

Известия вузов. Строительство. 2022. № 4. С. 50–66.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (4): 50–66.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 697.92

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-760-4-50-66

## **КЛАПАНЫ С ОЧИСТКОЙ ВОЗДУХА ОТ ГАЗООБРАЗНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

**Наталья Анатольевна Литвинова<sup>1</sup>, Валерий Николаевич Азаров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Тюменский индустриальный университет (ТИУ), Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ),  
Волгоград, Россия

**Аннотация.** Существующие приточные установки систем вентиляции зданий задерживают дисперсные частицы пыли, твердые вещества, содержащиеся в наружном воздухе, но не всегда могут уловить газообразные загрязнители, такие как оксид углерода (II), углеводороды алифатические, фенол, формальдегид и др. Для решения этой проблемы необходимо запроектировать эффективную и безопасную конструкцию приточных устройств системы вентиляции по всей высоте зданий, провести многолетние экспериментальные исследования степени загрязнения наружного воздуха по высоте от поверхности земли, опытные испытания разработанного технического решения конструкции клапанов приточной вентиляции с очисткой поступающего воздуха. Целью исследования является теоретическое и экспериментальное обоснование параметров конструкции приточных устройств вентиляции с очисткой воздуха по высоте зданий, создание алгоритмов их расчета, проведение опытных испытаний и внедрение в практику проектирования систем приточных устройств вентиляции жилых, гражданских, административных зданий. Это позволит повысить качество очистки приточного воздуха помещений от газообразных загрязнителей наружных источников выброса.

**Ключевые слова:** клапан приточной вентиляции, очистка приточного воздуха, опытные испытания, время работы клапана, концентрация, загрязнитель

**Для цитирования:** Литвинова Н.А., Азаров В.Н. Клапаны с очисткой воздуха от газообразных загрязнителей системы приточной вентиляции // Известия вузов. Строительство. 2022. № 4. С. 50–66. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-760-4-50-66.

Original article

## **VALVES WITH AIR PURIFICATION FROM GASEOUS POLLUTANTS OF THE SUPPLY VENTILATION SYSTEM**

**Natalia A. Litvinova<sup>1</sup>, Valery N. Azarov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Tyumen Industrial University (TIU), Tyumen, Russia

<sup>2</sup>Volgograd State Technical University (VolGTU), Volgograd, Russia

**Abstract.** Existing supply installations of building ventilation systems detain dispersed dust particles, solids contained in the outdoor air, but they cannot always detain gaseous pollutants such as carbon monoxide (II), aliphatic hydrocarbons, phenol,

formaldehyde and others. To solve this problem, it is necessary to design an effective and safe design of the supply devices of the ventilation system along the entire height of buildings, conduct long-term experimental studies of the degree of outdoor air pollution in height from the ground surface, pilot tests of the developed technical solution for the design of supply ventilation valves with cleaning of the incoming air. The purpose of the study is the theoretical and experimental substantiation of the design parameters of supply ventilation devices with air purification according to the height of buildings, the creation of algorithms for their calculation, conducting pilot tests and putting into practice the design of systems of supply ventilation devices for residential, civil, administrative buildings. This will improve the quality of cleaning the supply air of the premises from gaseous pollutants from external emission sources.

**Keywords:** supply ventilation valve, supply air purification, pilot tests, valve operating time, concentration, pollutant

**For citation:** Litvinova N.A., Azarov V.N. Valves with air purification from gaseous pollutants of the supply ventilation system. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (4): 50–66. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-760-4-50-66.

**1. Введение.** В настоящее время наружный воздух многоэтажных зданий по высоте от поверхности земли содержит загрязнители от автомагистралей с высокой интенсивностью движения, в том числе на границах санитарно-защитных зон точечных источников выброса промышленных предприятий, внутри промышленных зон [1–3]. Приточные установки задерживают дисперсные частицы пыли, твердые вещества, содержащиеся в наружном воздухе, но не всегда могут уловить газообразные загрязнители, такие как оксид углерода (II), углеводороды алифатические, фенол, формальдегид и др. [4–6]. Для решения этой проблемы необходимо спроектировать эффективную и безопасную конструкцию приточных устройств системы вентиляции по всей высоте зданий, провести многолетние экспериментальные исследования степени загрязнения наружного воздуха по высоте от поверхности земли, опытные испытания разработанного технического решения конструкции клапанов приточной вентиляции с очисткой поступающего воздуха [7]. Требуется внедрить их в практику проектирования систем вентиляции не только многоэтажных жилых зданий, но и приточных установок конструкторских бюро, научно-исследовательских лабораторий и других помещений гражданских зданий, где необходимо повысить качество очистки приточного воздуха [8–10].

Цель исследований – теоретическое и экспериментальное обоснование параметров конструкции приточных устройств вентиляции с очисткой воздуха по высоте зданий, создание алгоритмов их расчета, проведение опытных испытаний и внедрение в практику проектирования приточных устройств систем вентиляции многоэтажного строительства.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

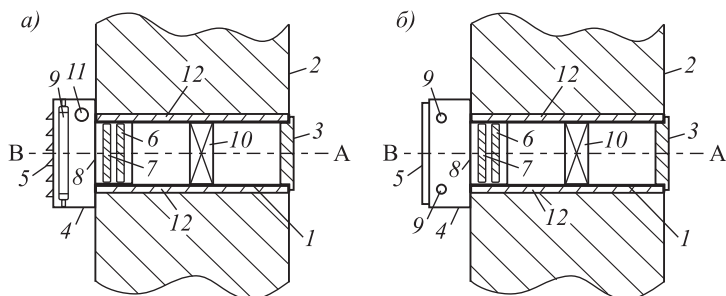
1. Теоретически и экспериментально обосновать конструкцию клапанов для очистки приточного воздуха зданий; алгоритм расчета параметров клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха от газообразных загрязнителей в зависимости от степени загрязнения наружного воздуха.

2. Провести опытные испытания температурного и скоростного режима в помещении при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в теплый и холодный периоды года.

3. Внедрить в практику проектирования приточных устройств систем вентиляции многоэтажных зданий разработанную конструкцию клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха, метод и алгоритмы расчета параметров приточных устройств по высоте зданий и предложенное программное обеспечение.

**2. Материалы и методы исследования.** Разработан клапан приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха, который может использоваться для очистки поступающего наружного воздуха помещений административных, гражданских и жилых зданий [11, 12].

