

# ОЧИСТКА ВОЗДУХА ОТ ОКСИДА УГЛЕРОДА(II) В ПРИТОЧНЫХ КЛАПАНАХ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ

**Н.А. Литвинова**

**Тюменский индустриальный университет**

Приведены результаты натурных исследований по выбору наилучшего способа очистки приточного воздуха от оксида углерода(II) в зданиях городской среды. Разработана экспериментальная установка по очистке приточного воздуха в наружной стене здания с использованием различных сорбентов, хемосорбента. Исследованы различные способы очистки приточного воздуха. Построены по уравнению Фрейндлиха изотермы адсорбции оксида углерода(II) на активированном угле, шунгите, цеолите для расчета объема очищенного газа при постоянной температуре воздуха, получены эмпирические зависимости концентрации оксида углерода(II) от времени при использовании различных вариантов очистки приточного воздуха. Результаты исследований показали, что наилучшим сорбентом для очистки наружного воздуха от оксида углерода(II) является шунгит + силикагель + диоксид марганца + цеолит, эффективность очистки составила 95,35 %, второй по эффективности очистки – шунгит Карельского месторождения – 86,5 %. Полученные результаты можно использовать для очистки внутреннего воздуха зданий с приточными воздушными клапанами по высоте фасада.

*Ключевые слова: очистка воздуха, экспериментальная установка, приточный клапан, оксид углерода(II), концентрация, сорбент, хемосорбент, время очистки*

## Carbon Monoxide(II) Purification in the Plenum Valves of the Building Ventilation System

**N.A. Litvinova**

**Tyumen Industrial University, 625000 Tyumen, Russia**

The results of field studies on the selection of the best way to clean the supply air from carbon monoxide(II) in urban buildings are presented. A pilot plant has been developed to clean the supply air in the outer wall of the building using various sorbents, chemisorbent. Various methods for purifying supply air have been investigated. The isotherms of adsorption of carbon monoxide(II) on activated carbon, shungite, zeolite for calculating the volume of purified gas at constant air temperature were constructed according to the Freundlich equation, and empirical dependences of the concentration of carbon monoxide(II) on time were obtained using various options for purification of the supply air. The research results showed that the best sorbent for cleaning the outside air of carbon monoxide (II) is shungite + silica gel + manganese dioxide + zeolite, the cleaning efficiency was 95.35 %, and the second most effective sorbent for cleaning was the shungite from Karelian field – 86.5 %. The results can be used to clean the internal air of buildings with plenum valves along the height of the facade.

*Keywords: air purification, experimental setup, plenum valve, carbon monoxide(II), concentration, sorbent, chemisorbent, cleaning time*

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-10-10-15

Приток наружного воздуха в помещения зданий ранее проводился через воздухопроницаемые окна, а теперь применяются приточные воздушные клапана. Количество и, прежде всего, качество поступающего в помещение приточного воздуха определяют параметры газового режима помещений зданий [1], что связано с постоянно действующей системой вентиляции, нарушение работы которой приводит к нарушениям санитарно-гиги-

нических требований к качеству внутреннего воздуха помещений, влияющих на безопасность человека. В современных городских условиях с внешними источниками выбросов использование воздушных клапанов без очистки поступающего воздуха может привести к ещё большему загрязнению внутреннего воздуха помещений. В приточных клапанах здания не предусмотрена очистка от газообразных примесей, а только фильтр от механических загрязнений. В

отдельных случаях обеспечивается только очистка воздуха активированным углем [2–3]. Кроме того, не проведено тщательного обоснования массы сорбента, толщины его слоя и неизвестно, сколько времени будет длиться активность сорбента, а также не учитывается концентрация газообразных веществ в наружном воздухе по всей высоте здания.

В связи с этим на сегодняшний день возникает нерешенный вопрос о выборе спо-

соба очистки наружного воздуха в приточных клапанах по высоте фасада здания от газообразных примесей в наружном воздухе [2–4].

Цель исследований — разработка и обоснование способов очистки приточного воздуха от оксида углерода(II) в зданиях городской среды в зависимости от качества наружного воздуха.

Задачи исследований следующие.

