

## **ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ОКСИДА УГЛЕРОДА (II) В ЗДАНИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

**Н. А. Литвинова**

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,  
г. Тюмень, Россия*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор В. В. Новохатин*

**Ключевые слова:** воздух; время очистки; концентрация; оксид углерода (II); очистка; сорбент; хемосорбент; экспериментальная установка.

**Аннотация:** Представлена экспериментальная установка по очистке приточного воздуха в наружной стене здания с использованием различных сорбентов, хемосорбента. Проведены натурные исследования для выбора и обоснования наилучшего способа очистки приточного воздуха от оксида углерода (II) в зданиях городской среды, получены эмпирические зависимости концентрации оксида углерода (II) от времени при использовании различных вариантов очистки приточного воздуха. Показан наилучший вариант для очистки наружного воздуха от оксида углерода (II) с использованием (шунгит + силикагель + диоксид марганца + цеолит). Доказана эффективность использования нескольких ступеней очистки наружного воздуха в зданиях городской среды.

### **Введение**

В настоящее время увеличивается количество зданий с приточными клапанами по наружной стене здания в целях увеличения воздухообмена в помещениях [1 – 3]. В современных городских условиях с внешними источниками выброса это может привести к еще большему загрязнению внутреннего воздуха. В приточных клапанах здания не предусмотрена очистка от газообразных примесей, а только фильтр от механических загрязнений [4 – 6], в отдельных случаях присутствует только очистка воздуха активированным углем. Кроме того, не проведено тщательное обоснование массы сорбента, толщины его слоя, неизвестно, сколько вре-

---

Литвинова Наталья Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность», e-mail: litvinova2010-litvinova2010@yandex.ru, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия.

мени будет длиться активность сорбента, а также не учитывается концентрация газообразных веществ в наружном воздухе по всей высоте здания.

В связи с этим остро стоит вопрос выбора способа очистки наружного воздуха в приточных клапанах на различной высоте фасада здания от газообразных примесей в наружном воздухе [7].

Цель исследований – разработка и обоснование способов очистки приточного воздуха от газообразных загрязнителей в зданиях городской среды в зависимости от качества наружного воздуха.

Задачи исследований:

– разработать экспериментальную установку по очистке приточного воздуха в здания с использованием различных вариантов фильтров с сорбентами (активированный уголь, шунгит, цеолит), а также хемосорбента (диоксида марганца);

– провести натурные исследования для выбора наилучшего способа очистки приточного воздуха от оксида углерода (II) в зданиях;

– получить эмпирические уравнения концентрации оксида углерода (II) в приточном воздухе от времени при использовании различных вариантов очистки.

Для решения данных задач в качестве загрязнителя выбран оксид углерода (II), как наиболее устойчивая примесь в воздушной среде [7]. Оксид углерода (II) является консервативной примесью и может быть удален из помещения только с помощью вентиляции [7]. В связи с этим в исследованиях предложены способы улучшения качества внутреннего воздуха в зданиях городской среды, которые можно использовать в приточных клапанах системы вентиляции от оксида углерода (II) CO по всей высоте фасада здания, разработана экспериментальная установка, монтирующаяся в наружной стене здания для исследования различных вариантов сорбентов по отношению к оксиду углерода (II), а также хемосорбента.

### Материал и методы исследований

Для очистки воздушной среды от оксида углерода (II) собрана экспериментальная установка, состоящая:

– из воздуховода диаметром 100 мм длиной 400 мм;

– осевого вентилятора производительностью 100 м<sup>3</sup>/ч;

– сменных фильтров с внутренним диаметром 85 мм, наружным – 90 мм (имеется воздухозаборная решетка), толщина каждого фильтрующего слоя 20 мм для размещения сорбентов и хемосорбента.

Для исследования на экспериментальной установке выбрано шесть вариантов очистки приточного воздуха: 1, 2, 3 – фильтры соответственно с активированным углем, шунгитом и цеолитом; 4 – два фильтра: (диоксид марганца (MnO<sub>2</sub>) + силикагель) (силикагель для исключения образования гидроксидов марганца в случае повышения паров воды в воздухе); 5 – четыре фильтра в следующем порядке: шунгит + силикагель + MnO<sub>2</sub> + цеолит; 6 – четыре фильтра: активированный уголь + силикагель + MnO<sub>2</sub> + цеолит.