Клапан (рис. 1) с очисткой приточного воздуха состоит из пластиковой трубы 1 с наружным диаметром 100 мм и длиной до 900–1000 мм, которая подрезается в зависимости от толщины наружной стены 2. Для теплоизоляции и шумопоглощения труба 1 обернута фольгированным изолятором 12 толщиной 5 мм. Труба 1 монтируется в наружную стену здания 2. Пластиковая труба 1 после монтажа образует две стороны: А с улицы и В внутри здания. Со стороны А пластиковой трубы 1 располагается решетка с сеткой 3, которая предотвращает попадание в воздуховод воды и снега и пр. Со стороны В пластиковой трубы 1, которая расположена внутри помещения, устанавливается пластиковый оголовок 4 прямоугольной формы размером 200×200 мм с щелями 5 для равномерного проникновения воздуха во внутрь помещения. Приточный воздух очищается в следующей последовательности со стороны А пластиковой трубы 1, в соответствии с последовательно расположенными фильтрами внутри оголовка 4 прямоугольной формы со щелями 5: первый



*Рис. 1.* Клапан приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха

*a* – вертикальный разрез А-А; *b* – вид сверху: 1 – пластиковая труба; 2 – наружная стена; 3 – решетка с сеткой; 4 – пластиковый оголовок прямоугольной формы; 5 – щели; 6 – фильтр с сорбционной загрузкой шунгитом (фракции 1 мм); 7 – фильтр с сорбционной загрузкой цеолитом (фракции 1–3 мм); 8 – тонкая пористая пластина диоксида титана (TiO<sub>2</sub>); 9 – две ультрафиолетовые лампы с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая; 10 – электровентилятор; 11 – регулятор оборотов с выключателем; 12 – фольгированный изолятор

*Fig. 1.* Forced air supply ventilation valve with air purification  
*a* – vertical cut A-A; *b* – top view: 1 – plastic pipe; 2 – exterior wall; 3 – grid with mesh; 4 – rectangular plastic head-piece; 5 – gaps; 6 – filter with sorption loading with shungite (fractions of 1 mm); 7 – filter with sorption loading with zeolite (fractions of 1–3 mm); 8 – thin porous titanium dioxide plate (TiO<sub>2</sub>); 9 – two UV lamps with a wavelength of 365 nm (UV-A range), with a power of 6 watts each; 10 – electric fan; 11 – speed controller with switch; 12 – foil isolon

фильтр с сорбционной загрузкой шунгитом 6 (фракции 1 мм), толщина слоя сорбента 20 мм; второй фильтр 7 с сорбционной загрузкой цеолитом (фракции 1–3 мм), толщина слоя сорбента 20 мм; третий – фотокаталитический фильтр, состоящий из тонкой пористой пластины 8 диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ), выступающей в роли катализатора и двух ультрафиолетовых ламп 9 с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), 6 Вт каждая, расположенных вертикально в ряд.

Для нагнетания наружного воздуха с улицы в середине пластиковой трубы 1 расположен осевой электрический вентилятор 10. Включение вентилятора 10 осуществляется с помощью регулятора оборотов с выключателем 11 (дополнительно в оголовок 4 встроено блок управления), расположенного на торце пластикового оголовка 4. Блок управления в оголовке 4 клапана позволяет регулировать воздухообмен по сезонам года, времени суток на основании разработанного программного обеспечения по результатам многолетних экспериментальных данных [13, 14].

**3. Результаты и обсуждение.** По результатам обработки экспериментальных данных установлена зависимость эффективности очистки приточного воздуха ( $\mathcal{E}_i$ ) от газообразных загрязнителей от интенсивности УФ-излучения и расстояния от УФ-ламп до пористой пластины диоксида титана  $\text{TiO}_2$  внутри разработанной конструкции клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха:

$$\mathcal{E}_{\text{CO}} = 12,43 + 4,30I + 8,56R, \quad (1)$$

$$\mathcal{E}_{\text{углеводороды (C1-C5)}} = 13,40 + 4,91I + 7,62R, \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_{\text{фенол}} = 18,653 - 0,504I + 16,076R, \quad (3)$$

$$\mathcal{E}_{\text{формальдегид}} = 12,805 - 0,521I + 16,470R, \quad (4)$$

где  $I$  – интенсивность УФ-А излучения, Вт/м<sup>2</sup>;

$R$  – расстояние от источника УФ-излучения до пластины диоксида титана, м.

Наибольшее влияние на результат эффективности очистки приточного воздуха оказывает расстояние  $R$  от источника УФ-излучения до пластины  $\text{TiO}_2$ . Критерий Фишера  $F_{kp} = 0,78$ .

Результаты оценки влияния фотокатализа совместно с сорбентами представлены в табл. 1. Так, при последовательной очистке приточного воздуха через фильтры «шунгит + цеолит +  $\text{TiO}_2$  + 2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт» при опытных испытаниях в зимний период года эффективность очистки воздуха по оксиду углерода (II) составила от 96,39 до 99,98 %, фенолу – 96,39–97,89 %, формальдегиду – 95,76–97,78 %, по углеводородам алифатическим (C1–C5) – 93,13–95,12 %. Летом эффективность очистки приточного воздуха по оксиду углерода (II) составила до 99,9 %, по фенолу от 88 до 93 %, по формальдегиду от 89 до 95 %, по углеводородам алифатическим (C1–C5) до 94 %.

Теоретически и экспериментально обоснованы технические параметры клапанов с очисткой воздуха: скорость воздуха 2,81 м/с, минимальный диаметр 0,1 м, расход воздуха от 55 до 300 м<sup>3</sup>/ч, необходимое время сорбции 1200 ч и толщина слоя сорбента от 7 до 20 мм для шунгита и от 6,93 до 20 мм для цеолита в зависимости от степени загрязнения атмосферы по высоте здания.

Таблица 1. Результаты контроля интенсивности УФ-излучения (Вт/м<sup>2</sup>) внутри клапана с очисткой приточного воздуха от УФ-ламп с длиной волны 365 нм, 6 Вт

Table 1. Results of monitoring the intensity of UV radiation (W/m<sup>2</sup>) inside the valve with supply air purification from UV lamps with a wavelength of 365 nm, 6 W

Количество УФ-ламп, 6 Вт, 365 нм	Расстояние от источника излучения до пористой пластины TiO <sub>2</sub> , см	Интенсивность УФ-излучения, Вт/м <sup>2</sup>		
		УФ-А	УФ-В	УФ-С
1	1	3,80	0,035	0,406
1	1	1,08	0,02	0,094
2	5	8,60	0,073	0,680
2	5	2,20	0,036	0,188

На основании теоретических преобразований и эмпирических зависимостей получены расчетные уравнения (табл. 2) технических параметров клапанов от расхода воздуха, плотности сорбирующих веществ  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, скорости воздушного потока в сечении клапана  $V$ , м/с, и необходимого времени сорбции загрязняющих веществ загрузками внутри фильтров устройства по высоте здания  $t$ , ч, с учетом начальной экспериментально измеренной концентрации газообразных загрязнителей на входе в клапан  $C_i$ , мг/м<sup>3</sup>.

