

Эффективное применение клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха в многоэтажном строительстве

Н.А. Литвинова

Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Аннотация: Получены уравнения множественной регрессии качества воздуха от факторов, воздействующих от внешних источников выброса в городской среде. Разработан опытный образец клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха, размещенный в наружной стене здания, с использованием различных сорбентов совместно с фотокаталитическим фильтром (тонкая пористая пластина, покрытая диоксидом титана рядом с двумя УФ-лампами, УФ-А диапазона, 365 нм, по 6 Вт каждая). Проведены натурные исследования пяти вариантов очистки приточного воздуха. Высокое качество очистки наружного воздуха от загрязнителей имеет вариант: шунгит; цеолит; силикагель; фотокаталитический фильтр, эффективность очистки его составила по оксиду углерода (II) от 96,39-99,98%, по фенолу от 96,39-97,89%, по формальдегиду от 95,76-97,78%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) от 93,97-95,12%. Полученные результаты можно использовать в многоэтажном строительстве.

Ключевые слова: клапан приточной принудительной вентиляции, опытный образец, загрязняющие вещества, сорбент, шунгит, цеолит, силикагель, фотокаталитический фильтр.

Введение

В настоящее время актуальным в жилищном строительстве является строительство высотных зданий с использованием клапанов с приточной принудительной вентиляцией. Однако в городской среде при возрастающем количестве внешних источников выброса невозможно предсказать величину концентраций загрязняющих веществ органической и неорганической природы по всей высоте здания в наружном воздухе, что приведет к еще большему загрязнению внутреннего воздуха внутри помещения.

На сегодняшний день при проектировании зданий в городской среде применяют следующие виды клапанов: естественные, с принудительной вентиляцией, с очисткой воздуха. Одним из распространенных в жилищном строительстве и простых по конструкции приточных клапанов является клапаны, которые устанавливаются в оконные рамы и предназначены для автоматической очистки воздуха в помещении на протяжении 24 часов в

сутки, то есть постоянно, а также клапаны, монтируемые под оконным проемом в наружной стене здания. Так, известен клапан инфильтрации воздуха (КИВ-М) [1], клапан приточной вентиляции и другие [2-4].

Существуют также приборы и клапаны для принудительного проветривания помещений с очисткой воздуха: воздухообменный клапан, стенной проветриватель [3], прибор для принудительного проветривания помещений [4].

Основным недостатком является то, что такие клапаны и устройства могут привести к значительному загрязнению воздуха помещения газообразными органическими и неорганическими веществами при расположении помещения в зданиях в районах с оживленными транспортными магистралями и другими внешними источниками выброса [5-7].

При анализе литературных источников выяснено, что стоимость приточных установок с очисткой воздуха достаточно высокая, при этом, если применять их в многоэтажном жилищном строительстве на каждом этаже здания стоимость в разы увеличивается [8-9].

Цель исследований – повышение качества очистки приточного воздуха от газообразных неорганических и органических загрязняющих веществ, поступающего в помещение с помощью клапана приточной принудительной вентиляции, расположенного в наружной стене в зданиях городской среды в зависимости от загрязнения атмосферы по высоте здания от внешних источников выбросов.

Задачи исследований: 1. Получить уравнение множественной регрессии зависимости концентрации загрязняющих веществ от нескольких факторов, воздействующих от внешних источников загрязнения наружного воздуха по высоте здания (высоты выброса, расстояния от источника до

здания, высоты здания, интенсивности магистрали, расстояния магистрали до здания). 2. Разработать опытный образец клапана приточной принудительной вентиляции по повышению эффективности очистки приточного воздуха, поступающего в помещения зданий. 3. Провести натурные исследования для выбора варианта очистки приточного воздуха от загрязняющих веществ в приточных клапанах систем вентиляции (оксид углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических).

