

## Исследование влияния на эффективность очистки приточного воздуха в клапанах приточной системы вентиляции интенсивности ультрафиолетового излучения совместно с послойно расположенными сорбентами

*Н.А. Литвинова<sup>2</sup>, В.Н. Азаров<sup>1</sup>, А.Ф. Шаповал<sup>2</sup>, Р.Я. Брюханова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

<sup>2</sup>*Тюменский индустриальный университет, Тюмень*

**Аннотация:** Данная статья посвящена исследованию влияния фотокаталитического окисления совместно с последовательными послойно расположенными слоями сорбентов (шунгит, целит) на эффективность очистки приточного воздуха помещений от загрязнителей автотранспорта. Исследования проведены с помощью разработанного приточного вентиляционного клапана с очисткой воздуха.

**Ключевые слова:** интенсивность ультрафиолетового излучения, шунгит, цеолит, диоксид титана, предел адсорбции, приточный воздух, клапан вентиляционный.

Применяются на сегодняшний день два способа очистки воздуха: от пылевых дисперсных частиц с использованием противопылевых фильтров, от газообразных загрязнителей – с помощью химических и физических методов очистки воздуха [1 – 3]. Способ очистки фотокаталитический более эффективен для очистки воздуха от органических веществ, которые содержатся в выбросах от автотранспорта [4]. Под действием УФ-излучения, катализаторы способствуют распаду загрязняющих веществ до простых соединений: воды и углекислого газа [4 – 6]. Исследования в лабораторных условиях доказали, что окисление загрязнителей в большинстве случаев происходит под воздействием А – диапазона ультрафиолетового излучения [7 – 9].

Загрязнение твердыми частицами пыли разной дисперсности атмосферного воздуха и воздуха помещений изучено многими авторами [8 – 10]. На сегодняшний день необходимо исследовать последовательное расположение слоев сорбентов (шунгита, цеолита, активированного угля) совместно с фотокаталитическим фильтром разной длины волны УФ-

излучения для очистки приточного воздуха в приточных клапанах систем вентиляции.

Цель работы – исследование влияния интенсивности ультрафиолетового излучения от расстояния от пластины диоксида титана до источника УФ-ламп на эффективность очистки приточного воздуха в вентиляционных клапанах приточной вентиляции с очисткой воздуха.

Задачи: 1. Провести натурные исследования без сорбентов и с сорбентами в определенной их последовательности величины интенсивности УФ-излучения различной длины волны внутри клапана приточной вентиляции. 2. Установить закономерность последовательного расположения слоёв сорбентов совместно с фотокаталитическим фильтром в клапанах приточной вентиляции. 3. Получить зависимость интенсивности УФ-излучения от расстояния от УФ-ламп до пластины диоксида титана внутри конструкции клапанов на эффективность очистки приточного воздуха. 3. Изучить пределы сорбции различных сорбентов от температуры и концентрации загрязнителей в наружном воздухе от автотранспорта.

### **Приборы и методы исследования**

По результатам многолетних экспериментальных данных получена зависимость величины интенсивности УФ-излучения с длиной волны 365 нм от расстояния от УФ-ламп до пластины пористой диоксида титана  $\text{TiO}_2$  совместно с послойно расположенными сорбентами (шунгит, цеолит) для повышения качества очистки приточного воздуха помещений от концентраций загрязнителей: оксида углерода (II), алифатических углеводородов (C1-C5), фенола, формальдегида в клапанах приточной вентиляции зданий с очисткой воздуха от выбросов передвижных источников, расположенных рядом с зданием.

Представлен клапан приточной вентиляции с очисткой наружного воздуха от внешних источников выброса: Клапан приточной принудительной

вентиляции с очисткой воздуха. Литвинова Н.А. Патентообладатель ФГБОУ ТИУ. Патент на изобретение №2 744 623 С 1. заявл.: 17.06.2020; опубл.: 12.03.2021. Бюл. № 8. 7 с (рис.1).