По результатам многолетних экспериментальных исследований использованы эмпирические зависимости (5)–(8) начальной концентрации загрязнителя  $c_i$  от времени  $t$  при очистке воздуха в клапане для сорбентов в загрузках фильтров:

$$\text{шунгита } C = 1,733e^{0,003t}; \quad (5)$$

$$\text{цеолита } C = 0,022t^2 + 3,681t + 6,065; \quad (6)$$

$$\text{активированного угля } C = 0,051t + 4,447; \quad (7)$$

$$\text{силикагеля } C = 0,312t - 0,5779, \quad (8)$$

где  $t$  – время сорбции, ч.

Получена величина минимально необходимого диаметра приточных клапанов (9) в зависимости от расхода воздуха  $Q$ , технических и физико-химических характеристик загрузок фильтров (шунгит + цеолит), последовательно расположенных в клапанах

$$D = \sqrt{\frac{0,103Q(X_2 - X_1)\rho}{H}(0,065t^2 + 7,363t + 6,065)}, \quad (9)$$

где  $Q$  – расход приточного воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$t$  – продолжительность процесса сорбции, ч;

$X_2$  – динамическая активность сорбента по  $i$ -газу, мас. %;

$X_1$  – остаточная активность после десорбции, мас. %;

$\rho$  – плотность сорбирующего вещества, кг/м<sup>3</sup>.

Получены уравнения необходимого расхода приточного воздуха, толщины и массы загрузки фильтров клапанов (см. табл. 2). Исходными данными

Таблица 2. Уравнения для расчета параметров клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха  
 Table 2. Equations for calculating the parameters of supply ventilation valves with air purification

Загрузка фильтров клапанов	Выходные параметры по высоте здания (с наветренной и подветренной стороны от источника выброса)		
	Необходимый расход приточного воздуха $\underline{Q}$ по высоте здания, м <sup>3</sup> /ч	Толщина $Hi$ (высота) слоя загрузки фильтра, мм	Масса $Gi$ загрузки фильтра, мг
Шунгит Зажогинского месторождения, размер фракций 1–2 мм	$\underline{Q}i(t) = \frac{(X_2 - X_1) 0,785D^2 \rho H}{1,733(e^{0,003t} + t \cdot 0,003e^{0,003t})}$	$Hi = \frac{\underline{Q}t \cdot 1,733e^{0,003t}}{(X_2 - X_1) 0,785D^2 \rho}$	$Gi(t) = \frac{1,733\underline{Q}}{(X_2 - X_1)} \times (e^{0,003t} + 0,003te^{0,003t})$
Цеолит Холинского месторождения, 2–3 мм	$\underline{Q}i(t) = \frac{(X_2 - X_1) 0,785D^2 \rho H}{(0,065t^2 + 7,363t + 6,065)}$	$Hi(t) = \frac{\underline{Q}}{(X_2 - X_1) 0,785D^2 \rho} \times (0,065t^2 + 7,363t + 6,065)$	$Gi(t) = \frac{\underline{Q}}{(X_2 - X_1)} \times (0,065t^2 + 7,363t + 6,065)$
Силикагель КСК, 3 мм	$\underline{Q}i(t) = \frac{(X_2 - X_1) 0,785D^2 \rho H}{(0,623t - 0,578)}$	$Hi(t) = \frac{\underline{Q}}{(X_2 - X_1) 0,785D^2 \rho} \times (0,6234t - 0,578)$	$Gi(t) = \frac{\underline{Q}}{(X_2 - X_1)} \times (0,6234t - 0,578)$
Активированный уголь, 3 мм	$\underline{Q}i(t) = \frac{(X_2 - X_1) 0,785D^2 \rho H}{(0,102t + 4,447)}$	$Hi(t) = \frac{\underline{Q}}{(X_2 - X_1) 0,785D^2 \rho} \times (0,102t + 4,447)$	$G(t) = \frac{\underline{Q}}{(X_2 - X_1)} \times (0,102t + 4,447)$

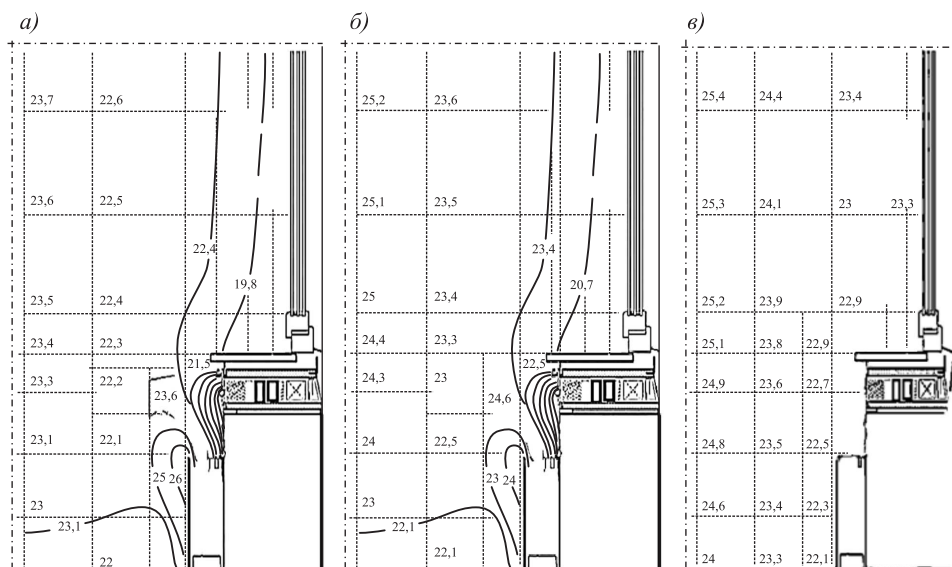
Примечание.  $\underline{Q}$  – расход газа, м<sup>3</sup>/ч;  $t$  – продолжительность процесса сорбции, ч;  $X_2$  – динамическая активность сорбента по  $i$ -газу, мас. %;  $X_1$  – остаточная активность после десорбции, мас. %;  $\rho$  – плотность сорбирующего вещества, кг/м<sup>3</sup>;  $D$  – диаметр приточного клапана, м.

