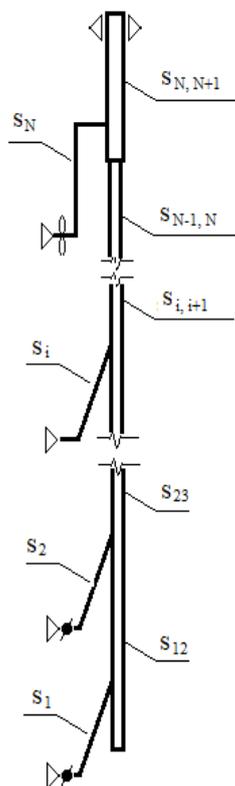


Рис. 1. Схема вытяжной вентиляционной системы многоэтажного здания (иллюстрация автора) Fig.1. Scheme of the exhaust ventilation system of a multi-storey building (illustration by the author)

Следовательно, изменяется (увеличивается) расход воздуха на всех сборных участках, включенных последовательно после ответвления без стабилизатора в схему системы вентиляции. При выполнении этого расчета считается, что характеристики s всех участков системы сохраняют свои значения.

Решение основывается на рассмотрении балансов возникающих гравитационных давления и потерь давлений в последовательно включенных участках системы вентиляции. Аналитическое решение этой задачи для N -этажного здания относительно неизвестного расхода удаляемого воздуха от конечного участка без стабилизатора на i -ом этаже L_i приводит к квадратному уравнению:

$$a \cdot L_i^2 + b \cdot L_i + c = 0, \quad (5)$$

с коэффициентами уравнения:

$$a = s_i + \sum_i^N s_{i,i+1}, \quad (6)$$

$$b = 2 \cdot L_5 \cdot \left(\sum_i^N ((i-1) \cdot s_{i,i+1}) \right), \quad (7)$$

$$c = (L_5)^2 \cdot \sum_i^N (s_{i,i+1} \cdot (i-1)^2) - p_i, \quad (8)$$

Решение квадратного уравнения, как известно, выражается формулой:

$$L_i = (-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}) / (2 \cdot a). \quad (9)$$

Причем общий расход воздуха во всей системе равен расходу воздуха на последнем сборном участке $L_{N,N+1}$.

Можно указать также безразмерный относительный расход воздуха на каждом участке L^* , отнесенный к расчетному расходу воздуха L_5 , определенный по соотношению:

$$L^* = L / L_5. \quad (10)$$

Расход воздуха на участках естественной вытяжной системы без стабилизаторов расхода и других регуляторов (без изменения геометрии элементов системы) с понижением температуры наружного воздуха ниже расчетной $t=5$ °С изменяется в соответствии с выражением:

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

3. Результаты

В качестве примера рассматривается система естественной вытяжной вентиляции девятиэтажного здания, которая состоит из сборного канала сечением 300x200 мм и каналов спутников, присоединенных через этаж. Сборный канал завершается выбросной шахтой сечением 400x300 мм. Расход воздуха на каждом концевом участке (от каждого этажа) при расчетных для естественных систем условиях (температура внутреннего воздуха $t_B=20$ °С, температура наружного воздуха $t=5$ °С) составляет $L_5=60$ м³/ч. Высота каждого этажа $h_{\text{Э}}=3,3$ м, высота выбросной шахты от места присоединения к сборному каналу до устья $h_{\text{Ш}}=5$ м. Ответвление последнего девятого этажа, по причине недостаточного гравитационного давления при расчетных условиях, снабжено небольшим вентилятором, обеспечивающим расчетный расход воздуха, этот канал присоединяется к выбросной шахте на высоте 1 м от ее основания.

В результате аэродинамического расчета при заданных расчетных условиях определены характеристики естественной вытяжной системы, приведенные в таблице 1.