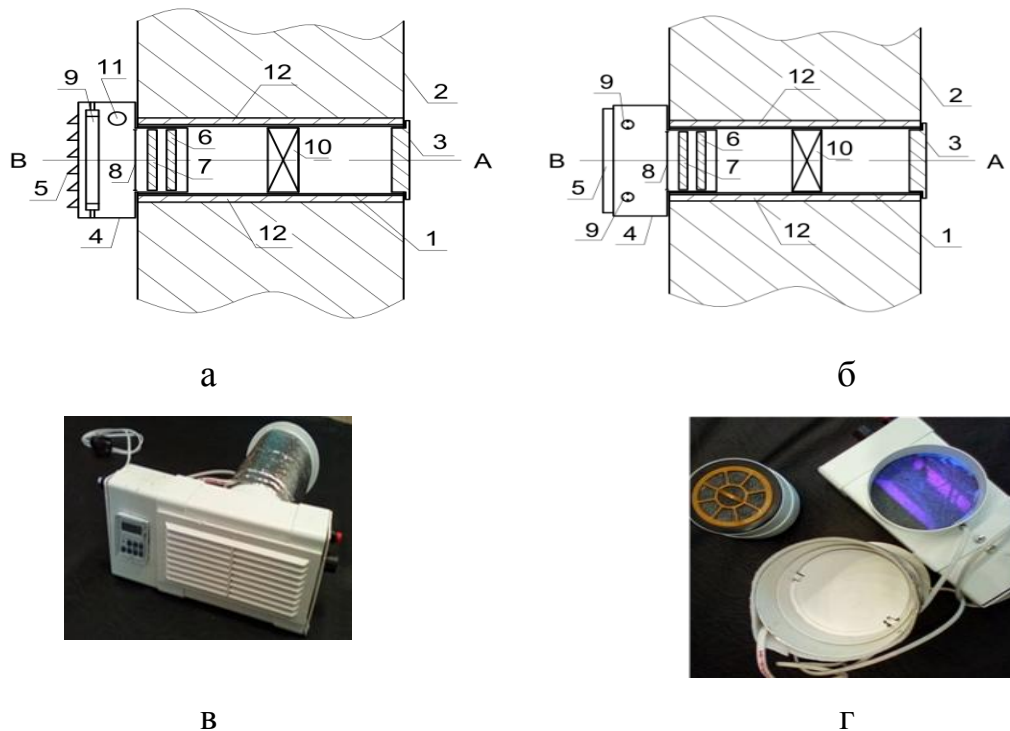


Рис. 1. – Устройство вентиляционного клапана для исследования зависимости УФ-излучения от расстояния до пористой пластины диоксида титана совместно с загрузками фильтров сорбентами: а - вертикальный разрез; б - вид сверху: 1 – воздуховод; 2 – наружная стена; 3 – решетка для защиты от механических загрязнений; 4 – оголовок; 5 – щели воздухораспределителя; 6 – фильтр шунгит (фракции 1-2 мм); 7 – фильтр цеолит (фракции 1-3 мм); 8 – сетка из диоксида титана ( $TiO_2$ ); 9 – 2 УФ-лампы 365 нм (УФ-А); 10 – вентилятор; 11 – регулятор оборотов с механическим и автоматическим выключателем (программатор); 12 – изолон фольгированный

Для проведения экспериментальных исследований проводился эксперимент нескольких вариантов последовательности слоев сорбентов

совместно с фотокаталитическим фильтром разной длины волны УФ-А диапазона и на различных расстояниях от источников УФ-излучения (ламп) до пластины  $TiO_2$ : I эксперимент – 1 ультрафиолетовая лампа и сетка с отверстиями менее 1 мм диоксид титана; II эксперимент – 2 ультрафиолетовые лампы и сетка диоксид титана (менее 1 мм); III эксперимент – адсорбент шунгит, сетка диоксид титана (менее 1 мм), 2 ультрафиолетовые лампы; IV эксперимент – адсорбент активированный уголь, сетка диоксид титана (менее 1 мм), 2 ультрафиолетовые лампы; V эксперимент – адсорбент цеолит, сетка диоксид титана (менее 1 мм) и 2 ультрафиолетовые лампы; VI эксперимент – последовательные слои толщиной до 2 см адсорбентов: шунгит, цеолит, сетка диоксид титана (менее 1 мм), 2 ультрафиолетовые лампы; VII эксперимент – последовательные слои адсорбентов: активированный уголь, цеолит, 2 ультрафиолетовые лампы. Ультрафиолетовые источники излучения (лампы) выбраны для экспериментальных исследований от 6 до 12 Вт.

