

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

DOI: 10.15593/2409-5125/2020.03.04

УДК 697.921.45

Н.А. Литвинова

Тюменский индустриальный университет

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИТОЧНОГО КЛАПАНА С ФИЛЬТРАЦИЕЙ ВОЗДУХА

Представлена конструкция клапана приточной принудительной вентиляции с фильтрацией воздуха, расположенного в наружной стене здания, с помощью сорбентов и фотокаталитического окисления органических газообразных веществ до безопасных соединений. Теоретически обосновано выбранное решение за счет моделирования процесса сорбции используемых сорбентов в приточном клапане системы вентиляции. На основе экспериментальных данных получена формула для расчета массы сорбента в зависимости от времени сорбции для шунгита и цеолита, а также формула для расчета высоты слоя сорбентов в приточном клапане в зависимости от диаметра приточного клапана, а также времени сорбции и физико-химических свойств сорбента (плотности, динамической активности и активности десорбции). Построены математические модели изотерм адсорбции газов от автотранспорта при постоянной температуре воздуха: изотермы адсорбции Фрейндлиха оксида углерода (II), углеводородов алифатических, фенола, формальдегида на поверхностях таких сорбентов, как шунгит, цеолит. Самый высокий показатель предела адсорбции отмечен у шунгита (0,77 кг/кг) по отношению к оксиду углерода (II), углеводородам алифатическим (0,315 кг/кг). При анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте шунгите при различных температурах выяснено, что при отрицательных температурах предел адсорбции возрастает: для оксида углерода (II) увеличился с 0,771 до 0,895 кг/кг, для углеводородов алифатических с 0,315 до 0,348 кг/кг, недостаточная сорбция по формальдегиду с 0,021 до 0,023 кг/кг, для фенола предел адсорбции увеличился с 0,179 до 0,241 кг/кг. Данный клапан может быть использован в многоэтажном жилищном строительстве в условиях повышенного загрязнения атмосферы.

Ключевые слова: клапан, фильтрация воздуха, сорбция, шунгит, цеолит, оксид углерода (II), углеводороды алифатические, фенол, формальдегид.

Для того чтобы решить проблемы с недостаточным воздухообменом, в помещении обустривают местную вентиляционную систему, так называемые приточные клапаны [1–3]. Задачей приточных вентиляционных клапанов является обеспечение помещения чистым наружным воздухом, поступающим с улицы [4–6].

Приточные клапаны устанавливаются в тех помещениях, где используется естественная или принудительная вытяжка [7–9]. В настоящее время

мя существует очень большое количество видов приточных клапанов, обеспечивающих эффективную вентиляцию помещения и очистку его воздушной среды.

Известны вентиляционные устройства, в которых присутствует воздухоочистной фильтр, расположенный в регуляторе воздушного потока, либо эти устройства имеют целую систему фильтров [10–12]. Существует стенной проветриватель согласно патенту на полезную модель [13], состоящий из крышки, фильтра, регулировочного клапана, внутренней трубы и внешней трубы, внешней крышки проветривателя, внешней решетки и элемента управления.

Большинство моделей клапанов не имеют обоснованных рекомендаций относительно того, когда следует менять фильтрующие сорбенты, нет данных о том, в связи с чем выбрана в существующих клапанах именно такая масса сорбента, толщина его слоя, не рассчитаны пределы адсорбции к различным загрязнителям наружного воздуха [14, 15].

В связи с этим цель исследования – разработать конструкцию клапана приточной принудительной вентиляции с фильтрацией воздуха с помощью сорбентов и фотокаталитического окисления органических газообразных веществ до безопасных соединений и теоретически обосновать выбранное решение за счет моделирования процесса сорбции используемых сорбентов.

Задачи исследования:

1. Разработать конструктивные особенности клапана приточной принудительной вентиляции, которые способствуют повышению качества очистки приточного воздуха, поступающего в помещения зданий.