для расчета являются параметры загрузки фильтров: плотность  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>; размер фракций, мм, а также необходимое время работы клапана  $t$ , ч; диаметр пластиковой трубы  $D$ , мм; концентрация загрязнителя в наружном воздухе по высоте здания  $C_i$ , мг/м<sup>3</sup>.

По результатам расчета расхода воздуха подбираются необходимые параметры загрузок фильтров разработанного устройства: толщина и масса сорбентов (см. табл. 2).

Экспериментальные исследования температурного режима помещений проводились при температурах наружного воздуха:  $-32$ ;  $-11,5$ ;  $0$ ;  $11,5$ ;  $27,5$  °С в течение 2 ч работы клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха. В холодный период года температура поверхности отопительного прибора изменялась от  $70$  до  $95$  °С в зависимости от температуры наружного воздуха.

В процессе опытных испытаний клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха струя приточного воздуха смешивается с внутренним, в помещении температура повышается от  $21,5$  до  $25,2$  °С, скорость воздуха в струе уменьшается до  $0,11$ – $0,12$  м/с. В холодный период через 5 мин после открытия клапана температура воздуха на высоте  $0,1$  м в нижней зоне помещения понижается в среднем на  $1,3$ – $1,7$  °С и принимает стабильное допустимое значение после  $15$ – $20$  мин.



*Рис. 2. Экспериментальное распределение температурных полей при опытных испытаниях клапана приточной принудительной вентиляции в помещениях в холодный и теплый периоды года после 15 мин открытия приточной струи*

*$a - t_{\text{н}} = -32$  °С,  $t_{\text{в}} = 22,1$  °С,  $65 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $b - t_{\text{н}} = -27,5$  °С,  $t_{\text{в}} = 23,6$  °С,  $55 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $c - t_{\text{н}} = 27,5$  °С,  $t_{\text{в}} = 22,7$  °С,  $65 \text{ м}^3/\text{ч}$*

*Fig. 2. Experimental distribution of temperature fields during experimental tests of the supply forced ventilation valve in rooms in cold and warm periods of the year after 15 minutes of opening the supply jet*

*$a - t_{\text{н}} = -32$  °С,  $t_{\text{в}} = 22,1$  °С,  $65 \text{ м}^3/\text{ch}$ ;  $b - t_{\text{н}} = -27,5$  °С,  $t_{\text{в}} = 23,6$  °С,  $55 \text{ м}^3/\text{ch}$ ;  $c - t_{\text{н}} = 27,5$  °С,  $t_{\text{в}} = 22,7$  °С,  $65 \text{ м}^3/\text{ch}$*

Температурное поле измерялось по высоте и длине помещений с шагом 0,1 м. К примеру, температура воздуха на высоте 0,1; 0,5; 1,5; 1,7 м принимает стабильное значение после 15 мин и находится в пределах допустимых значений на расстоянии 0,5 м и далее от наружной стены помещения (рис. 2).

Поля скоростей воздушного потока на всех высотах (рис. 3) находятся в пределах допустимых значений, так как за счет сопротивления воздуха в фильтрах скорость воздушного потока на выходе непосредственно у воздухораспределителя не более 0,22–0,27 м/с, в обслуживаемой зоне скорость воздуха составляет не более 0,2 м/с.

После 20 мин работы приточного устройства на высоте 0,1 м от пола при температуре наружного воздуха  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$  температура воздуха внутри помещения повышается от 14 до 18–23  $^{\circ}\text{C}$  на расстоянии 0,5 м от наружной стены при расходе приточного воздуха 55–65  $\text{m}^3/\text{ч}$  и температуре поверхности отопительного прибора от 75 до 80  $^{\circ}\text{C}$  за счет смешивания конвективной неизотермической струи приточного воздуха устройства с внутренним нагретым воздухом помещения. На высотах 1,5; 1,7 м температура повышается в течение 20 мин от 16 до 23  $^{\circ}\text{C}$  при температуре поверхности отопительных приборов 80  $^{\circ}\text{C}$  (рис. 4).

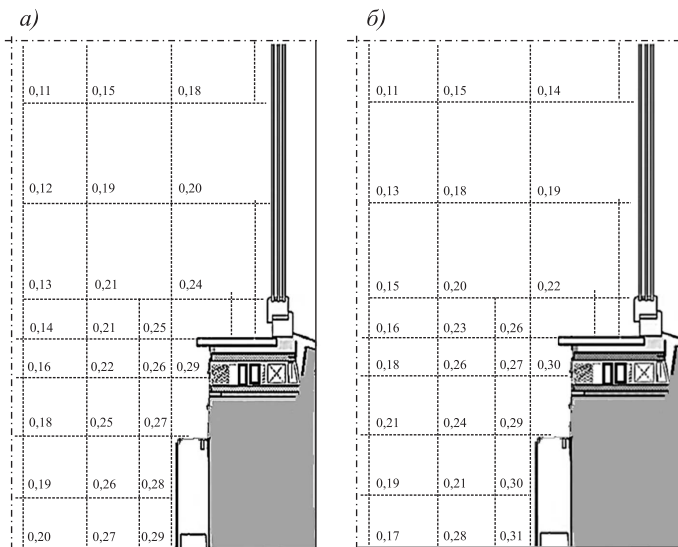


Рис. 3. Экспериментальное распределение скоростных полей по результатам опытных испытаний при работе клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха в холодный и теплый период года после 15 мин работы  
 а –  $t_n = -32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_B = 0,21\text{ м/с}$ ; 65  $\text{m}^3/\text{ч}$ ; б –  $t_n = 27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_B = 0,22\text{ м/с}$ , 65  $\text{m}^3/\text{ч}$

Fig. 3. Experimental distribution of velocity fields based on the results of experimental tests during the operation of the supply forced ventilation valve with air purification in the cold and warm period of the year after 15 minutes of operation  
 а –  $t_n = -32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_B = 0,21\text{ м/с}$ ; 65  $\text{m}^3/\text{ч}$ ; б –  $t_n = 27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_B = 0,22\text{ м/с}$ , 65  $\text{m}^3/\text{ч}$