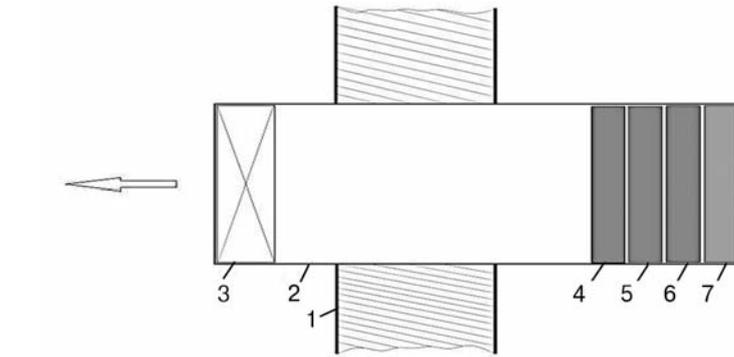
1. Разработать экспериментальную установку по очистке приточного воздуха в зданиях с использованием различных вариантов фильтров с сорбентами (активированный уголь, шунгит, цеолит), а также хемосорбента (диоксида марганца).

2. Провести натурные исследования для выбора наилучшего способа очистки приточного воздуха от оксида углерода(II) в зданиях.

3. Построить по уравнению Фрейндлиха изотермы адсорбции оксида углерода(II) на активированном угле, шунгите и цеолите для того, чтобы определить объем воздуха, очищенного от оксида углерода(II).

4. Получить эмпирические уравнения определения концентраций оксида углерода(II) в приточном воздухе при использовании различных вариантов очистки.

Для решения данных задач в качестве загрязнителя был выбран оксид углерода(II) как наиболее устойчивая примесь в воздушной среде [5–7]. Кроме того, концентрация этого газообразного вещества имеет значительные превышения нормативного значения в городской среде многих крупных



**Рис. 1. Экспериментальная установка по очистке приточного воздуха:** 1 – наружная стена здания; 2 – воздуховод; 3 – вентилятор; 4–7 – сменные фильтры с различными сорбентами и хемосорбентом

**Fig. 1. Experimental installation for purification of supply air:**

1 – the outer wall of the building; 2 – air duct; 3 – fan; 4–7 – replaceable filters with various sorbents and chemisorbent

городов России, особенно в районах размещения стационарных источников, а также у фасадов зданий от магистралей с высокой интенсивностью движения [6]. Оксид углерода(II) является консервативной примесью и может быть удален из помещения только с помощью вентиляции [8]. В связи с этим предложены варианты очистки внутреннего воздуха в зданиях городской среды для улучшения его качества, которые можно использовать в приточных клапанах системы вентиляции от оксида углерода(II) по всей высоте фасада здания, разработана экспериментальная установка, которая монтируется в наружной стене здания для исследования различных сорбентов по отношению к оксиду углерода(II), а также хемосорбента.

### *Материал и методы исследований*

Для очистки воздушной среды от оксида углерода(II) была собрана экспериментальная установка (рис. 1), состоя-

щая из воздуховода диаметром 100 мм и длиной 400 мм, осевого вентилятора производительностью 100 м<sup>3</sup>/ч и сменных фильтров с внутренним диаметром 85 мм и наружным 90 мм (имеется воздухозаборная решетка). Толщина каждого фильтрующего слоя для размещения сорбентов и хемосорбента 20 мм.

Для очистки приточного воздуха на экспериментальной установке применяли следующие фильтры: 1 – фильтр с активированным углем; 2 – фильтр с шунгитом; 3 – фильтр с цеолитом; 4 – два фильтра: хемосорбент диоксид марганца с сорбентом силикагелем (для исключения образования гидроксидов марганца в случае повышения паров воды в воздухе); 5 – четыре фильтра в следующем порядке: шунгит + силикагель + диоксид марганца + цеолит; 6 – четыре фильтра: активированный уголь + силикагель + диоксид марганца + цеолит.