2. Обосновать необходимую массу используемых сорбентов (шунгита, цеолита) в клапане и толщины их слоев от времени сорбции газообразных загрязнителей для разработанной конструкции клапана.

3. Построить математические модели изотерм адсорбции газов от автотранспорта при постоянной температуре воздуха: изотермы адсорбции оксида углерода (II), углеводородов алифатических, фенола, формальдегида на поверхностях таких сорбентов, как шунгит, цеолит.

Разработан клапан приточной принудительной вентиляции с фильтрацией воздуха, который монтируется в наружной стене здания. Конструкция опытного образца клапана приточной вентиляции состояла (рис. 1):

- 1) из пластикового воздуховода диаметром 100 мм, длина которого принималась в зависимости от толщины наружной стены здания;
- 2) осевого электровентилятора производительностью 300 м³/ч;
- 3) последовательно размещенных фильтров с сорбентами (шунгитом, цеолитом) внутри пластикового воздуховода, толщина сорбционного слоя 20 мм;
- 4) фотокаталитического фильтра.

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.

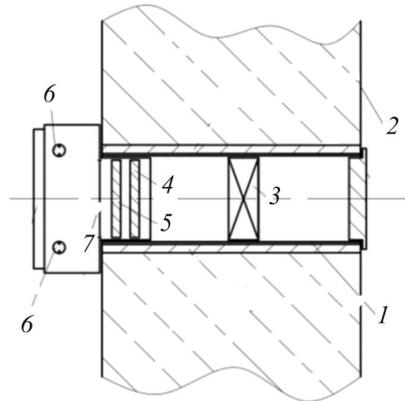


Рис. 1. Конструктивная схема клапана приточной принудительной вентиляции с фильтрацией воздуха (вид сверху): 1 – пластиковый воздуховод; 2 – наружная стена; 3 – электроventильатор; 4 – фильтр с сорбционной загрузкой шунгитом (фракции 1 мм); 5 – фильтр с сорбционной загрузкой цеолитом (фракции 1–3 мм); 6 – две ультрафиолетовые лампы с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт; 7 – тонкая пористая пластина диоксида титана (TiO_2)

Клапан работает следующим образом (см. рис. 1). Наружный воздух со стороны улицы поступает в клапан. Воздух нагнетается с помощью электроventильатора 3. Затем приточный воздух поступает в последовательно расположенные фильтры 4, 5: сначала на первый 4 с шунгитом (фракции 1 мм), затем на фильтр 5 с цеолитом (фракции 1–3 мм). После этого воздух проходит фотокаталитический фильтр между двумя УФ-лампами 6 с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), расположенными вертикально в ряд, и пористой пластиной диоксида титана 7. Затем поступающий воздух равномерно распределяется внутри помещения.

С использованием данного клапана измерялась концентрация газообразных загрязнителей с помощью сертифицированных газоанализаторов ГАНК-4 и Testo-341 снаружи и внутри помещения от двигателя внутреннего сгорания автомобиля (режим холостого хода) и фиксировалось время, при котором концентрация загрязнителей начинала нарастать внутри помещения.

Результаты экспериментальных исследований с помощью приточного клапана с фильтрацией воздуха показали, что наиболее эффективно при-

менять очистку воздуха от газообразных загрязнителей приточного воздуха сорбентами (шунгитом и цеолитом) и фотокаталитическим фильтром: $\text{TiO}_2 + 2$ УФ-лампы 365 нм, мощностью 6 Вт, интенсивность излучения $8,6 \text{ Вт/м}^2$: эффективность очистки по оксиду углерода (II) составила от 90,6 до 99,88 %, по фенолу – 95,79–96,07 %, по формальдегиду – 95,63–97,22 %, по углеводородам алифатическим (C1–C5) – 90–93,57 % [14].

Для обоснования необходимой массы сорбента и толщины его слоя для очистки наружного воздуха запроектируем данную конструкцию приточного клапана в наружной стене здания.