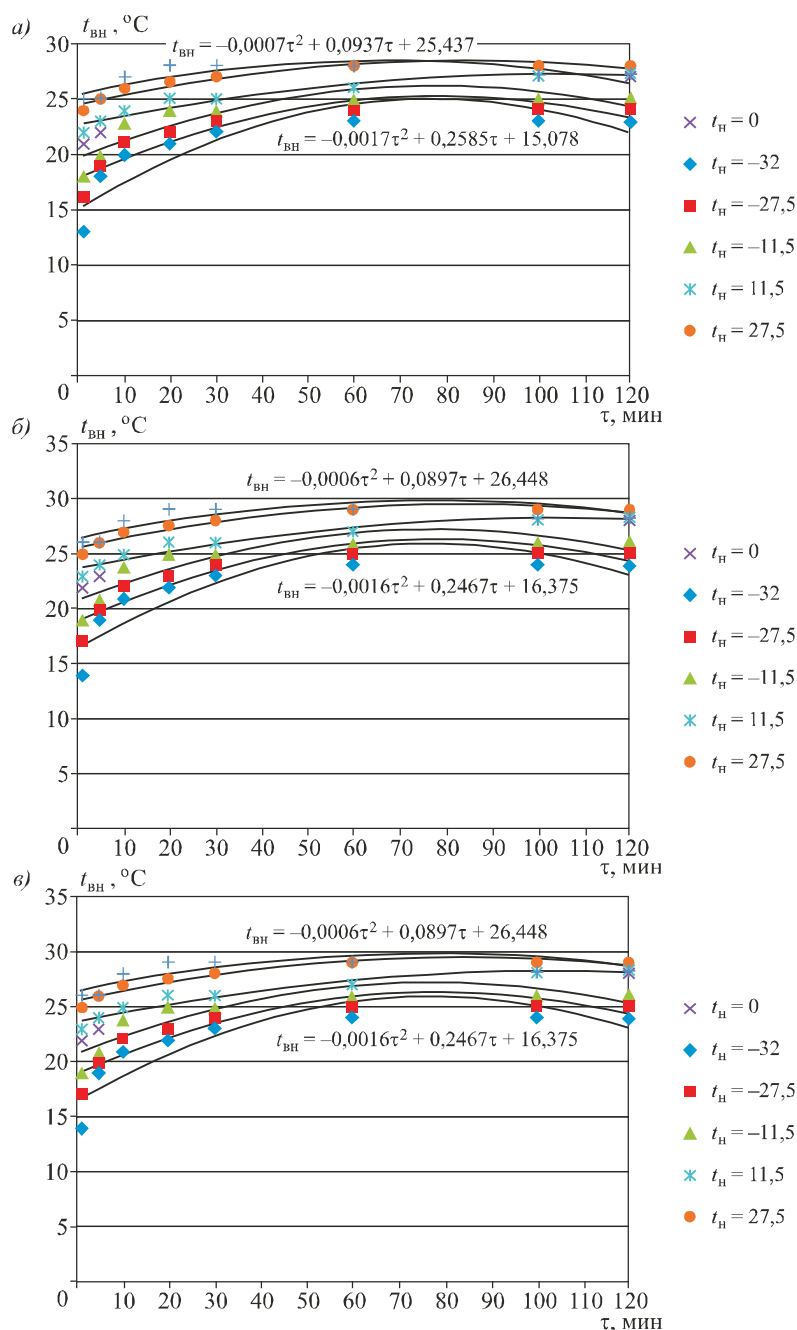


Рис. 4. Результаты экспериментальных исследований изменения температурного режима по высоте помещения при проведении опытных испытаний: открытия приточной струи клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха в течение времени на высоте 1,5 м (а); 1,7 м (б); 0,1 м (в)

Fig. 4. The results of experimental studies of changes in the temperature regime in the height of the room during pilot tests: opening of the supply jet of the valve on the supply ventilation with air purification during the time at a height of 1,5 m (a); 1,7 m (b); 0,1 m (c)

При температуре наружного воздуха  $-11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  температура поднимается от  $17$  до  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  после  $15$  мин работы клапанов. После  $20$  мин температурное поле на всех высотах помещения достигает стабильного значения и отвечает нормативным требованиям микроклиматических параметров внутри помещений.

При положительной температуре наружного воздуха  $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  на высоте  $1,7$  м от пола на расстоянии  $0,5$  м от наружной стены температура составила  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  до стабильной температуры внутри помещения  $26\text{--}27\text{ }^{\circ}\text{C}$  при расходе воздуха  $95$  до  $120\text{ м}^3/\text{ч}$  после  $15$  мин работы устройства. При правильном режиме вытяжной вентиляции после  $15$  мин работы устройства температура и скорость воздуха в помещении соответствуют допустимым значениям.

Уменьшение расхода приточного воздуха на  $30\text{--}19\text{ м}^3/\text{ч}$  за счет авторегулирования клапанов (встроенного программатора, таймера по времени суток, сезонов года) в зависимости от качества наружного воздуха и параметров приточного воздуха снижает влияние приточной струи на температурный режим внутри помещения и приводит к повышению средней температуры воздуха на  $1,6\text{--}2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  в холодный период года (рис. 5).

На основании расчета по полученным уравнениям с помощью программного обеспечения [13, 14] для клапанов при температуре наружного воздуха  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$  расход подаваемого воздуха изменяется от  $55$  до  $65\text{ м}^3/\text{ч}$ , при температуре наружного воздуха  $-27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  расход воздуха от  $65$  до  $75\text{ м}^3/\text{ч}$ ; при  $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  от  $95$  до  $100\text{ м}^3/\text{ч}$ , при  $27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  от  $105$  до  $120\text{ м}^3/\text{ч}$  соответственно (см. рис. 5). По времени суток расход приточного воздуха (см. табл. 2) меняется автоматически и регулируется с помощью блока управления встроенного в оголовок клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха на основе уравнений

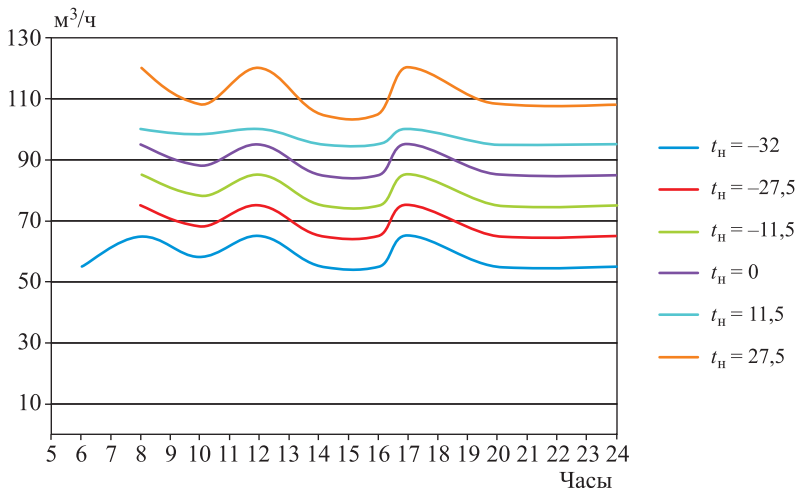


Рис. 5. Авторегулирование клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха по времени суток и сезонам года в зависимости от температуры наружного воздуха и концентраций загрязнителей от автотранспорта

Fig. 5. Auto-regulation of the supply ventilation valve with air purification according to the time of day and seasons of the year, depending on the outdoor air temperature and concentrations of pollutants from motor vehicles

(5)–(8) для расчета концентраций загрязнителей внутри помещений в зависимости от степени загрязнения наружного воздуха газообразными веществами по высоте зданий.