Величина УФ-излучения разной длины волны (А, В, С) измерялась экспериментально внутри приточного устройства (клапана) с помощью сертифицированного поверенного прибора УФ-метра. Концентрации загрязнителей измерялись газоанализаторами ГАНК и testo-341.

Опытные испытания вентиляционного клапана с очисткой атмосферного воздуха проводили в закрытых помещениях проектируемых строящихся зданиях (объем  $90 \text{ м}^3$ ). Проектируемые здания выбраны рядом с магистралями с высокой интенсивностью движения автотранспорта свыше 2750 авт./час.

Измерения концентраций загрязнителей проводились в часы пик при наибольшей загруженности магистрали автотранспортом с 8 до 9 часов; с 13 до 14 часов, с 17 до 19 часов, при неблагоприятной скорости ветра (1-2 м/с) и направлении.

## Результаты и их обсуждение

Среднесуточные измеренные концентрации загрязнителей снаружи и внутри помещений с 1 по 7 эксперимент представлены на рис. 2 – рис.3.

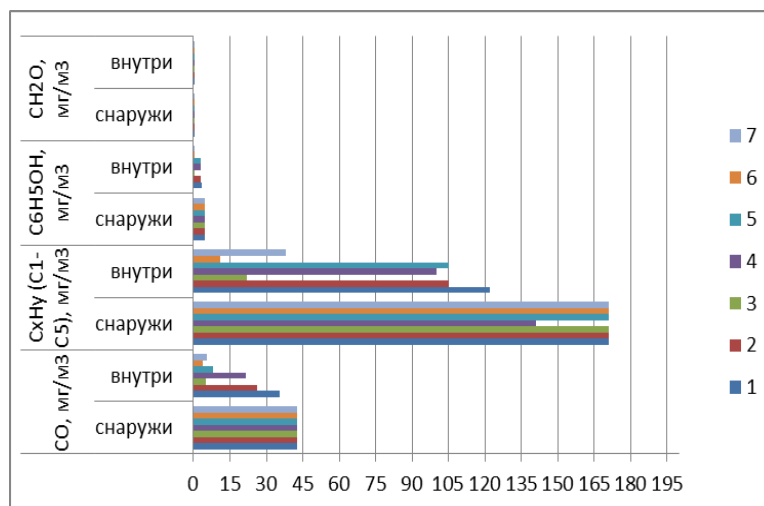


Рис.2. – Среднесуточные концентрации загрязнителей в холодный период года до и после очистки воздуха в клапане (1-7 эксперимент)

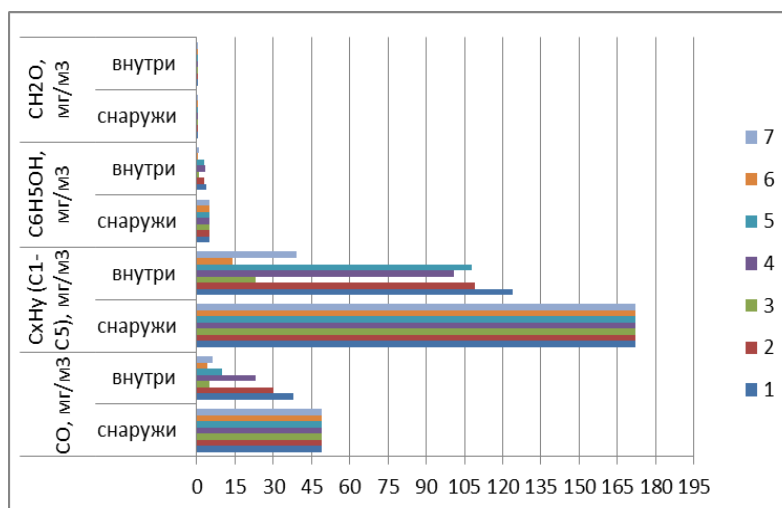


Рис.3. – Среднесуточные концентрации загрязнителей в теплый период года до и после очистки воздуха в клапане (1 по 7 эксперимент)

Нормативные среднесуточные концентрации достигаются только для 6 экспериментального исследования (рис.2-3): последовательные слои

толщиной до 2 см адсорбентов: шунгит, цеолит, сетка диоксид титана (менее 1 мм), 2 ультрафиолетовые лампы (12 Вт).