Для всех фильтров толщина слоя сорбента и хемосорбента принималась одинако-



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

а – активированный уголь AP-B; б – карельский шунгит; в – цеолит Холинского месторождения; г – диоксид марганца (MnO<sub>2</sub>); д – силикагель

**Fig. 2. Sorbents and chemisorbent in filters for various research options:**

a – activated carbon AR-B; b – Karelian shungite; c – zeolite of the Kholinsky deposit; g – manganese dioxide (MnO<sub>2</sub>); d – silica gel



**Рис. 3. Экспериментальная установка внутри помещения**  
**Fig. 3. Pilot installation indoors**

вой и составляла 20 мм, площадь фильтрующей поверхности во всех вариантах — 0,00567 м<sup>2</sup>. Фильтры в установке можно было размещать как по отдельности, так и несколько в ряд. Фильтры имеют круглое сечение, на поверхности на входе и на выходе расположены в ряд прямоугольные отверстия размером 2×2 мм с шагом 1 мм.

В фильтрах экспериментальной установки использовались следующие сорбенты и хемосорбент (рис. 2):

- активированный уголь АР-В (рис. 2, а) в виде цилиндрических гранул черного цвета, основной размер частиц 2,8 мм, отличается поглощающими и небольшими удерживающими свойствами;

- шунгит — минерал, занимающий по составу и свойствам промежуточное положение между антрацитами и графитом, обладает сорбционными и каталитическими свойствами (рис. 2, б) (для исследования был 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 были взяты фракции 1–3 мм;

- оксид марганца(IV), диоксид марганца MnO<sub>2</sub> представляет собой порошок черного цвета (рис. 2, г), сущность метода очистки заключается в химической реакции с оксидом углерода(II): MnO<sub>2</sub> + CO = MnCO<sub>3</sub>;

- силикагель мелкопористый, необходимый во избежание образования гидроксидов марганца перед фильтром диоксида марганца, силикагель применяют для поглощения паров воды из воздуха при низкой его влажности (рис. 2, д).

При проведении натурных исследований использовались следующие приборы:

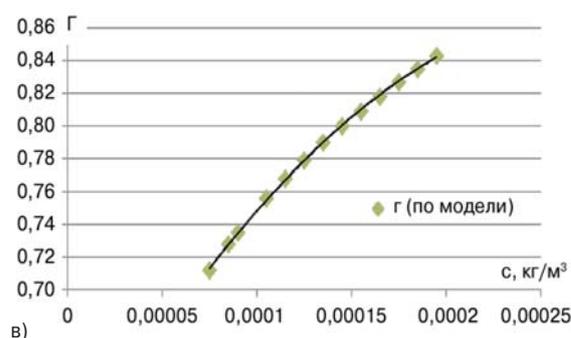
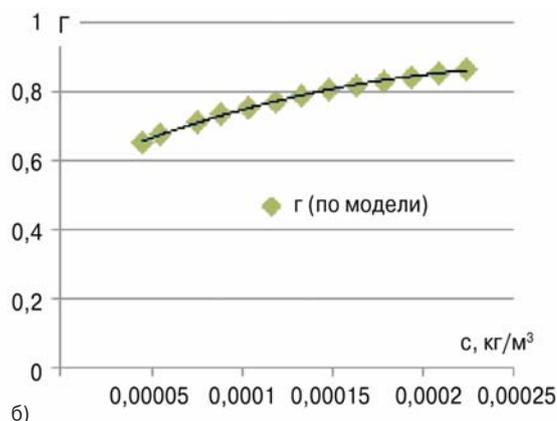
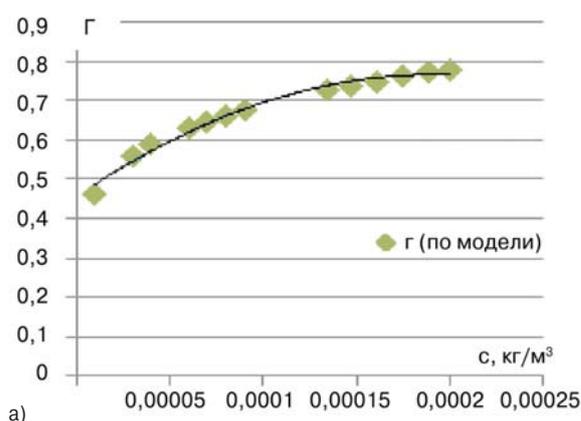
1. Анемометр Testo-321 (Германия) для измерения скорости и температуры воздушной среды на входе и на выходе из установки.

2. Термогигрометр Ива-6 (Россия) для измерения относительной влажности воздуха снаружи и внутри помещения.