Выбираем круглое сечение приточного клапана, зная расход воздуха (Q , $\text{м}^3/\text{ч}$), начальную экспериментально измеренную концентрацию на входе в приточный клапан по газообразным загрязнителям C_0 , мг/м^3 , скорость воздушного потока в сечении клапана V , м/с , плотность сорбирующего вещества ρ , кг/м^3 .

Динамическая активность a_d (кг/м^3) – это число молекул, поглощенных поверхностью адсорбента при движении вещества (газа) через слой адсорбента:

$$a_d = \frac{V \cdot C_0 \cdot t}{H}, \quad (1)$$

где V – скорость газового потока, м/с ; C_0 – начальная концентрация извлекаемого вещества, кг/м^3 ; T – продолжительность процесса адсорбции, с ; H – высота слоя адсорбента, м .

Диаметр приточной установки (воздушного клапана в стене) определяем по формуле

$$D = \sqrt{\frac{Q}{0,785 \cdot 3600 \cdot V}}, \quad (2)$$

где V – скорость газового потока, м/с ; Q – расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Требуемое количество адсорбента для поглощения газов (оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических) рассчитывается по формуле

$$G = \frac{Q \cdot t \cdot C_0}{X_2 - X_1}, \quad (3)$$

где Q – расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$; t – продолжительность процесса сорбции, ч ; c_0 – начальная концентрация извлекаемого вещества, кг/м^3 ; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, мас. \% ; X_1 – остаточная активность после десорбции, мас. \% .

Высота слоя адсорбента, м,

$$H = \frac{G}{0,785D^2\rho}, \quad (4)$$

где G – масса сорбента, необходимая для сорбции на поверхности газ – твердое вещество, кг; D – диаметр приточного клапана, м; ρ – плотность сорбента, кг/м³.

Выразим количество адсорбента из формулы (4):

$$G = (0,785 \cdot D^2 \rho) H. \quad (5)$$

Подставим G из формулы (3) в формулу (5):

$$(0,785 \cdot D^2 \rho) H = \frac{Q \cdot t \cdot C_0}{X_2 - X_1}. \quad (6)$$

Выразим высоту слоя сорбента из выражения (6), получим высоту слоя сорбента, м:

$$H = \frac{Q \cdot t \cdot C_0}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho}, \quad (7)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, ч; C_0 – начальная концентрация извлекаемого вещества, кг/м³; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, мас. %; X_1 – остаточная активность после десорбции, мас. %; ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м³.

Находим производную первого порядка для высоты слоя сорбента $H(t)$ по формуле (7), после подстановки концентрации в зависимости от времени для каждого слоя сорбента, используем полученную эмпирическую зависимость $C(t)$, подставляя $C(t)$ вместо C_0 в формулу (3).

По результатам экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости начальной концентрации загрязнителя от времени (t) при очистке воздуха от оксида углерода (II):

– для шунгита:

$$c = 1,73338 \cdot e^{0,0033t}, \quad (8)$$

где t – время сорбции, ч;

– для цеолита:

$$c = 0,0216t^2 + 3,6816t + 6,0648, \quad (9)$$

где t – время сорбции, ч.

Принимаем следующие параметры величины за постоянное число: расход газа Q ($\text{м}^3/\text{ч}$), диаметр установки (клапана) D (м), плотность сорбента ρ , ($\text{кг}/\text{м}^3$), X_2 , X_1 – динамическая активность сорбента по i -газу, мас. %, остаточная активность после десорбции, мас. %. Пусть время сорбции t , ч, будет переменной величиной.