Для примера приведены экспериментальные измерения при опытных испытаниях при открытии клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха в холодный и теплый периоды года по высоте помещения на уровне 0,5 м от поверхности пола и 0,5 м от наружной стены (табл. 3).

**Таблица 3. Результаты экспериментальных измерений при открытии клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха на высоте 0,5 м и от наружной стены 0,5 м**

**Table 3. Results of experimental measurements when opening the supply ventilation valve with air purification at a height of 0,5 m and 0,5 m from the outer wall**

Температура наружного воздуха $t_{н}$ , °C	Температура поверхности отопительного прибора, °C	Время открытия клапана приточной вентиляции, мин	Температура внутри помещения, $t_{вн}$ , °C	Скорость воздуха внутри помещения, м/с
1	2	3	4	5
-32	80	1	14	0,3
-32	80	5	16	0,28
-32	80	10	18	0,2
-32	80	20	19	0,19
-32	80	30	21	0,18
-32	80	60	24	0,18
-32	80	100	24	0,18
-32	80	120	24	0,18
-27,5	80	1	+17	0,3
-27,5	80	5	18	0,28
-27,5	80	10	19	0,2
-27,5	80	20	22	0,17
-27,5	80	30	24	0,16
-27,5	80	60	25	0,15
-27,5	80	100	25	0,15
-27,5	80	120	25	0,15
-11,5	65	1	19	0,2
-11,5	65	5	21	0,19
-11,5	65	10	24	0,18
-11,5	65	20	25	0,17
-11,5	65	30	25	0,17
-11,5	65	60	26	0,16
-11,5	65	100	26	0,16
-11,5	65	120	26	0,16
11,5	–	1	23	0,4
11,5	–	5	24	0,3

1	2	3	4	5
11,5	–	10	25	0,2
11,5	–	20	26	0,18
11,5	–	30	26	0,18
11,5	–	60	27	0,18
11,5	–	100	28	0,18
11,5	–	120	28	0,18
27,5	–	1	25	0,4
27,5	–	5	26	0,3
27,5	–	10	27	0,2
27,5	–	20	27,5	0,18
27,5	–	30	28	0,18
27,5	–	60	28	0,18
27,5	–	100	28	0,18
27,5	–	120	28	0,18

По уравнению Я.Б. Зельдовича, Л. Прандтля [1] определены параметры температуры и скорости движения воздуха на оси приточной конвективной неизотермической струи на различных расстояниях от наружной стены помещения, представленные на рис. 6. Геометрические параметры приточной струи от разработанной конструкции клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха с минимальным диаметров 0,1 м: разгонный участок до 0,2 м от наружной стены; переходный участок от 0,2 до 0,5 м; основной участок от 0,5 до 0,6 м. Максимальная толщина пограничного слоя до 0,12 м, разгонного участка 0,2 м, толщина переходного слоя 0,6 м, толщина основного участка до 0,7 м.

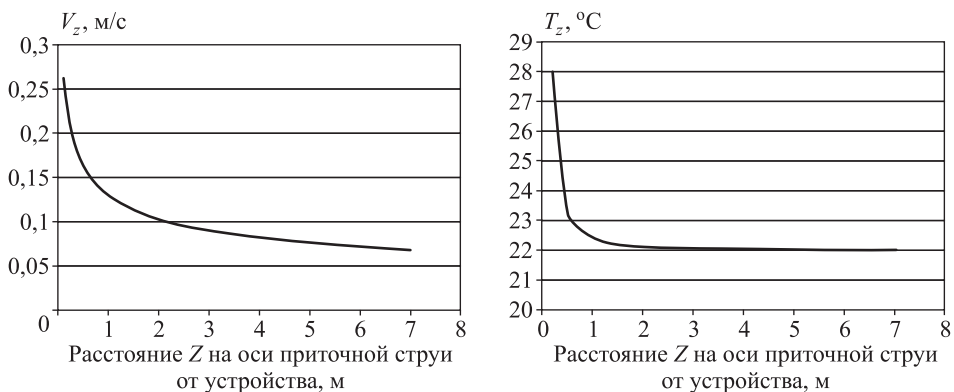
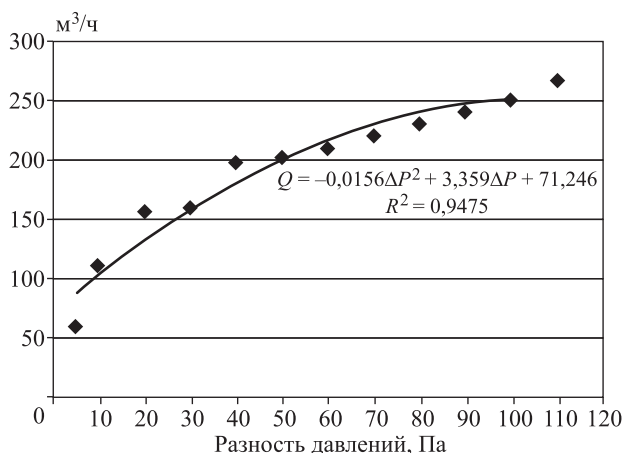


Рис. 6. Результаты моделирования скорости ветра ( $V_z$ ) и температуры воздуха ( $T_z$ ) внутри помещений на оси приточной струи на разных расстояниях от наружной стены с клапаном приточной вентиляции с очисткой воздуха

Fig. 6. The results of modeling the wind speed ( $V_z$ ) and indoor air temperature ( $T_z$ ) on the supply jet axis at different distances from the outer wall with a supply ventilation valve with air purification