Для всех фильтров толщина слоя сорбента, хемосорбента принималась одинаковой 20 мм и площадь фильтрующей поверхности во всех

вариантах составила 0,00567 м<sup>2</sup>. Фильтры в установке можно размещать как по отдельности, так и несколько в ряд; они имеют круглое сечение и расположенные в ряд на поверхности на входе и выходе прямоугольные отверстия размером (2×2) мм с шагом 1 мм (рис. 1).

Сорбирующий слой защищен в фильтре от механических загрязнений с двух сторон фильтровальной тканью (бумагой). Корпус фильтра выполнен из термостойкого ABS-пластика.

Исследуемые сорбенты и хемосорбент в фильтрах экспериментальной установки, представленные на рис. 2, имеют следующие характеристики:

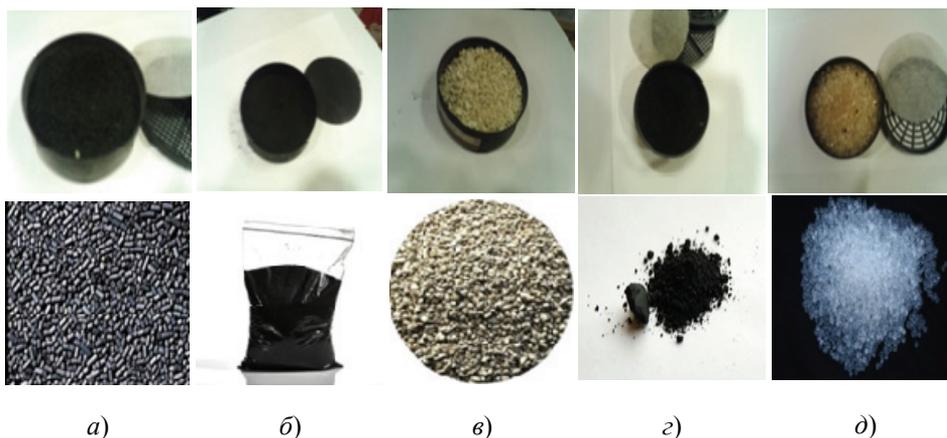
- активированный уголь AP-B (рис. 2, а) в виде цилиндрических гранул черного цвета, основной размер частиц 2,8 мм. Имеет поглощающие небольшие удерживающие свойства;

- шунгит – минерал, занимающий по составу и свойствам промежуточное положение между антрацитами и графитом. Обладает сорбционными и каталитическими свойствами (рис. 2, б). Для исследования выбран карельский шунгит – это природный минерал. По своему химическому составу и свойствам он уникален с точки зрения создания на его основе мелкомолотого порошка, который и был загружен в фильтр;

- цеолит Холинского месторождения Читинской области (рис. 2, в). Для опыта взяты фракции 1 – 3 мм;



**Рис. 1. Фильтры с прямоугольными отверстиями, воздухозаборная решетка, фильтровальная бумага**



**Рис. 2. Сорбенты и хемосорбент в фильтрах для различных вариантов исследований**

– окись марганца (IV), диоксид марганца  $MnO_2$  представляет собой порошок черного цвета (рис. 2, з). Сущность метода очистки заключается в химической реакции с оксидом углерода (II):  $MnO_2 + CO = MnCO_3$ ;

– силикагель мелкопористый необходимый во избежание образования гидроксидов марганца перед фильтром  $MnO_2$ , силикагель применяют для поглощения паров воды из воздуха при низкой его влажности, а также для сорбции некоторых других паров и газов (рис. 2, д).

При проведении натуральных исследований использовались следующие приборы:

– анемометр Testo-321 для измерения скорости и температуры воздушной среды на входе и выходе из установки;

– термогигрометр Ива-6 для измерения относительной влажности воздуха снаружи и внутри помещения;

– газоанализатор Testo-340 для измерения концентрации оксида углерода (II) на входе и выходе из экспериментальной установки;

– секундомер для контроля концентрация CO внутри помещения за единицу времени.

Экспериментальную установку разместили в наружной стене здания в помещении объемом  $32,4 \text{ м}^3$  индивидуального жилого здания г. Тюмени (рис. 3).