Поставляем $C_0(t)$ по эмпирической зависимости (8) в формулу (7), получим для сорбента шунгита толщину слоя в фильтре, м,

$$H = \frac{Q \cdot t \cdot 1,73338 \cdot e^{0,0033t}}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho}, \quad (10)$$

где Q – расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$; t – продолжительность процесса сорбции, ч; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, мас. %; X_1 – остаточная активность после десорбции, мас. %; ρ – плотность сорбирующего вещества, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Дифференцируем уравнение (10), находим производную первого порядка:

$$H'(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{Q \cdot t \cdot 1,73338 \cdot e^{0,0033t}}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \right). \quad (11)$$

После необходимых преобразований получаем зависимость для расчета необходимой толщины сорбционного слоя, м:

$$H(t) = \frac{1,73338 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (e^{0,0033t} + t \cdot 0,0033 \cdot e^{0,0033t}), \quad (12)$$

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

Подставляем в формулу (5) формулу (12) и получаем зависимость массы сорбента от времени:

$$G = (0,785 \cdot D^2 \rho) \cdot \frac{1,73338 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (e^{0,0033t} + t \cdot 0,0033 \cdot e^{0,0033t}). \quad (13)$$

Таким образом, после преобразований получаем необходимую массу (мг) для сорбента (шунгита) в зависимости от времени:

$$G(t) = \frac{1,73338 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (e^{0,0033t} + t \cdot 0,0033 \cdot e^{0,0033t}), \quad (14)$$

где Q – расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$; t – продолжительность процесса сорбции, ч; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, мас. %; X_1 – остаточная активность после десорбции, мас. %.

Поскольку эмпирическое уравнение (8) для расчета $C_0(t)$ получено для достаточно высоких концентраций при испытаниях клапана приточной принудительной вентиляции по газообразным веществам (оксида углерода (II) CO) при поступлении воздуха в клапан от двигателя внутреннего сгорания, то в городских условиях (от передвижных источников) необходимо умножить уравнение на коэффициент пересчета, полученный по уравнению многофакторной регрессии [15], в зависимости от интенсивности автотранспортного потока:

Свыше 2000 авт./ч	От 1000 до 2000 авт./ч	Свыше 500–1000 авт./ч	Менее 500 авт./ч
0,25	0,19	0,13	0,0667

В итоге получаем расчетные формулы массы сорбента (мг) и высоты слоя сорбента (м) в зависимости от времени для зданий, находящихся рядом с магистралями разной интенсивности движения, авт./ч.

Для цеолита аналогичным образом также выводим уравнение, подставив эмпирическое уравнение $C(t)$ (9) в формулу (7), и берем производную первого порядка $H(t)$, где t – время сорбции, ч (переменная величина).

После необходимых преобразований получаем для цеолита высоту слоя сорбента, м:

$$H(t) = \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (0,0648 \cdot t^2 + 7,363t + 6,0648), \quad (15)$$

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

Аналогичным образом получена необходимая масса (мг) для сорбента (цеолита) в зависимости от времени:

$$G(t) = \frac{Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,0648 \cdot t^2 + 7,363t + 6,0648), \quad (16)$$

где Q – расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$; t – продолжительность процесса сорбции, ч; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, мас. %; X_1 – остаточная активность после десорбции, мас. %.

В городских условиях также необходимо умножить уравнение на коэффициент, полученный по уравнению многофакторной регрессии в зависимости от интенсивности автотранспортного потока.

Согласно полученным экспериментальным данным динамическая активность шунгита по оксиду углерода (II) составила 1,0183 г/100 г (0,010183 мас. %), остаточная активность после десорбции – 0,137 г/100 г (0,00137 мас. %).

Для цеолита динамическая активность по оксиду углерода (II) составила 0,8392 г/100 г (0,008392 мас. %), а остаточная активность цеолита – 0,002375 мас. %.

По полученным уравнениям можно рассчитать, сколько будет необходимо сорбента (в граммах) на различный период времени.

Построены изотермы адсорбции Фрейндлиха газов на поверхности твердое вещество – газ: шунгит – оксид углерода (II); шунгит – углеводороды алифатические; шунгит – фенол; шунгит – формальдегид (рис. 2, 3), а также изотермы адсорбции газов на поверхности твердое вещество – газ: цеолит – оксид углерода (II); цеолит – углеводороды алифатические; цеолит – фенол; цеолит – формальдегид (рис. 4, 5).