Таблица 1
Расчетные характеристики участков естественной вытяжной системы
9-этажного здания

Номер этажа, i	Гравитационное давление на этаже при $t_H=5$ °С, Па	Характеристика, $s, \text{Па} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$ и расчетный расход воздуха на участке, м ³ /с		Примечание
		концевого участка, s_i/L_i	сборного участка, $s_{i,i+1}/L_{i,i+1}$	
1	20,02	36547/0,01667	182,2/0,01667	
2	17,92	29232/0,01667	173/0,03334	
3	15,82	22356/0,01667	169,2/0,05000	
4	13,71	16272/0,01667	167/0,06667	
5	11,61	11376/0,01667	165,7/0,08334	
6	9,50	7920/0,01667	164,8/0,10000	
7	7,40	6300/0,01667	164,1/0,11667	
8	5,29	6732/0,01667	66,6*/0,13334	*Вытяжная шахта
9	3,19	вентилятор	99,4*/0,15000	*Вытяжная шахта

Затем, в соответствии с поставленной задачей, выполняется аэродинамический расчет вытяжной естественной системы при пониженной температуре наружного воздуха

до $t_H = -30$ °С и при условии, что на одном из этажей здания (на конечном участке этого этажа) нет клапана, стабилизирующего расход удаляемого воздуха, а на всех остальных конечных участках такой клапан имеется. Результат такого расчета представлен в таблице 2.

Решение этой задачи относительно неизвестного расхода удаляемого воздуха находится с помощью зависимостей (6, 7, 8 и 9). В табл. 2 также приведены относительные расходы воздуха, вычисленные по формуле (10). По температурным условиям данной задачи относительный расход в условиях отсутствия регулирования при изменении температуры наружного воздуха от $t = 5$ °С до $t = -30$ °С, возрастает, что при применении зависимостей (10) и (11) приводит к значению:

$$L_{-30}^* = L_{-30} / L_5 = \sqrt{((273 + 5) \cdot (20 - (-30))) / ((273 + (-30)) \cdot (20 - 5))} = 1,95.$$

Таблица 2

Результаты расчета расхода воздуха на конечных участках при отсутствии стабилизатора расхода на одном из этажей при температуре наружного воздуха $t = -30$ °С, выполненные по приведенным выше зависимостям

Номер этажа, i , на котором отсутствует стабилизатор расхода	Гравитационное давление на этаже при $t_H = -30$ °С, Па	Расход воздуха на конечном участке, L_i		Относительный расход воздуха, L^*	Примечание
		м ³ /с	м ³ /ч		
1	76,36	0,0408	146,9	2,45	
2	68,34	0,0424	152,6	2,55	
3	60,31	0,0447	160,9	2,68	
4	52,29	0,0477	171,7	2,86	
5	44,26	0,0513	184,7	3,08	
6	36,23	0,0547	196,9	3,28	
7	28,21	0,0547	196,9	3,28	
8	20,18	0,0474	170,6	2,85	
9	12,16	0,0167	60	1	вентилятор

Общий расход воздуха при отсутствии стабилизаторов расхода на всех этажах, но при наличии регулируемого вентилятора составит:

$$L_{\text{общ}} = (L_{-30}^* \cdot 8 + 1 \cdot 1) \cdot L_5 = (1,95 \cdot 8 + 1 \cdot 1) \cdot 60 = 1010,4 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ или } 0,281 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Общий расход воздуха всей рассматриваемой системы вытяжной вентиляции при $t = -30$ °С и при худшем варианте (отсутствия стабилизатора расхода на 7-ом этаже) равен:

$L_{\text{общ}7} = (L_7 \cdot 3600 + 8 \cdot 60) = (0,0547 \cdot 3600 + 8 \cdot 60) = 696,9 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ или } 0,188 \text{ м}^3/\text{с}$, что почти в два раза меньше, чем при отсутствии стабилизаторов расхода удаляемого воздуха на всех этажах.

4. Обсуждение

Из результатов расчета понятно, что расход воздуха на ответвлении, на котором нет стабилизатора, с понижением температуры наружного воздуха значительно увеличивается по сравнению с расчетным. Для рассмотренной системы вентиляции это увеличение составляет приблизительно от 2,45 до 3,028 раза для отдельного этажного ответвления, существенно больше, чем возрастал бы расход воздуха при отсутствии стабилизаторов расхода на каждом этаже здания – в 1,95 раза. Возрастание расхода воздуха неравномерно распределено по этажам, в данном случае значительней на верхних этажах и меньше на нижних, что по-видимому зависит от конструкции и геометрии конкретной вытяжной системы.