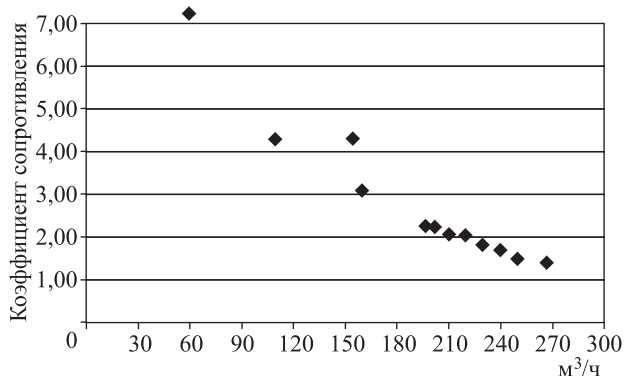
*Рис. 7.* Зависимость расхода приточного воздуха клапана от разности давлений

*Fig. 7.* Dependence of the supply air flow rate of the valve on the pressure difference

Полученный метод расчета обоснования параметров клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха (см. табл. 2) реализован в программном обеспечении, которое позволяет подобрать технические и физико-химические характеристики загрузок фильтров разработанного устройства в зависимости от качества наружного воздуха и необходимого расхода приточного воздуха от 55 до 300 м³/ч [13]. Результаты моделирования избыточных параметров температуры и скорости на оси приточной конвективной струи показали высокую сходимость с результатами экспериментальных данных внутри помещений до 5–7 %.

При опытных испытаниях аэродинамических характеристик разработанных клапанов приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха получена зависимость расхода приточного воздуха от разности давлений (рис. 7).

По результатам испытаний (рис. 8) получен коэффициент сопротивления воздуха внутри клапанов приточной вентиляции от расхода приточного воз-



*Рис. 8.* Величина коэффициента сопротивления воздуха внутри клапана в зависимости от расхода приточного воздуха

*Fig. 8.* The value of the air resistance coefficient inside the valve depending on the supply air flow rate

духа, что необходимо при обосновании выбора параметров комплектующих клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха.

Разработанное техническое решение клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха внедрено в практику проектирования приточных устройств систем вентиляции многоэтажных зданий на основе использования предложенного метода и алгоритма расчета параметров приточных устройств по высоте зданий и программного обеспечения [13, 14].

**4. Выводы.** 1. Разработан алгоритм расчета параметров клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха от газообразных загрязнителей в зависимости от степени загрязнения наружного воздуха: получена величина минимально необходимого диаметра приточных клапанов в зависимости от расхода воздуха и технических, и физико-химических характеристик загрузок фильтров, последовательно расположенных в клапанах (шунгит + цеолит); получены уравнения необходимого расхода приточного воздуха, толщины и массы загрузки фильтров клапанов. Исходными данными для расчета являются физико-химические параметры загрузки: плотность; размер фракций, мм; необходимое время работы клапана; диаметр пластиковой трубы; концентрация загрязнителя в наружном воздухе по высоте здания.

2. Геометрические параметры приточной струи от разработанной конструкции клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха с минимальным диаметров 0,1 м: разгонный участок до 0,2 м от наружной стены; переходный участок от 0,2 до 0,5 м; основной участок от 0,5 до 0,6 м. Максимальная толщина пограничного слоя до 0,12 м, разгонного участка 0,2 м, толщина переходного слоя 0,6 м, толщина основного участка до 0,7 м.

3. Проведены опытные испытания температурного и скоростного режима в помещении при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в теплый и холодный периоды года:

после 20 мин работы приточного устройства на высоте 0,1 м от пола при температуре наружного воздуха  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$  температура воздуха в помещении повышается от 14 до 18–23  $^{\circ}\text{C}$  на расстоянии 0,5 м от наружной стены при расходе приточного воздуха от 55–65 м<sup>3</sup>/ч, температуре поверхности отопительного прибора от 75 до 80  $^{\circ}\text{C}$ . На высотах 0,5; 1,7 м температура поднимается в течение 20 мин от 16 до 23  $^{\circ}\text{C}$  при температуре поверхности отопительных приборов 80  $^{\circ}\text{C}$ . При температуре наружного воздуха  $-11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  температура повышается от 17 до 24  $^{\circ}\text{C}$  после 15 мин работы. После 20 мин температурное поле на всех высотах помещения достигает стабильного значения и отвечает нормативным требованиям микроклиматических параметров внутри помещений;

поля скоростей ветра на всех высотах находятся в пределах допустимых значений и выравниваются после 15 мин работы устройства, так как за счет сопротивления воздуха в фильтрах скорость воздуха на выходе непосредственно у воздухораспределителя не более 0,22–0,27 м/с;

при последовательной очистке приточного воздуха через фильтры клапанов «шунгит + цеолит +  $\text{TiO}_2$  + 2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт» в зимний период года эффективность очистки воздуха по оксиду углерода (II) составила от 96,39 до 99,98 %, по фенолу 96,39–97,89 %, по формальдегиду

от 95,76–97,78 %, по углеводородам алифатическим (C1–C5) 93,13–95,12 %. В летний период года: по оксиду углерода (II) до 99,9 %, по фенолу от 88 до 93 %, по формальдегиду от 89 до 95 %, по углеводородам алифатическим (C1–C5) до 94 %.

4. Уменьшение расхода приточного воздуха на 30–19 м<sup>3</sup> /ч за счет авторегулирования клапанов (таймера по времени суток, сезонов года в зависимости от качества наружного воздуха и параметров приточного воздуха), снижает влияние приточной струи на температурный режим внутри помещения и приводит к повышению средней температуры воздуха в помещении на 1,6–2,5 °С в холодный период года.