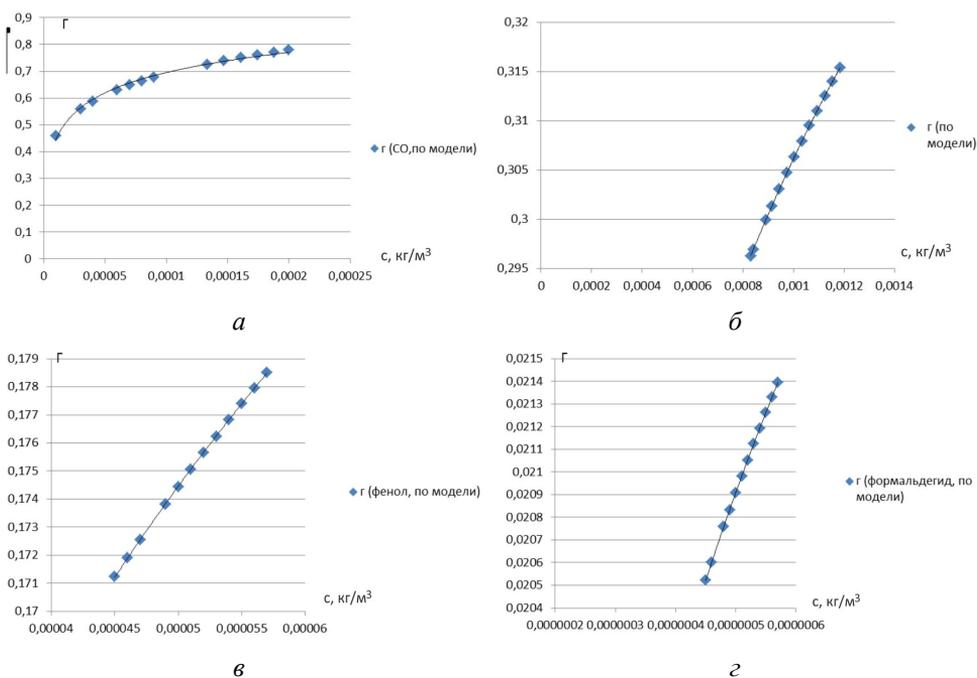


Рис. 2. Изотермы адсорбции газов на сорбенте шунгите при положительной температуре воздуха +27,5 °С: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C₁-C₁₀); в – фенола; г – формальдегида

Также построены изотермы адсорбции газов на сорбенте шунгите при отрицательных температурах воздуха –11,5 °С.