Материалы и методы

По результатам многолетних натурных исследований качества наружного воздуха по высоте всего здания, выяснено, что на концентрацию газообразных примесей по высоте здания в наружном воздухе от высотных источников (труб котельных) оказывают влияние следующие факторы: высота источника ($H_{и}$), высота самого здания (H), высота от поверхности земли (h), расстояние от устья трубы до здания (R) [10]. Однако нет уравнения многофакторной регрессии, которое позволит спрогнозировать качество наружного воздуха при различных значениях факторов внешних источников загрязнения, влияющих на концентрацию наружного воздуха по высоте здания.

В связи на первом этапе работы построено уравнение многофакторной регрессии зависимости величины концентрации оксида углерода (II) CO (продукта неполного сгорания всех видов топлив) от высоты источника ($H_{и}$), высоты самого здания (H), высоты от поверхности земли (h), расстояния от устья трубы до здания (R). Также построено уравнение зависимости концентрации (c) оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических от интенсивности автотранспортной магистрали (I), расстояния от магистрали до здания, высоты от поверхности земли, высоты здания. Кроме того, данные уравнения можно использовать не

только при проектировании вновь строящихся зданий, но и уже существующих и понять на какой высоте необходимо очистка воздуха в приточных клапанах, размещаемых в наружной стене здания. Также можно предсказать, на какой высоте здания очистка воздуха нецелесообразна, что значительно снизит затраты на приобретение клапанов систем вентиляции с очисткой приточного воздуха.

Для решения данных задач в качестве загрязнителей были выбраны оксид углерода (II), также органические вещества фенол, формальдегид, углеводороды алифатические (C1-C5) [10]. Данные вещества присутствуют в наружном воздухе многих крупных городов России, в том числе и на территории Западной Сибири, в частности и в г. Тюмени.

После того как выяснили, на какой высоте необходимо проводить очистку воздуха, на втором этапе исследования, разработан опытный образец клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха, который монтируется в наружной стене здания для исследования различных вариантов сорбентов совместно с фотокаталитическим фильтром. Фотокаталитический фильтр состоял из пористой пластины, покрытой диоксидом титана (TiO_2), двух УФ-ламп с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт, расположенных вертикально. Пластина из диоксида титана (TiO_2) имела круглые отверстия (поры) диаметром 1 мм с шагом 1 мм, расположена на расстоянии 1 см от УФ-ламп. В опытном образце клапана также предусмотрен выключатель для УФ-ламп.

Опытный образец клапана приточной вентиляции состоял из (рис.1):

1. пластикового воздуховода диаметром 100 мм, длина принималась в зависимости от толщины наружной стены здания;
2. осевого вентилятора, производительностью $300 \text{ м}^3/\text{ч}$;

3. последовательно размещенных фильтров с сорбентами внутри пластикового воздуховода с решеткой с сеткой со стороны улицы от попадания твердых частиц, насекомых и т.п., толщина сорбционного слоя 20 мм (количество фильтров можно менять);

4. фотокаталитического фильтра.

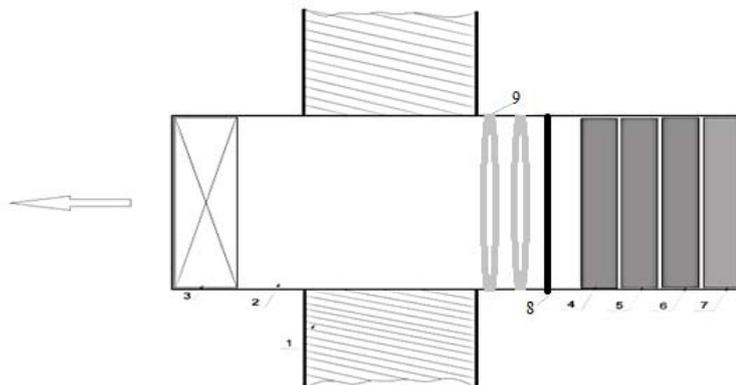


Рис. 1. – Опытный образец клапана, монтируемый в наружной стене здания, для очистки приточного воздуха: 1 – наружная стена здания; 2 – пластиковый воздуховод; 3 – осевой вентилятор; 4,5,6,7 – фильтры с сорбентами; 8 – пористая пластина, покрытая диоксидом титана (TiO_2); 9 – УФ-лампы (2 шт.), 365 нм, 6 Вт