По результатам экспериментальных исследований с 2017 по 2021 гг. «влияния фотокаталитического окисления загрязнителей на качество очистки поступающего воздуха в помещения совместно с сорбентами» фиксировались концентрации в атмосферном воздухе у зданий и внутри помещений после очистки: фенола  $C_6H_5OH$ , формальдегида  $CH_2O$ , углеводородов алифатических  $C_xH_y(C1-C5)$ , оксида углерода (II)  $CO$  в различные сезоны года.

Для всех проведенных экспериментальных исследований проведен расчет эффекта очистки атмосферного воздуха и представлен в таблице 1.

Таблица №1

Эффект качества очистки от загрязнителей в атмосферном воздухе в холодный (х) и теплый (т) периоды

№ эксперимента	Эффект очистки атмосферного воздуха, %							
	CO		$C_xH_y(C1-C5)$		$C_6H_5OH$		$CH_2O$	
	х	т	х	т	х	т	х	т
I	22,45	16,42	27,91	28,65	26	25,27	24	22,22
II	38,78	38,91	36,63	38,59	38	38,99	32	33,33
III	89,59	88,51	86,63	87,13	84	86,93	84	88,89
IV	56,25	50,16	28,90	29,41	32,69	31,88	83,27	78
V	81,66	58,97	36,99	37,06	42,31	38,86	61,54	54,29
VI	99,88	80,84	90,17	91,18	96,35	96,51	93,27	95,71
VII	88,29	93,81	78,03	78,82	87,5	89,08	82,69	82,86

Максимальное качество очистки атмосферного воздуха от загрязнителей достигается для 6 эксперимента 90,2-99,9% для всех исследуемых периодов года (таблица 1). Измерения интенсивности УФ-излучения на расстояниях от УФ-ламп до пластины диоксида титана представлены на расстояниях 1 см; 1,5 см; 3 см; 5 см.

Результаты экспериментальных исследований УФ-излучения внутри разработанного приточного устройства представлены в таблице 2.

Таблица №2

Экспериментальные исследования величины интенсивности УФ-излучения (Вт/м<sup>2</sup>) от УФ-ламп внутри приточного устройства

Количество УФ-ламп	Расстояние от источника излучения до пластины диоксида титана, см	УФ-излучение, Вт/м <sup>2</sup>		
		УФ-А	УФ-В	УФ-С
1	5	6,3	0,053	0,56
1	5	6,4	0,055	0,59
1	3	5,07	0,044	0,111
1	3	5,05	0,082	0,55
1	1,5	4,2	0,045	0,506
1	1,5	2,09	0,017	0,099
1	1	3,8	0,034	0,406
1	1	1,08	0,016	0,094
2	5	8,6	0,072	0,68
2	5	8,2	0,073	0,67
2	3	6,55	0,054	0,222
2	3	6,45	0,053	0,275
2	1,5	5,44	0,049	0,605
2	1,5	5,43	0,050	0,606

С ростом расстояния от источника УФ-излучения (1 лампа, 6 Вт) до пластины диоксида титана увеличивается интенсивность УФ-излучения: 1,1-6,3 Вт/м<sup>2</sup> УФ-А; 0,016-0,053 Вт/м<sup>2</sup> УФ-В; 0,034-0,56 Вт/м<sup>2</sup> УФ-С. С ростом расстояния от источника УФ-излучения (2 лампы, 12 Вт) до пластины диоксида титана увеличивается интенсивность УФ-излучения: 5,4-8,6 Вт/м<sup>2</sup> УФ-А; 0,05-0,072 Вт/м<sup>2</sup> УФ-В; 0,61-0,68 Вт/м<sup>2</sup> УФ-С (таблица 2). Оптимальным является расстояние 5 см при интенсивности 8,6 Вт/м<sup>2</sup> для

УФ-А излучения, что позволяет достигнуть наибольший эффект очистки поступающего воздуха в помещение до 99,88%.