#### Список источников

1. Ливчак В.И. Решения по вентиляции многоэтажных жилых зданий // АВОК. 1999. № 6. С. 21–25.
2. Ливчак И.Ф. Развитие теплоснабжения, климатизации в России за 100 последних лет. М.: Изд-во АСВ, 2004. 66 с.
3. Кутайцева Е.Х. Естественная вентиляция жилых зданий // АВОК. 1999. № 3. С. 14–17.
4. Малявина Е.Г. Воздушный режим высотного здания в течение года // АВОК. 2003. № 6. С. 14.
5. Манжилевская С.Е., Азаров В.Н., Петренко Л.К. Экологическая безопасность в строительстве. Ростов н/Д: ДГТУ, 2020. 122 с.
6. Мусина У.Ш., Оразова Д.Т., Бижанова Г.З., Нурдилданова Б.Е. Очистка выхлопных газов автотранспорта с помощью коксуской шунгитистой породы // Вестник КазНТУ = КазҰТУ ХАБАРШЫСЫ. 2012. № 3. С. 62–66.
7. Duci A., Spyrellis N. Exposure to carbon monoxide in the Athens urban area during commuting // Science of the Total Environment. 2003. Vol. 309, no. 1-3. P. 47–58.
8. Francisco P.W., Jacobs D.E., Targos L., Dixon S.L., Breyse J., Rose W. Ventilation, indoor air quality, and health in homes undergoing weatherization // Indoor Air. 2017. No. 27 (2). P. 463–477.
9. Isiugo K., Jandarov R., Cox J., Chillrud S., Grinshpun S.A., Hyttinen M., Yermakov M., Wang J., Ross J., Reponen T. Predicting Indoor concentrations of black carbon in residential environments // Atmos Environ. 2019. Vol. 201. P. 223–230.
10. Полунин Г.А. Применение ультрафиолетовых светодиодов в фотокаталитических воздухоочистителях для очистки воздуха кабин мобильных машин // Технологии техносферной безопасности. 2012. № 6. С. 12.
11. Пат. 2 744 623 С 1 Российская Федерация, F24F 7/013(2006.01). Клапан приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха / Н.А. Литвинова; заявитель и патентообладатель ТИУ. № 2020121023; заявл. 17.06.2020; опубл. 12.03.2021; Бюл. № 8.
12. Пат. 2 747863 С 1 Российская Федерация, МПК В01D53/04, В01D35/00 В01J 20/06, В01J 20/10. Способ очистки от газообразных загрязнителей приточного воздуха помещений / Н.А. Литвинова; заявитель и патентообладатель: Литвинова Н.А. № 2020136575; заявл. 06.11.2020; опубл. 17.05.2021; Бюл. № 14.
13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020660657. Расчет и обоснование технических характеристик сорбентов в клапанах приточной принудительной вентиляции зданий в условиях повышенного загрязнения атмосферы / Н.А. Литвинова; заявитель и патентообладатель Н.А. Литвинова. № 2020619903; заявл. 30.08.2020; опубл. 09.09.2020. 1 с.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022610810. Расчет концентраций загрязнителей внутри помещений многоэтажных зданий по времени суток от автотранспортных магистралей в городской среде / Н.А. Литвинова, В.Н. Азаров; заявитель и патентообладатель Н.А. Литвинова. № 2021682453; заявл. 29.12.2021; опубл. 17.01.2022. 1 с.

### References

1. *Livchak V.I.* Solutions for ventilation of multi-storey residential buildings. *AVOK = AVOK*. 1999; (6): 21–25. (In Russ.).
2. *Livchak I.F.* Development of heat supply, air conditioning in Russia over the last 100 years. Moscow, 2004. 66 p. (In Russ.).
3. *Kitaytseva E.H.* Natural ventilation of residential buildings. *AVOK=AVOK*. 1999; (3): 14–17. (In Russ.).
4. *Malyavina E.G.* The air regime of a high-rise building during the year. *AVOK=AVOK*. 2003; (6): 14. (In Russ.).
5. *Manzhilevskaya S.E., Azarov V.N., Petrenko L.K.* Environmental safety in construction. Rostov-on-Don: DSTU, 2020. 122 p. (In Russ.).
6. *Musina U.Sh., Orazova D.T., Bizhanova G.Z., Nurdildanova B.E.* Cleaning of vehicle exhaust gases with the help of the Koksju shungite rock. *Vestnik KazNTU = KazUTU KHABARSHYSY*. 2012; (3): 62–66. (In Russ.).
7. *Duci A.* Exposure to carbon monoxide in the Athens urban area during commuting. *Science of the Total Environment*. 2003; 309 (1-3): 47–58.
8. *Francisco P.W., Jacobs D.E., Targos L., Dixon S.L., Breysse J., Rose W.* Ventilation, indoor air quality, and health in homes undergoing weatherization. *Indoor Air*. 2017; 27 (2): 463–477.
9. *Isiugo K., Jandarov R., Cox J., Chillrud S., Grinshpun S.A., Hyttinen M., Yermakov M., Wang J., Ross J., Reponen T.* Predicting Indoor Concentrations of Black Carbon in Residential Environ-ments. *Atmos Environ*. 2019; (201): 223–230.
10. *Polunin G.A.* The use of ultraviolet LEDs in photocatalytic air purifiers for cleaning the air of mobile car cabins. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti = Technosphere safety technologies*. 2012; (6): 12. (In Russ.).
11. Pat. 2 744 623 P 1 Russian Federation, F24F 7/013(2006.01). Forced air supply ventilation valve with air purification / N.A. Litvinova; applicant and patent holder of TIU. No. 2020121023; appl. 17.06.2020; publ. 12.03.2021. Bull. No. 8. (In Russ.).
12. Pat. 2 747863 From 1 Russian Federation, IPC B01D53/04, B01D35/00 B01J 20/06, B01J 20/10. Method of purification from gaseous pollutants in the indoor air. N.A. Litvinova; applicant and patent holder Litvinova N.A. No. 2020136575; appl. 06.11.2020; publ. 17.05.2021. Bull. No. 14. (In Russ.).
13. Certificate of state registration of the computer program 2020660657. Calculation and justification of the technical characteristics of sorbents in the valves of supply forced ventilation of buildings in conditions of increased atmospheric pollution. N.A. Litvinova; applicant and patent holder N.A. Litvinova. No. 2020619903; appl. 30.08.2020; publ. 09.09.2020. 1 p. (In Russ.).
14. Certificate of state registration of the computer program 2022610810. Calculation of concentrations of pollutants inside the premises of multi-storey buildings by time of day from highways in the urban environment. N.A. Litvinova, V.N. Azarov; applicant and patent holder N.A. Litvinova. No. 2021682453; appl. 29.12.2021; publ. 17.01.2022. 1 p. (In Russ.).



**Информация об авторах**

**Н.А. Литвинова** – кандидат технических наук, профессор, litvinovana@tyuiu.ru

**В.Н. Азаров** – доктор технических наук, профессор, azarovpubl@mail.ru

**Information about the authors**

**N.A. Litvinova** – PhD, Professor, litvinovana@tyuiu.ru

**V.N. Azarov** – DSc, Professor, azarovpubl@mail.ru

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.02.2022  
Одобрена после рецензирования 28.03.2022  
Принята к публикации 04.04.2022

The article was submitted 28.02.2022  
Approved after reviewing 28.03.2022  
Accepted for publication 04.04.2022