Для исследования на опытном образце (приточного клапана) выбрано несколько вариантов для проверки эффективности очистки приточного воздуха в помещение:

1 – последовательно расположенные фильтры внутри пластикового воздуховода: фильтр с шунгитом; фильтр с силикагелем; фотокаталитический фильтр;

2 – активированный уголь; силикагель; фотокаталитический фильтр;

3 – цеолит; силикагель; фотокаталитический фильтр;

4 – шунгит; цеолит; силикагель; фотокаталитический фильтр;

5 – силикагель+ фотокаталитический фильтр.

Толщина слоя всех сорбентов в различных вариантах исследования составила 20 мм.

Вследствие того, что при работе клапана может изменяться влажность наружного воздуха, то помимо сорбентов обладающих сорбционными свойствами в опытном образце клапана использовался сорбент для уменьшения избытка влаги в помещении (силикагель технический). Кроме того, известно, что силикагель также обладает сорбционными свойствами к газообразным загрязнителям органической и неорганической природы [10].

При проведении натурных исследований использовались сертифицированные приборы: газоанализатор Палладий 3М, газоанализатор Testo-340, газоанализатор ГАНК-4; УФ-радиометр «ТКА-ПКМ», анемометр Testo-325; термогигрометр Ива-6.

Опытный образец (клапан приточной принудительной вентиляции с фильтрацией) монтировали в наружной стене здания первого этажа в помещении объемом 40 м³ жилого здания г. Тюмени.

Воздух подавался в опытный образец клапана по воздуховоду от выхлопной трубы легкового автомобиля (190 л/с) на холостом ходу.

В экспериментальных исследованиях одновременно отбирались пробы оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5) снаружи и внутри помещения здания.

Результаты и обсуждение

В результате планирования эксперимента и на основании многолетних исследований с 2008-2019 гг. [10] на первом этапе работы получено уравнение множественной регрессии (1) для расчета концентрации оксида углерода (II) от высотных источников выброса (от котельных, объектов теплоэнергетики малой мощности):

$$C = 5,6671 + 0,2073N_{и} - 0,09971H - 0,01252R - 0,0366h, \quad (1)$$

где $N_{и}$ – высота источника, м; H – высота здания, м; R – расстояние от источника до здания, м; h – высота от поверхности земли, м.

Так как от автотранспорта в наружном воздухе могут присутствовать и вещества органической природы, то концентрацию загрязнителя целесообразней представить в безразмерном виде по высоте здания по отношению к максимальной концентрации ($\frac{c}{c_{max}}$). Тогда если получаем $\frac{c}{c_{max}} = 1$, то концентрация загрязнителя максимальна на определенной точке высоты здания. Аналогичным образом получено уравнение множественной регрессии (2) для расчета величины концентрации оксида углерода (II) от автотранспорта:

$$\frac{c}{c_{max}} = 0,6708 - 0,00545 \frac{R}{R_{max}} + 0,00021 \cdot I - 0,196 \frac{h}{H}, \quad (2)$$

где $\frac{c}{c_{max}}$ – отношение концентрации загрязнителя к его максимальной концентрации по высоте здания; $\frac{R}{R_{max}}$ – отношение расстояния от магистрали до здания к максимальному расстоянию, на котором обнаружена концентрация от магистрали (100), м; I – интенсивность автотранспорта, авт./час; $\frac{h}{H}$ – отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания.

Для других газообразных веществ в наружном воздухе от автотранспорта проведен расчет объемной доли газов в процентах (%) каждого загрязнителя в наружном воздухе в смеси газов в зависимости от измеренной максимальной концентрации по высоте здания в наружном воздухе, молярной массы газа (г/моль) и количества вещества (моль) i -загрязнителя в смеси газов.