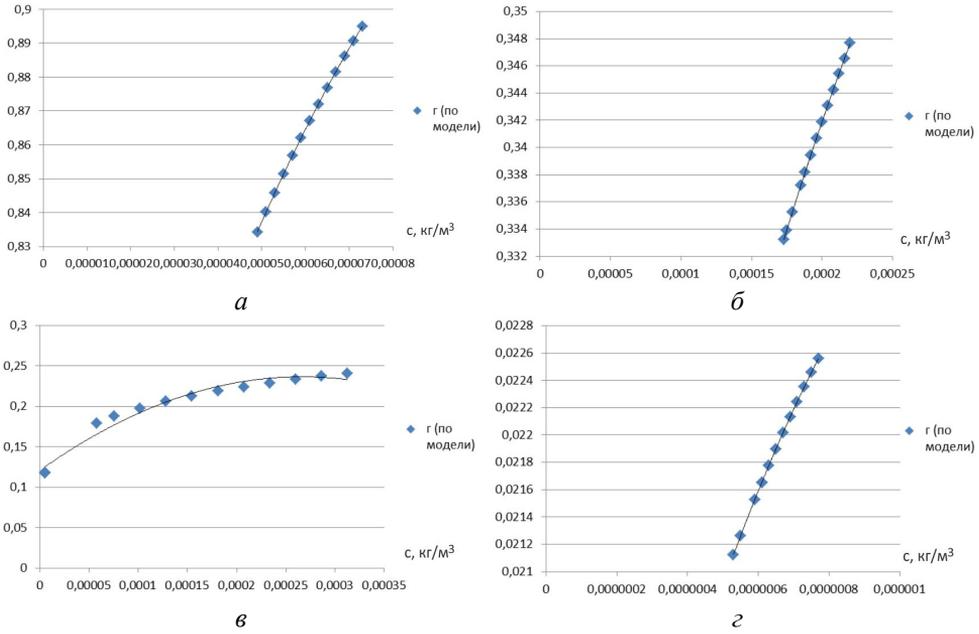


Рис. 3. Изотермы адсорбции газов на сорбенте шунгите при отрицательной температуре воздуха $-11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$: *a* – оксида углерода (II); *б* – углеводородов алифатических (C1–C10); *в* – фенола; *г* – формальдегида

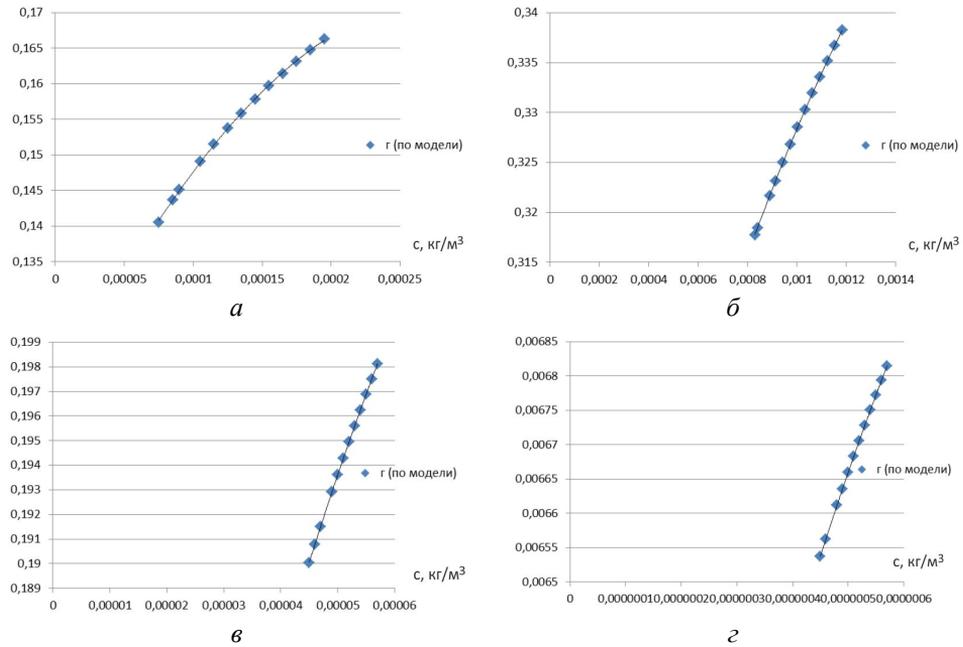


Рис. 4. Изотермы адсорбции газов на сорбенте цеолите при положительной температуре воздуха $+27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$: *a* – оксида углерода (II); *б* – углеводородов алифатических (C1–C10); *в* – фенола; *г* – формальдегида