В качестве загрязнителя воздушной среды выбран двигатель внутреннего сгорания объемом 190 л/с, воздух подавался в экспериментальную установку по воздуховоду от выхлопной трубы легкового автомобиля на холостом ходу (рис. 4).

В процессе эксперимента снаружи и внутри помещения измерялась концентрация оксида углерода (II), фиксировались значения скорости воздушного потока, температура и влажность воздушной среды.

### Результаты исследований и их обсуждение

По результатам эксперимента рассчитаны средние значения концентраций CO с помощью экспериментальной установки снаружи и внутри помещения при различных шести вариантах исследования (табл. 1).

По результатам эксперимента наиболее эффективным сорбентом совместно с хемосорбентом в экспериментальной установке от оксида углерода (II) оказалось использование пятого варианта (см. табл. 1): (шунгит +



Рис. 3. Экспериментальная установка по очистке воздуха и контроль концентрации CO внутри помещения (вид внутри помещения)



Рис. 4. Загрязнение воздуха от двигателя внутреннего сгорания на холостом ходу

Таблица 1

**Результаты исследования способов очистки концентрации СО  
в экспериментальной установке**

Номер варианта	Тип сорбента/ хемосорбента	Концентрация СО, мг/м <sup>3</sup>		Эффективность очистки, %	Эксперимен- тальный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч
		на входе	на выходе		
1	Активированный уголь	66,25	18,75	71,69	79,20
2	Шунгит	61,11	8,22	86,55	78,76
3	Цеолит	67,14	19,00	71,702	79,90
4	Силикагель + MnO <sub>2</sub>	85,00	13,68	83,904	79,75
5	Шунгит + силикагель + MnO <sub>2</sub> + цеолит	86,00	4,00	95,35	72,56
6	Активированный уголь + силикагель + MnO <sub>2</sub> + цеолит	85,00	25,57	69,92	73,48

+ силикагель + MnO<sub>2</sub> + цеолит), эффективность очистки которого составила 95,35 %, следующий по эффективности второй вариант исследований (шунгит) – 86,55 %, четвертый вариант (силикагель + MnO<sub>2</sub>) по эффективности очистки от СО составил 83,90 %, первый вариант (уголь) – 71,698 %, третий вариант (цеолит) – 71,70 %. Наименьшая эффективность очистки от оксида углерода (II) у шестого варианта исследований (активированный уголь + силикагель + MnO<sub>2</sub> + цеолит) – 69,92 %.

Изучалась величина концентрации СО всех исследуемых вариантов с течением времени, по результатам построены эмпирические зависимости для каждого варианта (рис. 5).

Из рисунка 5 видно, что, несмотря на высокую эффективность очистки MnO<sub>2</sub> 83,9 %, с течением 2 ч концентрация на выходе из установки резко возрастает и через 2 ч четвертый вариант (силикагель + MnO<sub>2</sub>) неэффективен при концентрациях выше нормативного значения (5 мг/м<sup>3</sup>) на входе в экспериментальную установку (кривая 4). Эмпирическая зависимость концентрации СО от времени  $t$ :  $C = 7 \cdot 10^{-0,5} t^2 + 0,2946t + 9,695$ , коэффициент достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,985$ .

При использовании третьего варианта (цеолита) концентрация на выходе по СО будет превышать норму через половину суток (10 ч) (кривая 3), эмпирическая зависимость:  $C = - 0,0093t^2 + 1,2282t + 0,0901$ ,  $R^2 = 0,9979$ .

При испытании второго варианта (шунгит) концентрация превышает норматив на выходе через 54 ч, то есть через 2,5 суток (кривая 2), эмпирическая зависимость:  $C = - 2 \cdot 10^{-9} t^4 + 9 \cdot 10^{-7} t^3 - 0,0001t^2 + 0,0267t + 1,961$ ,