По результатам обработки экспериментальных данных установлены зависимости (1) - (4) эффективности очистки приточного воздуха ( $\Xi_i$ ) от газообразных загрязнителей от интенсивности УФ-излучения и расстояния до пористой пластины  $TiO_2$ :

$$\Xi_{CO} = 12,43 + 4,30 \cdot I + 8,56 \cdot R, \quad (1)$$

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

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

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

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 фактор  $R$  – расстояние до пластины  $TiO_2$ . Критерий Фишера  $F_{кр}=0,77$ .

Понижение температуры атмосферного воздуха приводит к росту предела адсорбции на шунгите на 0,24 кг/кг для оксида углерода(II)  $CO$ , на 0,24-0,38 кг/кг для органических загрязнений в воздушной среде.

Понижение температуры атмосферного воздуха приводит также к росту предела сорбции на цеолите на 0,25 кг/кг для оксида углерода (II)  $CO$ ; на 0,49 кг/кг для углеводородов  $C_xH_y(C1-C5)$ ; на 0,51 кг/кг для фенола  $C_6H_5OH$ ; на 0,01 кг/кг для формальдегида  $CH_2O$ .

Пределы сорбции доказывают построенные обобщенные изотермы адсорбции Фрейндлиха загрязнителей на поверхности сорбентов газа при диапазоне температур: от -32 °С до 0 °С и 0 °С от +32 °С для сорбентов в клапане приточной вентиляции с очисткой воздуха. Изотермы загрязнителей представлены для разных сорбентов на рис.4, а - рис.4, з.