3. Газоанализатор Testo-340 (Германия) для измерения концентрации оксида углерода (II) на входе и на выходе из экспериментальной установки.

4. Секундомер для контроля концентрации оксида углерода(II) внутри помещения за единицу времени.

Экспериментальная установка была размещена в наружной стене здания в помещении объемом 32,4 м<sup>3</sup> индивидуального жилого здания г. Тюмени (рис. 3).



**Рис. 4. Изотермы адсорбции оксида углерода(II) при использовании активированного угля (а); шунгита Карельского месторождения (б) и цеолита (в) при температуре воздуха 27,5 °С**

**Fig. 4. Adsorption isotherms of carbon monoxide (II) using activated carbon (a), schungite of the Karelian field (b) and zeolite (c) at an air temperature of 27,5 °C**

В качестве загрязнителя воздушной среды применяли двигатель внутреннего сгорания мощностью 190 л/с. Воздух подавался в экспериментальную установку по воздуховоду от выхлопной трубы легкового автомобиля на холостом ходу.

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).

Для того чтобы определить объем очищаемого через сорбенты газа были построены изотермы адсорбции оксида углерода(II) на активированном угле, шунгите и цеолите (рис. 4, а–в) с помощью модели Фрейндлиха.

Данные изотермы адсорбции необходимы для нахождения объема воздуха ( $V$ ), очищенного от примесей на активированном угле, шунгите и цеолите. Для этого необходимо знать концентрацию вредного вещества ( $C$ ), содержащегося в приточном воздухе, массу ( $m$ ) сорбента и его удельную активную поверхность, температуру воздуха ( $T$ ), при которой будет протекать процесс адсорбции, и константы эмпирического уравнения Фрейндлиха ( $K$  и  $n$ ), найденные экспериментально для данной температуры.

На первом этапе рассчитана удельная адсорбция  $\Gamma$  при различных концентрациях в пределах 1–10 кг/м<sup>3</sup>. Для этого использовалось эмпирическое уравнение изотермы адсорбции Фрейндлиха

$$\Gamma = KC^{1/n}, \quad (1)$$

где  $C$  — концентрация примесей, содержащихся в воздухе,

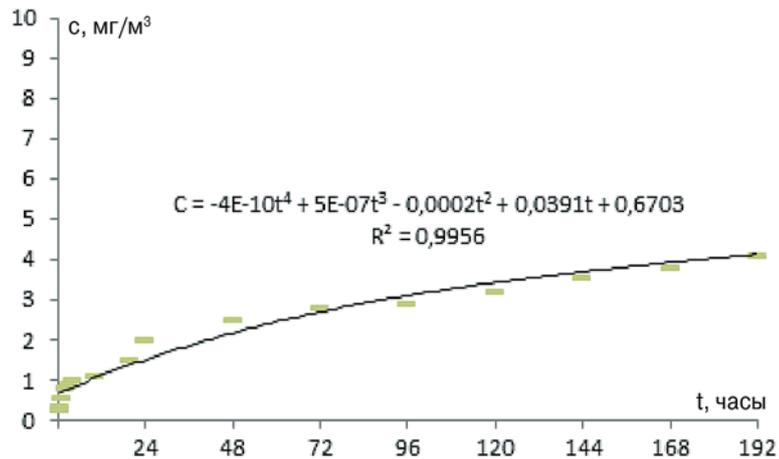


Рис. 5. Эмпирическая зависимость концентрации CO от времени очистки для варианта 5 (шунгит + диоксид марганца + силикагель + цеолит)

Fig. 5. The empirical dependence of the concentration of CO on the cleaning time for option 5 (shungite + manganese dioxide + silica gel + zeolite)

кг/м<sup>3</sup>;  $K$ ,  $n$  — константы эмпирического уравнения Фрейндлиха.

После расчетов получим ряд значений  $\Gamma$  при различных концентрациях.

Следующим шагом должен быть расчет по спрямленной форме уравнения изотермы адсорбции Ленгмюра предел адсорбции  $\Gamma_T$

$$\Gamma = 1/(\Gamma_T b) + (1/\Gamma_T)C. \quad (2)$$

В результате находим величину предела адсорбции  $\Gamma_T$ , и сможем теперь рассчитать объем очищенного в адсорбере воздуха.