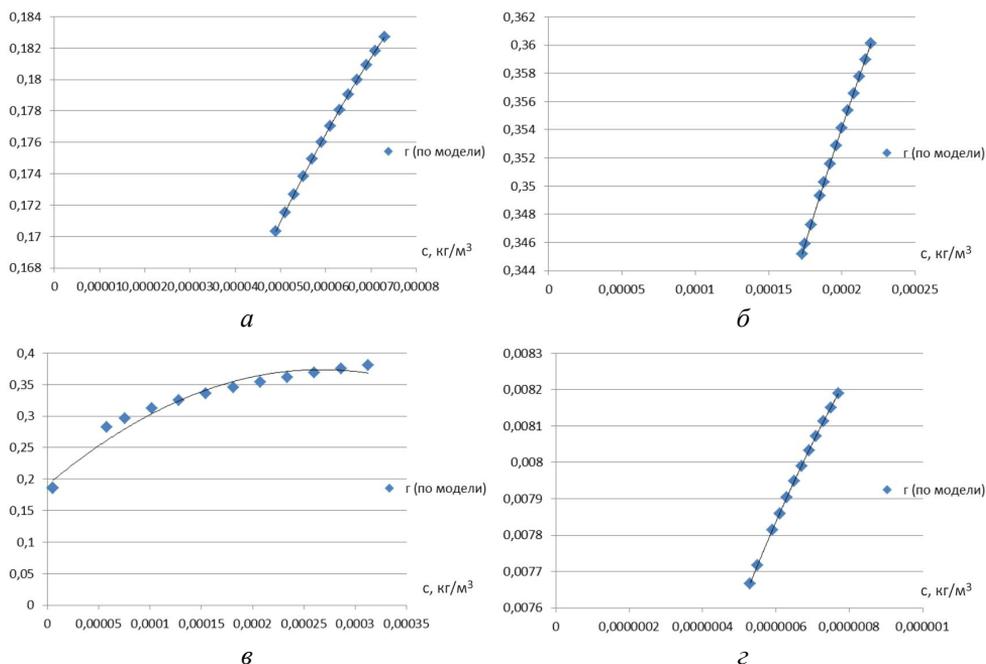


Рис. 5. Изотермы адсорбции газов на сорбенте цеолите при отрицательной температуре воздуха $-11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$: *а* – оксида углерода (II); *б* – углеводородов алифатических (C₁–C₁₀); *в* – фенола; *г* – формальдегида

Результаты показали, что лучше всего поглощается сорбентом шунгитом газ оксид углерода (II): объем адсорбированного газа от 16 до 12 кг, объем очищенного от CO воздуха от 0,13 до 0,029 м³, затем второе место по сорбции – у углеводородов алифатических с объемом очищенного воздуха от них с 0,0138 до 0,0103 м³. Объем очищенного воздуха от фенола составил всего от 0,0077 до 0,006 м³. Сорбция к формальдегиду также достаточно низкая, объем очищенного воздуха от формальдегида от 0,00024 до 0,000205 м³, предел адсорбции 0,021 кг/кг.

Сорбентом цеолитом поглощается фенол: объем адсорбированного газа от 210 до 173 кг, объем очищенного воздуха от фенола от 0,078 м³, затем по сорбции у CO с объемом очищенного воздуха от них с 0,0047 до 0,0021 м³ (предел адсорбции 0,1981 кг/кг), объем очищенного от CO воздуха составил 0,0047 до 0,0021 м³. Сорбция к формальдегиду низкая, объем очищенного воздуха от формальдегида от 0,046 м³ до 0,038 м³, предел адсорбции 0,0068 кг/кг.

Самый высокий показатель предела адсорбции отмечен у шунгита (0,77 кг/кг) по отношению к оксиду углерода (II) CO, углеводородам алифатическим (0,315 кг/кг).

При анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте шунгите при различных температурах выяснено, что при отрицательных температурах предел адсорбции возрастает:

- для оксида углерода (II) CO увеличился с 0,771 до 0,895 кг/кг;
- для углеводородов алифатических – с 0,315 до 0,348 кг/кг;
- для формальдегида – с 0,021 до 0,023 кг/кг;
- для фенола – с 0,179 до 0,241 кг/кг.