Результаты расчетов составили, что объемная доля газов в наружном воздухе здания при максимальной концентрации загрязнителей составляет: по оксиду углерода (II) – 28,40%; по углеводородам алифатическим – 60,174%; по фенолу - 2,64%; по формальдегиду – 8,779%. Таким образом, уравнения множественной регрессии по остальным газообразным загрязнителям (3)-(5) имеют вид:

- для углеводородов алифатических (C1-C2):

$$\frac{c}{c_{max}} = 2,119 \cdot \left(0,6708 - 0,00545 \frac{R}{R_{max}} + 0,00021 \cdot I - 0,196 \frac{h}{H} \right); \quad (3)$$

- для фенола:

$$\frac{c}{c_{max}} = 0,09296 \cdot \left(0,6708 - 0,00545 \frac{R}{R_{max}} + 0,00021 \cdot I - 0,196 \frac{h}{H} \right); \quad (4)$$

- для формальдегида :

$$\frac{c}{c_{max}} = 0,30912 \cdot \left(0,6708 - 0,00545 \frac{R}{R_{max}} + 0,00021 \cdot I - 0,196 \frac{h}{H} \right), \quad (5)$$

где $\frac{c}{c_{max}}$ – отношение концентрации загрязнителя к его максимальной концентрации по высоте здания; $\frac{R}{R_{max}}$ – отношение расстояния от магистрали до здания к максимальному расстоянию, на котором обнаружена концентрация от магистрали (100), м; I – интенсивность автотранспорта, авт./час; $\frac{h}{H}$ – отношение высоты от поверхности земли к высоте здания.

Если по результатам прогноза путем расчета концентрация газообразной примеси будет превышать допустимую норму или отношение безразмерной величины $\frac{c}{c_{max}}$ будет больше 0,5, то на этой высоте будет необходима очистка воздуха в клапанах приточной принудительной вентиляции.

По результатам отбора проб оценены средние значения концентраций оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических с

помощью опытного образца снаружи и внутри помещения при различных вариантах исследования (табл.1).

Таблица № 1

Оценка концентраций (С) загрязняющих веществ снаружи и внутри помещения с использованием опытного образца клапана

№ варианта	снаружи оксид углерода (II) - ₃ мг/м ³	внутри оксид углерода (II), мг/м ³	углеводородов алифатических снаружи, мг/м ³	углеводородов внутри помещения, мг/м ³	снаружи фенола, мг/м ³	внутри фенола, мг/м ³	снаружи формальдегид, мг/м ³	внутри формальдегид, мг/м ³
1	42,56	3,0	83	8,3	4,43	0,1	0,45	0,05
	41,43	2,9	82	7,5	4,58	0,12	0,43	0,056
	38,78	3,1	80	6,5	4,13	0,18	0,33	0,04
2	42,56	9,375	83	40,5	4,43	2,2	0,45	0,2
	41,43	9,15	82	42,5	4,58	2,12	0,43	0,18
	38,78	10,5	80	43	4,13	2,25	0,33	0,19
3	42,56	6,29	83	30,5	4,43	1,9	0,45	0,05
	41,43	5,3	82	32,4	4,58	1,8	0,43	0,06
	38,78	5,2	80	33,1	4,13	1,9	0,33	0,07
4	42,56	0,01	83	5	4,43	0,16	0,45	0,01
	41,43	0,05	82	4	4,58	0,14	0,43	0,015
	38,78	1,4	80	5,5	4,13	0,1	0,33	0,014
5	42,56	15	83	45	4,43	2,3	0,45	0,3
	41,43	14	82	46	4,58	2,5	0,43	0,35

	38,78	11	80	47	4,13	2,4	0,33	0,28
--	-------	----	----	----	------	-----	------	------

Рассчитаны эффективности очистки внутреннего воздуха при различных вариантах исследований, каждый вариант повторялся в трехкратной повторности (рис. 2).