Количество газа  $Q$ , которое может быть адсорбировано на сорбенте, рассчитывается по формуле

$$Q = g\Gamma_T, \quad (3)$$

где  $g$  — масса сорбента, кг.

Зная  $Q$ , можно найти объем очищенного воздуха по формуле:

$$V = Q/C, \quad (4)$$

где  $C$  — концентрация газа в воздухе, м<sup>3</sup>/кг.

Допущения, принятые в математической модели.

1. Расчеты в модели ведутся с учетом того, что температура берется величиной постоянной ( $T$  — const). В данном эксперименте построение модели велось при постоянной температуре 27,5 °C.

2. Так как в модели используется эмпирическое уравнение Фрейндлиха, то надо учитывать, что это уравнение не отражает особенностей адсорбционной изотермы в области низких и в области высоких давлений. Но для обширной

Таблица 1. Результаты исследования способов очистки от концентраций CO с использованием экспериментальной установки

Table 1. The results of the study of methods of purification from CO concentrations using an experimental setup

Вариант	Сорбент/ хемосорбент	Концентрация CO, мг/м <sup>3</sup>		Эффективность очистки, %	Экспериментальный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч
		на входе	на выходе		
1	Активированный уголь	66,25	18,75	71,69	79,2
2	Шунгит	61,11	8,22	86,55	78,76
3	Цеолит	67,14	19	71,702	79,9
4	силикагель+ MO <sub>2</sub>	85	13,68	83,94	79,75
5	Шунгит + силикагель + MO <sub>2</sub> + цеолит	86	4	95,35	72,56
6	Активированный уголь + силикагель + MO <sub>2</sub> + цеолит	85	25,57	69,92	73,48

**Таблица 2. Результаты расчетов по математической модели изотерм адсорбции на активированном угле, шунгите и цеолите при постоянной температуре****Table 2. The results of calculations by a mathematical model of adsorption isotherms on activated carbon, schungite and zeolite at constant temperature**

Концентрация СО на входе, кг/м <sup>3</sup>	Объем (V) очищенного от оксида углерода(II) воздуха, м <sup>3</sup>		
	на активированном угле	на шунгите	на цеолите
0,00003	0,1318	0,3863	0,0673
0,00004	0,1040	0,3358	0,0607
0,00006	0,0744	0,2706	0,0579
0,00007	0,0656	0,2416	0,0510
0,00008	0,0588	0,2167	0,0473
0,00009	0,0533	0,1973	0,0442
0,0001	0,3258	0,1816	0,0415
0,0002	0,0276	0,1687	0,0391
0,000133571	0,0385	0,1579	0,0370
0,000147143	0,0356	0,1486	0,0352
0,000160714	0,0331	0,1405	0,0335
0,000174286	0,0309	0,1335	0,0320
0,000187857	0,0291	0,1272	0,0306

области промежуточных давлений оно хорошо согласуется с опытными данными (табл. 2).

Наименьшие показатели (см. рис. 4) по объему воздуха, очищенного от оксида углерода(II), при концентрации на входе 0,00003 кг/м<sup>3</sup> до 0,000187857 кг/м<sup>3</sup> и постоянной температуре 27,5 °С получены для цеолита (см. табл. 2) и составили 0,06729–0,03065 м<sup>3</sup>. Затем, при сорбции оксида углерода(II) активированным углем объем очищенного воздуха составил 0,1318–0,0291 м<sup>3</sup> (рис. 4, б). Наибольших значений по сорбции достигли при использовании шунгита Кар-

ельского месторождения — объем очищенного от оксида углерода(II) воздуха составил 0,3863–0,1272 м<sup>3</sup>.

Полученные по математической модели Фрейндлиха изотермы адсорбции на сорбентах подтверждаются результатами эксперимента. Наиболее эффективным сорбентом совместно с хемосорбентом оказался (см. табл. 1) шунгит + силикагель +  $\text{MnO}_2$  + цеолит (вариант 5), его эффективность очистки достигает 95,35 %. Следующий по эффективности — шунгит (вариант 2) — 86,55 %, затем силикагель + диоксид марганца (вариант 4) — 83,90 %, далее уголь (вариант 1) —

71,698 % и цеолит (вариант 3) — 71,70 %. Наименьшая эффективность очистки от оксида углерода(II) у сорбента активированный уголь + силикагель +  $\text{MnO}_2$  + цеолит (вариант 6) — 69,92 %.