Но при этом общий расход удаляемого воздуха при наличии стабилизаторов расхода (и отсутствии стабилизатора на одном этаже), всегда меньше, почти в два раза, чем при отсутствии стабилизаторов расхода на всех этажах.

На верхних этажах здания располагаемое гравитационное давление невелико, поэтому для них, по-видимому, целесообразно применять традиционную систему автоматического регулирования, состоящую из датчика, контроллера и исполнительного механизма, что позволит в полной мере получить выгоду от стабилизации расхода удаляемого воздуха всей вытяжной системы вентиляции многоэтажного здания.

Все сказанное справедливо и для стабилизаторов на впускных устройствах в виде оконных или стеновых клапанов.

К сожалению, данные аналогичных исследований систем естественной вентиляции автору не известны, но полученные результаты настоящего аналитического исследования качественно не противоречивы и приблизительно соответствуют известным фактам о системах принудительной вентиляции.

5. Заключение

В результате достигнута цель исследования и решены задачи исследования:

– построена аналитическая модель для изучения влияния отсутствия стабилизатора расхода на одном этажном ответвлении в системе естественной вытяжной вентиляции многоэтажного здания;

– выполнены вычисления и сделаны выводы о том, что с понижением температуры наружного воздуха, возрастание расхода воздуха, в этажном ответвлении которого нет стабилизатора существенно, а расход воздуха на последовательно включенных участках и системы в целом также возрастает, но это увеличение приблизительно в 2 раза меньше, чем при отсутствии стабилизаторов расхода на всех этажных ответвлениях, что дает возможность при устройстве таких систем осознано делать выбор о применении стабилизации расхода воздуха.

Список литературы / References

1. Guo P., Wang S., Xu B., Meng Q., Wang Y. Reduced-scale experimental model and numerical investigations to buoyance-driven natural ventilation in a large space building//Building and Environment. 2018. Vol. 145. P. 24–32. DOI.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.019.
2. Yang D., Guo Y. Fluctuation of natural ventilation induced by nonlinear coupling between buoyancy and thermal mass// International Journal of Heat and Mass Transfer. 2016. Vol. 96. P. 218–230. DOI.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.01.017.
3. Shan M., Wang P., Li J., Yue G., Yang X. Energy and environment in Chinese rural buildings: situations, challenges, and intervention strategies // Build. Environ. 2015. Iss. 91. P. 271–282. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.03.016.
4. Peizhe T., Liang L., Ligu Z., Boyuan Z. Field Measurement & Research on Natural Ventilation Performance of the New East-Main Building of China // Academy of Building Research (CABR): 8-th International Cold Climate HVAC 2015 Conference (CCHVAC 2015). Procedia Engineering 146. 2016. P. 257–265. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.385.
5. Vaxevanou C., Fidaros D., Tsangrassoulis A. Management of Natural Ventilation in High-Rise Building – a CFD Study// Procedia Environmental Sciences. 2017. Vol. 38. P. 428–435. DOI:10.1016/j.proenv.2017.03.128.
6. Shopayeva A., Safiullin, R. CFD-modeling of flow in confluence nodes of ventilation units of multi-storey buildings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 890(1). DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012157.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/890/1/012157/pdf>. (Дата обращения 8.09.2022).
7. Зиганшин А.М., Озеров А.О., Солодова Е.Э. Численное исследование течения в П-образном отводе и снижение его сопротивления.// Изв. вузов. Строительство. 2019, №1. С. 82–92.[Ziganshin A. M., Ozerov A. O., Solodova E. E. Numerical study of the flow in a U-bend and reduction of its resistance //Izv. Vuzov. Stroitelstvo. 2019. № 1. P.82–92.].
8. Heracleous C., Michael A. Experimental assessment of the impact of natural ventilation on indoor air quality and thermal comfort conditions of educational buildings in the Eastern