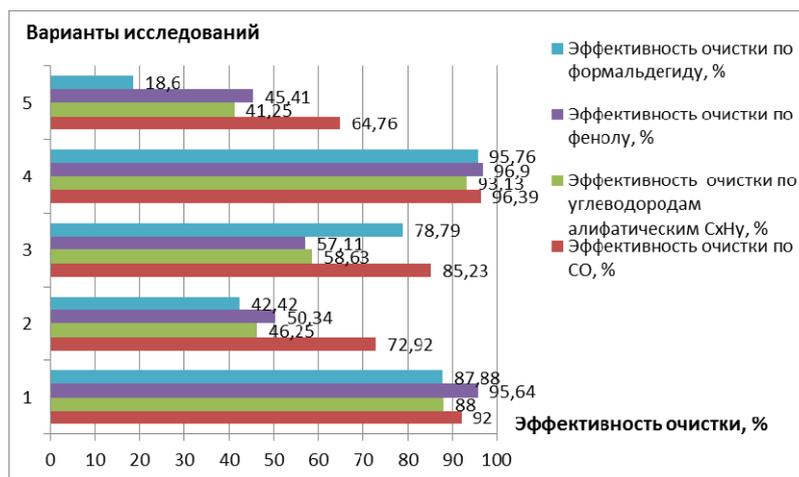


Рис. 2. – Показатели эффективности очистки приточного воздуха по оксиду углерода (II), углеводородам алифатическим (С1-С5), фенолу, формальдегиду при различных вариантах исследований

По результатам натурных исследований (рис.2) самую высокую эффективность очистки показал четвертый вариант очистки приточного воздуха в опытном образце: шунгит; силикагель; цеолит; пористая пластина диоксида титана и две УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт: эффективность очистки по оксиду углерода (II) составила от 96,39% до 99,98%, по фенолу от 96,39-97,89%, по формальдегиду от 95,76-97,78%, по углеводородам алифатическим (С1-С5) от 93,13-95,12%.

Заключение

1. Получены уравнения множественной регрессии на основании многолетних исследований с 2008-2019 гг. на первом этапе работы для

расчета концентрации газообразной примеси по высоте здания в зависимости от факторов внешних источников выброса.

2. На втором этапе работы проведены натурные исследования и получены данные о выборе варианта очистки воздуха в приточных клапанах системы вентиляции от оксида углерода (II), углеводородов алифатических, фенола, формальдегида с помощью разработанного опытного образца клапана приточной принудительной вентиляции, монтируемого в наружной стене здания городской среды на примере г. Тюмени.

3. Подобран эффективный вариант с использованием сорбентов для клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха. Результаты исследований на опытном образце клапана показали, что наиболее эффективно применять четвертый вариант очистки приточного воздуха от газообразных загрязнителей наружного воздуха – сорбенты совместно с фотокаталитическим фильтром: шунгит; цеолит; силикагель; пористая пластина диоксида титана и две УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт: качество очистки приточного воздуха по оксиду углерода (II) составило от 96,39% до 99,98%, по фенолу от 96,39-97,89%, по формальдегиду от 95,76-97,78%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) от 93,13-95,12%.

4. Результаты исследований необходимо использовать для очистки наружного воздуха в системах вентиляции, в частности в приточных клапанах в зданиях городской среды с высоким загрязнением атмосферного воздуха от автотранспорта и высотных источников выброса. Результаты исследований внедрены при строительстве зданий п. Березняковский на территории г. Тюмени, данный жилой поселок находится рядом с оживленными транспортными магистралями интенсивности свыше 1500 авт./час. Проект в 2019 году отмечен дипломом и медалью лауреата



Областной Премии В.И. Муравленко «За мероприятия, направленные на оздоровление окружающей среды».

Литература

1. Клапан инфильтрации воздуха (КИВ-М): пат. 2 400 676 С1 F24 F13/10 Рос. Федерация № 2 400 676 С1 / Демидов М.А.; заявл. 07.04.09; опубл. 27.09.10, Бюл. № 27. 3 с.