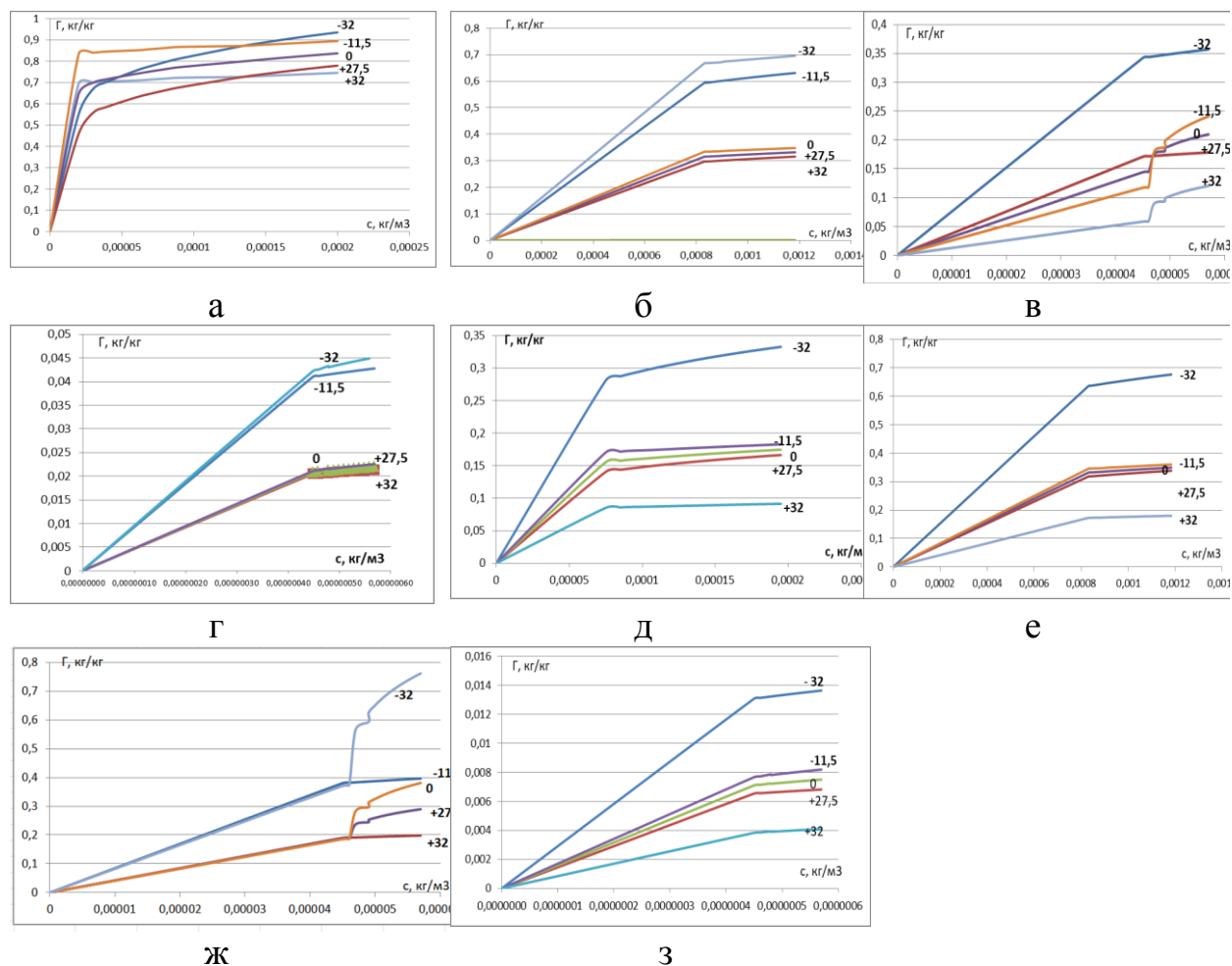


Рис. 4. – Изотермы адсорбции газов на сорбентах внутри фильтров при температурах наружного воздуха:  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $-11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $+27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$ : а –  $\text{CO}$  на сорбенте шунгит; б –  $\text{C}_x\text{H}_y(\text{C}1\text{-C}5)$  на сорбенте шунгит; в –  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  на сорбенте шунгит; г –  $\text{CH}_2\text{O}$  на сорбенте шунгит; д –  $\text{CO}$  на сорбенте цеолит; е –  $\text{C}_x\text{H}_y(\text{C}1\text{-C}5)$  на сорбенте цеолит; ж –  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  на сорбенте цеолит; з –  $\text{CH}_2\text{O}$  на сорбенте цеолит

### Заключение

1. Нормативные среднесуточные концентрации достигаются только для б экспериментального исследования: последовательные слои толщиной до 2 см адсорбентов: шунгит, цеолит, сетка диоксид титана (менее 1 мм), 2 ультрафиолетовые лампы (12 Вт). Максимальное качество очистки

атмосферного воздуха от загрязнителей достигается 90,2-99,9% для всех исследуемых периодов года.

2. С ростом расстояния от источника УФ-излучения (1 лампа, 6 Вт) до пластины диоксида титана увеличивается интенсивность УФ-излучения: 1,1-6,3 Вт/м<sup>2</sup> УФ-А; 0,016-0,053 Вт/м<sup>2</sup> УФ-В; 0,034-0,56 Вт/м<sup>2</sup> УФ-С. С ростом расстояния от источника УФ-излучения (2 лампы, 12 Вт) до пластины диоксида титана увеличивается интенсивность УФ-излучения: 5,4-8,6 Вт/м<sup>2</sup> УФ-А; 0,05-0,072 Вт/м<sup>2</sup> УФ-В; 0,61-0,68 Вт/м<sup>2</sup> УФ-С. Оптимальным является расстояние 5 см при интенсивности 8,6 Вт/м<sup>2</sup> для УФ-А излучения, что позволяет достигнуть наибольшего эффекта очистки поступающего воздуха в помещении до 99,88%.

3. По результатам обработки экспериментальных данных установлены зависимости эффективности очистки приточного воздуха (Э<sub>и</sub>) от газообразных загрязнителей от интенсивности УФ-излучения и расстояния от источника УФ-излучения до пористой пластины TiO<sub>2</sub>. Наибольшее влияние на результат эффективности очистки приточного воздуха оказывает следующий фактор - расстояние до пластины TiO<sub>2</sub>.