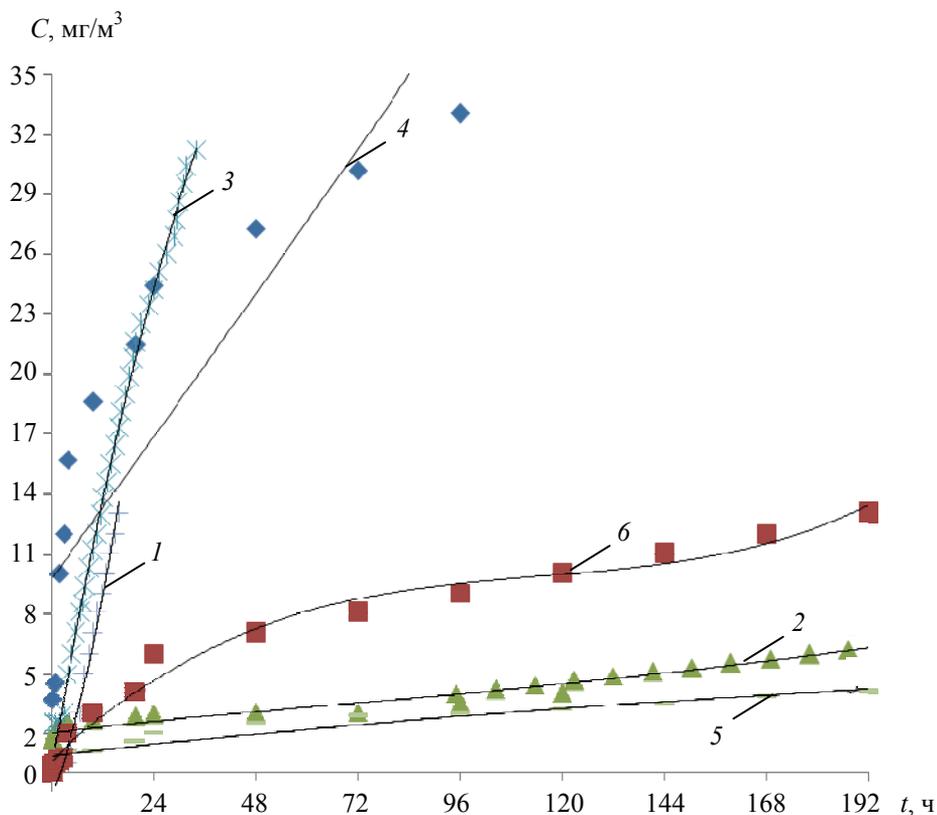


Рис. 5. Эмпирические зависимости концентрации СО от времени очистки при различных вариантах исследований

$R^2 = 0,9802$ ; при исследовании первого варианта (активированный уголь) концентрация превышает норматив через сутки (27 часов) (кривая 1):  $C = 0,0269t^2 + 0,4888t - 1,1321$ ,  $R^2 = 0,9839$ .

При пятом варианте исследований очистки наружного воздуха (шунгит + силикагель +  $MnO_2$  + цеолит) концентрация СО будет превышать норму на выходе только через 8 суток (192 ч) (кривая 5):  $C = 6 \cdot 10^{-8}t^3 - 5 \cdot 10^{-5}t^2 + 0,0247t + 0,8194$ ,  $R^2 = 0,9913$ ; эффективность очистки данного варианта самая высокая – 95,35%; при шестом варианте исследований (активированный уголь + силикагель +  $MnO_2$  + цеолит) концентрация будет превышать норму через сутки (20 ч) (кривая 6):  $C = -0,0003t^2 + 0,1211t + 1,1438$ ,  $R^2 = 0,9548$ .

### Выводы

1. Проведены натурные исследования и получены данные о выборе способа очистки воздуха от оксида углерода (II) в экспериментальной установке в наружной стене здания городской среды на примере г. Тюмени.

2. Результаты исследований на экспериментальной установки показали, что наиболее эффективно применять вариант очистки воздуха от окси-

да углерода (II) с использованием (шунгит + силикагель +  $MnO_2$  + цеолит), эффективность очистки приточного воздуха составила 95,35 % при одинаковой высоте каждого фильтрующего слоя 20 мм и фильтрующей поверхности  $0,00567 \text{ м}^2$ , с диаметром каждого фильтра 85 мм.

3. Получены эмпирические зависимости концентрации CO от времени при различных вариантах очистки приточного воздуха в зданиях. Концентрация CO внутри помещения будет превышать норму через 8 суток при использовании вышеназванного варианта очистки.

4. Представленные результаты исследований можно использовать для выбора и обоснования способа очистки наружного воздуха в системах вентиляции, в частности в приточных клапанах зданий городской среды с высоким загрязнением атмосферного воздуха от автотранспорта. Результаты исследований используются управлением по экологии департамента городского строительства и хозяйства администрации г. Тюмени. Проект занял первое место в номинации «Чистый город» управления по экологии г. Тюмени.