Также изучалась величина концентрации СО во всех исследуемых вариантах с течением времени, по результатам эксперимента получены эмпирические зависимости для каждого варианта (табл. 3).

На рис. 5 представлена эмпирическая зависимость адсорбции оксида углерода(II) от времени наиболее эффективного по степени очистки варианта 5 (шунгит + диоксид марганца + силикагель + цеолит) — 95,35 %.

Несмотря на высокую эффективность очистки диоксида марганца (83,9 %) с течением времени концентрация на выходе из установки резко возрастает и через 2 ч силикагель + диоксид марганца (вариант 4) неэффективен при концентрациях выше нормативного значения (5 мг/м<sup>3</sup>) на входе в экспериментальную установку.

При использовании цеолита (вариант 3) концентрация на выходе по СО будет превышать норму через половину суток (10 ч).

При испытании фильтра с шунгитом Карельского месторождения (вариант 2) концентрация превышает норматив на выходе через 54 ч, т.е. через 2,5 сут, при исследовании первого варианта (активированный уголь) концентрация превышает норматив через сутки (27 ч).

При очистке наружного воздуха (см. рис. 5) сорбентом шунгит + силикагель +  $\text{MnO}_2$  + цеолит (вариант 5) концентрация СО будет превышать норму на выходе только через 8 сут (192 ч), эффективность очистки данного варианта самая высокая — 95,35 %, при использовании варианта активированный уголь + силикагель +  $\text{MnO}_2$  + цеолит (вариант 6) концентрация будет превышать норму через сутки (20 ч).

**Таблица 3. Эмпирические зависимости концентрации С оксида углерода(II) для различных вариантов сорбентов при разном времени очистки****Table 3. Empirical dependences of the concentration of carbon monoxide (II) for various sorbent variants at different purification times**

Вариант	Сорбент	Эмпирическая зависимость (коэффициент достоверности аппроксимации R <sup>2</sup> )
1	Активированный уголь	$C = 0,0269t^2 + 0,4888t - 1,1321$ (R <sup>2</sup> = 0,9839)
2	Шунгит	$C = -2E - 09t^4 + 9E - 07t^3 - 0,0001t^2 + 0,0267t + 1,961$ (R <sup>2</sup> = 0,9802)
3	Цеолит	$C = -0,0093t^2 + 1,2282t + 0,0901$ (R <sup>2</sup> = 0,9979)
4	Силикагель + $\text{MnO}_2$	$C = 7E-05t^2 + 0,2946t + 9,695$ (R <sup>2</sup> = 0,985)
5	Шунгит + силикагель + $\text{MnO}_2$ + цеолит	$C = -4E - 10t^4 + 5E-07t^3 - 0,0002t^2 + 0,0391t + 0,6703$ (R <sup>2</sup> = 0,9956)
6	Активированный уголь + силикагель + $\text{MnO}_2$ + цеолит	$C = -0,0003t^2 + 0,1211t + 1,1438$ (R <sup>2</sup> = 0,9548)

Таким образом, целесообразней использовать несколько ступеней очистки воздуха в приточных клапанах систем вентиляции, так как анализ результатов эксперимента показал, что при использовании отдельно сорбентов в фильтрах приточных клапанов, несмотря на их высокую степень очистки и показатели объема очищаемого газа СО, необходимо будет достаточно часто менять сорбент фильтрующего слоя.

### Заключение

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.

Результаты исследований на экспериментальной установке показали, что наиболее эффективно применять шунгит + силикагель + диоксид марганца + цеолит. Эффективность очистки приточного воздуха составила 95,35 % при высоте

каждого фильтрующего слоя 20 мм, фильтрующей поверхности 0,00567 м<sup>2</sup> и диаметре каждого фильтра 85 мм.

По результатам моделирования процесса сорбции по уравнению Фрейндлиха следует сделать вывод, что наиболее эффективным сорбентом по объему очищенного газа является шунгит Карельского месторождения. Показатели сорбции СО активированным углем по объему очищенного газа были в 2,5 раза меньше, чем при сорбции шунгитом, при сорбции цеолитом объем очищенного газа в 38 раз меньше. Это подтверждает эффективность очистки от оксида углерода(II) сорбентом шунгит + диоксид марганца + силикагель + цеолит (вариант 5), а также шунгитом (вариант 2) в сравнении с активированным углем.