4. Понижение температуры атмосферного воздуха приводит к росту предела адсорбции на шунгите на 0,24 кг/кг для оксида углерода (II) CO, на 0,24-0,38 кг/кг для органических загрязнений в воздушной среде. Понижение температуры атмосферного воздуха приводит также к росту предела сорбции на цеолите на 0,25 кг/кг для оксида углерода (II) CO; на 0,49 кг/кг для углеводородов C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>(C1-C5); на 0,51 кг/кг для фенола C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH; на 0,01 кг/кг для формальдегида CH<sub>2</sub>O.

### Литература

1. Азаров В.Н., Барикаева Н.С., Николенко Д.А., Соловьева Т.В. Об исследовании загрязнения воздушной среды мелкодисперсной пылью с

использованием аппарата случайных функций // Инженерный вестник Дона, 2015, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3350](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3350).

2. Ломовцева Е. Е., Ульянова М. А., Гатанова Н.Ц. О пористой структуре гибридных сорбирующих материалов для осушки воздуха // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2014. № 2. С. 299 - 305.

3. Зайнишев А.В. Особенности процесса управления работой фотокаталитического воздухоочистителя // Безопасность жизнедеятельности. 2015. № 12. С. 11–14.

4. Зайнишев А.В., Полуниин Г.А., Юсупов Р.Х., Панферов В.И. Определение гидравлического сопротивления фотокаталитического воздухоочистителя // Техника в сельском хозяйстве. 2014. № 4. С. 17–18.

5. Yiqun H., Zhu T. Health effects of fine particles (PM<sub>2.5</sub>) in ambient air // Science China Life Sciences. 2015. №58. Pp. 624-626.

6. Rothenberg S. J., Nagy P. A., Pickrell J. A. Surface Area, Adsorption, and Desorption Studies on Indoor Dust Samples // American Industrial Hygiene Association Journal. 1989. №50:1. Pp. 15-23. DOI: 10.1080/15298668991374255.

7. Xing Y.F., Xu Y.H., Shi M.H., Lian Y.X. The impact of PM<sub>2.5</sub> on the human respiratory system // J Thorac Dis. 2016. №8 (1). Pp. 69-74. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19.

8. Samoli E., Analitis A., Touloumi G. Estimating the exposure-response relationships between particulate matter and mortality within the APHEA multicity // Environ Health Pers. №113 (1). Pp. 88-95.

9. Gallego E., Roca F.X, Guardino X, Rosell M.G. Indoor and outdoor VTx levels in Barce-lona City metropolitan area and Catalan rural areas // Journal of Environmental Sciences. 2008. №20 (9). Pp. 1063-1069.

10. Азаров В.Н., Ребров В.А., Козловцева Е.Ю., Азаров А.В., Добринский Д.Р., Тertiшников И.В., Поляков И.В., Абухба Б.А. О



совершенствовании алгоритма компьютерной программы анализа дисперсного состава пыли в воздушной среде // Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/49769](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/49769).

### References

1. Azarov V.N., Barikaeva N.S., Nikolenko D.A., Solov'eva T.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3350](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3350).
2. Lomovceva E. E., Ul'yanova M. A., Gatanova N.C. Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2014. № 2. pp. 299 - 305.
3. Zajnishev A.V. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2015. № 12. pp. 11–14.
4. Zajnishev A.V., Polunin G.A., YUsupov R.H., Panferov V.I. Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 2014. № 4. pp. 17–18.
5. Yiqun H., Zhu T. Science China Life Sciences. 2015. №58. Pp. 624-626.
6. Rothenberg S. J., Nagy P. A., Pickrell J. A. American Industrial Hygiene Association Journal. 1989. №50:1. Pp. 15-23. DOI: 10.1080/15298668991374255.
5. Xing Y.F., Xu Y.H., Shi M.H., Lian Y.X. J Thorac Dis. 2016. №8 (1). Pp. 69-74. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19.
7. Samoli E., Analitis A., Touloumi G. Environ Health Pers. №113 (1). Pp. 88-95.
9. Gallego E., Roca F.X, Guardino X, Rosell M.G. Journal of Environmental Sciences. 2008. №20 (9). Pp. 1063-1069.
10. Azarov V.N., Rebrov V.A., Kozlovceva E.Ju., Azarov A.V., Dobrinskij D.R., Tertishnikov I.V., Poljakov I.V., Abuhba B.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/49769](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/49769).