#### *Список литературы*

1. Ливчак, В. И. Решения по вентиляции многоэтажных жилых зданий / В. И. Ливчак // АВОК. – 1999. – № 6. – С. 24 – 32.

2. Мастеров, И. В. Вентиляция / И. В. Мастеров. – СПб. : Изд-во ДИЛЯ, 2005. – 192 с.

3. Малявина, Е. Г. Воздушный режим высотного жилого здания в течение года / Е. Г. Малявина, С. В. Бирюков, С. Н. Дианов // АВОК. – 2004. – № 8. – С. 6 – 14.

4. Ливчак, И. Ф. Вентиляция многоэтажных жилых зданий / И. Ф. Ливчак, А. Л. Наумов. – М. : АВОК–ПРЕСС, 2005. – 136 с.

5. Ливчак, И. Ф. Развитие теплоснабжения, климатизации и вентиляции в России за 100 последних лет / И. Ф. Ливчак, Ю. Я. Кувшинов. – М. : Изд-во Ассоциации строит. вузов, 2004. – 96 с.

6. Малахов, П. В. Проект естественно-механической вентиляции жилого дома в Москве / П. В. Малахов // АВОК. – 2003. – № 3. – С. 28 – 36.

7. Литвинова, Н. А. Вентиляция и качество воздуха в зданиях городской среды : монография / Н. А. Литвинова. – М. : Инфра-М, 2019. – 175 с.

#### *References*

1. Livchak V.I. [Solutions for ventilation of multi-storey residential buildings], *AVOK* [AVOK], 1999, no. 6, pp. 24-32. (In Russ.)

2. Masterov I.V. *Ventilyatsiya* [Ventilation], St. Petersburg: Izdatel'stvo DILYA, 2005, 192 p. (In Russ.)

3. Malyavina Ye.G., Biryukov S.V., Dianov S.N. [The air regime of a high-rise residential building during the year], *AVOK* [AVOK], 2004, no. 8, pp. 6-14. (In Russ.)

3. Livchak I.F., Naumov A.L. *Ventilyatsiya mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy* [Ventilation of multi-storey residential buildings], Moscow: AVOK-PRESS, 2005, 136 p. (In Russ.)

4. Livchak I.F., Kuvshinov Yu.Ya. *Razvitiye teplosnabzheniya, klimatizatsii i ventilyatsii v Rossii za 100 poslednikh let* [The development of heat supply, air conditioning and ventilation in Russia for the last 100 years], Moscow: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2004, 96 p. (In Russ.)

6. Malakhov P.V. [The project of natural-mechanical ventilation of a residential house in Moscow], *AVOK* [AVOK], 2003, no. 3, pp. 28-36. (In Russ.)

7. Litvinova N.A. *Ventilyatsiya i kachestvo vozdukha v zdaniyakh gorodskoy sredy: monografiya* [Ventilation and air quality in buildings of the urban environment: monograph], Moscow: Infra-M, 2019, 175 p. (In Russ.)

---

## **The Choice and Justification of a Method for Cleaning Air from Carbon Oxide (II) in Urban Environmental Buildings**

**N. A. Litvinova**

*Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia*

**Keywords:** air; cleaning time; concentration; carbon monoxide (II); cleaning; sorbent; chemisorbent; experimental setup.

**Abstract:** An experimental setup for cleaning the supply air in the outer wall of the building using various sorbents and chemisorbent is presented. Field studies were carried out to select and validate the best way to purify supply air from carbon monoxide (II) in buildings of the urban environment, and empirical dependences of carbon monoxide (II) concentration on time were obtained using various options for cleaning the supply air. The research results showed that the best options for cleaning outdoor air from carbon monoxide (II) is shungite + silica gel + manganese dioxide + zeolite, the cleaning efficiency was 95.35%, the second most effective cleaning was shungite, with the cleaning efficiency of 86.5%. In this regard, studies have shown that it is effective to use several stages of cleaning outdoor air in buildings of the urban environment. The results can be used to clean the indoor air of buildings with inlet valves along the facade height.

---

© Н. А. Литвинова, 2019