Получены эмпирические зависимости концентрации СО от времени при различных вариантах очистки приточного воздуха в зданиях. Концентрация СО внутри помещения по результатам эксперимента

будет превышать норму через 8 сут при наиболее эффективном по очистке воздуха варианте исследований: шунгит + силикагель + диоксид марганца + цеолит (при высокой концентрации оксида углерода(II) на входе в экспериментальную установку 86 мг/м<sup>3</sup>). Целесообразней использовать несколько ступеней очистки воздуха в приточных клапанах систем вентиляции, так как анализ результатов эксперимента показал, что при использовании отдельно сорбентов в фильтрах приточных клапанов, несмотря на их высокую степень очистки и показатели объема очищаемого газа СО, необходимо будет достаточно часто менять сорбент в фильтре.

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 автотранспортом.

### Литература

1. Рымаров А.Г., Кравчук В.Ю. Исследование применения воздушных клапанов в квартире жилого здания в холодный период. СОК. 2016. №12. [Электронный ресурс] URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/issledovanie-primeneniya-vozdushnykh-klapanov-v-kvartire-zhilogo-zdaniya-v-holodnyy-period> (дата обращения 20.04.2019).
2. Ливчак В.И. Решения по вентиляции многоэтажных жилых зданий. АВОК. 1999. № 6. С. 21–25.
3. Мастеров И.В. Вентиляция. СПб., "Издательство ДИЛЯ", 2005. 192 с.
4. Ливчак И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых зданий. М., АВОК–ПРЕСС, 2005. 136 с.
5. Ливчак И.Ф. Развитие теплоснабжения, климатизации в России за 100 последних лет. М., Изд-во Ассоциации строит. вузов, 2004. 149 с.
6. Литвинова Н.А. Вентиляция и качество воздуха в зданиях городской среды. Монография. М., Инфра-М, 2019. 170 с.
7. Малахов П.В. Проект естественно-механической вентиляции жилого дома в Москве. АВОК. 2003. № 3. С.12–17.
8. Малавина Е.Г. Воздушный режим высотного здания в течение года. АВОК. 2003. № 6. С. 14.

### References

1. Rymarov A.G., Kravchuk V.Yu. Issledovanie primeneniya vozdushnykh klapanov v kvartire zhilogo zdaniya v kholodnyi period. SOK. 2016. №12. [Elektronnyi resurs] URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/issledovanie-primeneniya-vozdushnykh-klapanov-v-kvartire-zhilogo-zdaniya-v-holodnyy-period> (data obrashcheniya 20.04.2019).
2. Livchak V.I. Resheniya po ventilyatsii mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy. AVOK. 1999. № 6. S. 21–25.
3. Masterov I.V. Ventilyatsiya. SPb., "Izdatel'stvo DILYa", 2005. 192 s.
4. Livchak I.F. Ventilyatsiya mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy. M., AVOK–PRESS, 2005. 136 s.
5. Livchak I.F. Razvitie teplosnabzheniya, klimatizatsii v Rossii za 100 poslednikh let. M., Izd-vo Assotziatsii stroit. vuzov, 2004. 149 s.
6. Litvinova N.A. Ventilyatsiya i kachestvo vozdukh v zdaniyakh gorodskoi sredy. Monografiya. M., Infra-M, 2019. 170 s.
7. Malakhov P.V. Proekt estestvenno-mekhanicheskoi ventilyatsii zhilogo doma v Moskve. AVOK. 2003. № 3. S.12–17.
8. Malyavina E.G. Vozdushnyi rezhim vysotnogo zdaniya v techenie goda. AVOK. 2003. № 6. S. 14.

Н.А. Литвинова – канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000 Россия, г. Тюмень, ул. Володарского 38, e-mail: litvinova2010-litvinova2010@yandex.ru

N.A. Litvinova – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Tyumen Industrial University, 625000 Russia, Tyumen, Volodarsky Str. 38, e-mail: litvinova2010-litvinova2010@yandex.ru