- Mediterranean region during the heating period // *Journal of Building Engineering* 2019. Vol. 26. P. 1–15. DOI:10.1016/j.job.2019.
9. Скрыбин В. И., Старостин Е. Г. Исследование скорости потока воздуха в системах естественной вентиляции жилого здания в зимних условиях // *Вестник Северо-Восточного федерального университета*. 2011. Т. 8. № 4. С. 56–59. [Skryabin V. I., Starostin E. G. Study of the air flow rate in natural ventilation systems of a residential building in winter conditions // *Vestnik Vostochnogo federalnogo universiteta*. 2011. Vol. 8. № 4. P. 56–59.].
 10. Летушко В. Н., Низовцев М. И., Стерлягов А. Н. Естественная вентиляция помещений приточными воздушными клапанами: Сб. докладов. Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий. 2017. С. 129–136. [Letushko V. N., Nizovtsev M. I., Sterlyagov A. N. Natural ventilation of premises with supply air valves: Collection of reports. *Energo- i resursoeffektivnost maloetajnyh jilyh zdanyi*. 2017. P. 129–136.].
 11. Бодров В. И., Болдин В. П., Кузин В. Ю. Исследование применения приточных и вытяжных устройств в системах естественной вентиляции современных многоквартирных домов // *Приволжский научный журнал*. 2019. № 3(51). С. 46–52. [Bodrov V. I., Boldin V. P., Kuzin V. U. Study of the use of supply and exhaust devices in natural ventilation systems of modern apartment buildings // *Privoljski nauchnyi jurnal*. 2019. № 3(51). P. 46–52.].
 12. Симбирев О. В. Анализ распределения воздушных потоков в жилых комнатах с приточными подоконными клапанами при помощи математического моделирования в ANSYS FLUENT // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. 2019. № 10. С. 67–73. DOI: 11.34031/article_5db3dd4c28ecd1.47038631. [Simbirev O. V. Analysis of the distribution of air flows in living rooms with inlet window sill valves using mathematical modeling in ANSYS FLUENT // *Vestnik BGTU im. V. G. Shuhova*. 2019. № 10. P. 67–73.].
 13. Кривошеин А. Д., Кривошеин М. А. Моделирование распределения воздушных потоков и температур в помещениях с приточными устройствами различного типа // *Светопрозрачные конструкции*. 2019. № 5-6. С. 40–48. [Krivoshein A. D., Krivoshein M. A. Modeling the distribution of air flows and temperatures in rooms with air inlets of various types // *Svetoprosrachnye konstruktsii*. 2019. № 5-6. P. 40–48.].
 14. Стабилизатор расхода воздуха : пат. 2689295 Рос. Федерация; № 2018117980 заявл. 14.05.2018 ; опубл. 24.05.2018, Бюл. № 15. 4 с. [Air flow stabilizer : patent 2689295 of the Rus. Federation : № 2018117980 ; decl. 14.05.2018 ; publ. 24.05.2018, Bull. in № 15. 4 p.].
 15. Стабилизатор расхода воздуха : пат. Рос. Федерация 2773592; № 2021130341; заявл. 19.10.2021; опубл. 06.06.2022, Бюл. № 16. 4 с. [Air flow stabilizer : patent 2773592 of the Rus. Federation : № 2021130341 ; decl. 19.10.2021; publ. 06.06.2022, Bull. in № 16. 4 p.].
 16. Бройда В. А. Экономия тепловой энергии за счет стабилизации расхода естественной вытяжной вентиляции // *Изв. вузов. Строительство*. 2012. № 10. С. 54–58. [Broida V. A. Saving thermal energy by stabilizing the flow of natural exhaust ventilation // *Izv. Vuzov. Stroitelstvo*. 2012. № 10. P. 54–58.].
 17. Посохин В. Н. Аэродинамика вентиляции. М.: «Авок-пресс», 2008. 209 с. [Posohin V. N. *Ventilation aerodynamics*. M.: «Avok-press». 2008. 209 p.].

Информация об авторах

Бройда Владимир Аронович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская федерация.

E-mail: broida@mail.ru

Information about the authors

Vladimir A. Broida, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

E-mail: broida@mail.ru