2. Клапан приточной вентиляции: пат. 2 523 224 С2 F24 F13/00 Рос. Федерация № 2 523 224 С2 / Дубичев В.П.; заявл. 30.11.12 ; опубл. 20.07.14, Бюл. № 20. 4 с.

3. Стенной проветриватель: пат. 83318 U1 F24F7/04 E04B1/70 Рос. Федерация № 83318 U1 / Клапишевский А.С., Цьомык А.М.; заявл. 01.12.08; опубл. 27.05.09, Бюл. № 21. 5 с.

4. Прибор для принудительного проветривания помещений, фильтрующий приточный воздух: пат. 54659 U1 F24F 7/013 Рос. Федерация № 54659 U1 / Провадкин Г.Г.; заявл. 01.03.2005; опубл. 10.07.06, Бюл. № 15. 4 с.

5. Галкина Н.И. Моделирование процесса прогноза и повышения надежности работы системы вентиляции // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2086.

6. Лысова Е.П. Выбор критериев оценки эффективности мероприятий по обеспечению экологической безопасности предприятий топливно-энергетического комплекса // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1965.

7. Malyavina E., Agakhanova K. Computational study of a natural exhaust ventilation system during the heating period // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies

EMMFT 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing Advances in Intelligent Systems and Computing. Voronezh, 2019, vol. 982, pp. 116-124.

8. Pukhkal V., Vatin N., Murgul V. Central ventilation system with heat recovery as one of the measures to upgrade energy efficiency of historic buildings // Applied Mechanics and Materials. 2014. vol. 633-634. pp. 1077-1081.

9. Pukhkal V., Vatin N., Murgul V. Centralized natural exhaust ventilation systems use in multi-story residential buildings // Applied Mechanics and Materials. 2014. vol. 680. pp. 529-533.

10. Литвинова Н.А. Улучшение качества воздушной среды помещений с учетом качества наружного воздуха: монография. Тюмень: ТИУ, 2019. 160 с.

References

1. Klapан infil'tracii vozduha (KIV-M) [Air infiltration valve (KIV-M)]: pat. 2 400 676 S1 F24 F13 10 Ros. Federacija № 2 400 676 S1 Demidov M.A.; zajavl. 07.04.09; opubl. 27.09.10, Bjul. № 27. 3 p.

2. Klapан pritočnoj ventiljacii [Supply ventilation valve]: pat. 2 523 224 C2 F24 F13 00 Ros. Federacija № 2 523 224 C2 Dubichev V.P.; zajavl. 30.11.12 ; opubl. 20.07.14, Bjul. № 20. 4 p.

3. Stennoj provetrivatel' [Wall ventilator]: pat. 83318 U1 F24F7 04 E04V1 70 Ros. Federacija № 83318 U1 Klapishevskij A.S., C'omyk A.M.; zajavl. 01.12.08 ; opubl. 27.05.09, Bjul. № 21. 5 p.

4. Pribor dlja prinuditel'nogo provetrivanija pomeshhenij, fil'trujushhij pritochnyj vozduh [Device for forced ventilation of premises, filtering the supply air]: pat. 54659 U1 F24F 7 013 Ros. Federacija № 54659 U1. Provadkin G.G.; zajavl. 01.03.2005; opubl. 10.07.06, Bjul. № 15. 4 p.

5. Galkina N.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2086.



6. Lysova E.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1965.
7. Malyavina E., Agakhanova K. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing Advances in Intelligent Systems and Computing. Voronezh, 2019, vol. 982, pp. 116-124.
8. Pukhkal V., Vatin N., Murgul V. Applied Mechanics and Materials. 2014. vol. 633-634. pp. 1077-1081.
9. Pukhkal V., Vatin N., Murgul V. Applied Mechanics and Materials. 2014. vol. 680. pp. 529-533.
10. Litvinova N.A. Uluchshenie kachestva vozdushnoj sredy pomeshhenij s uchetom kachestva naruzhnogo vozduha: monografija [Improving the quality of the indoor air environment taking into account the quality of the outdoor air]. Tjumen': TIU, 2019. 160 p.