При сравнительном анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте цеолите при различных температурах установлено, что:

- предел адсорбции по CO увеличился с 0,167 до 0,183 кг/кг;
- по углеводородам алифатическим – с 0,338 до 0,360 кг/кг;
- для фенола увеличивается с 0,198 до 0,3807 кг/кг;
- для формальдегида с 0,0068 до 0,0082 кг/кг.

Иными словами, на поверхности цеолита сорбция всех загрязнителей протекает медленнее, особенно для оксида углерода (II) – практически в 4,8 раза.

Таким образом, величина адсорбции всех исследуемых газообразных загрязнителей зависит от температуры наружного воздуха на входе в клапан приточной принудительной вентиляции. С ростом температуры от $-11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а затем до $+27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ запас молекул газов оксида углерода (II) CO, углеводородов алифатических, фенола, формальдегида увеличивается, т.е. среднее время пребывания молекул на сорбентах шунгите, цеолите меньше, за счет этого показатель предела адсорбции (Г, кг/кг) уменьшается, процесс адсорбции замедляется. Для большинства территорий Российской Федерации характерны отрицательные среднемесячные температуры в весенний период от $-13,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-5,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, в осенний период – от $10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому клапан в осенне-зимний и весенний периоды будет работать эффективнее.

Следует отметить, что все сорбенты недостаточно поглощают органическое вещество формальдегид (предел адсорбции по ним от 0,006 до 0,021 кг/кг). В связи с этим в клапане приточной принудительной вентиляции используется процесс фотокаталитического окисления органических веществ до простых безопасных соединений УФ-излучением двумя лампами, так как сорбенты имеют невысокую сорбцию по отношению к фенолу, формальдегиду, а также углеводородам алифатическим.

Выводы:

1. Проведено теоретическое обоснование конструктивных особенностей приточного клапана в наружной стене здания с использованием очистки воздуха:

– на основе экспериментальных данных получена формула для расчета массы сорбента в зависимости от времени сорбции для сорбентов шунгита и цеолита;

– получена формула для расчета высоты слоя сорбента (шунгита, цеолита) в приточном клапане в зависимости от диаметра приточного клапана, а также времени сорбции и физико-химических свойств сорбента (плотности сорбента, динамической активности и активности десорбции).

2. Проведено моделирование процесса сорбции шунгита и цеолита газообразных загрязнителей: оксида углерода (II) CO, углеводов алифатических, фенола, формальдегида. Самый высокий показатель предела адсорбции отмечен у шунгита (0,77 кг/кг) по отношению к CO, углеводам алифатическим (0,315 кг/кг).

3. При анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте шунгите при различных температурах выяснено, что при отрицательных температурах предел адсорбции возрастает:

– для оксида углерода (II) CO увеличился с 0,771 до 0,895 кг/кг, при этом сорбент шунгит имеет самую высокую сорбцию к CO по сравнению с цеолитом;

– для углеводов алифатических – с 0,315 до 0,348 кг/кг,

– недостаточная сорбция по формальдегиду – с 0,021 до 0,023 кг/кг.

– для фенола предел адсорбции увеличился с 0,179 до 0,241 кг/кг.

4. При сравнительном анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте цеолите при различных температурах выяснено, что:

– предел адсорбции по CO увеличился с 0,167 до 0,183 кг/кг;

– по углеводам алифатическим – с 0,338 до 0,360 кг/кг;

– для фенола увеличился с 0,198 до 0,3807 кг/кг;

– для формальдегида – с 0,0068 до 0,0082 кг/кг.

5. Клапан приточной принудительной вентиляции внедрен при строительстве поселка Березняковский, расположенного вблизи магистрали интенсивностью более 1500–2000 авт./ч на территории г. Тюмени, отмечен медалью и областной премией В.И. Муравленко «За оздоровление и разработку мероприятий по охране окружающей среды», золотым сертификатом Международного проекта фонда В.И. Вернадского.

Библиографический список

1. Ливчак В.И. Решения по вентиляции многоэтажных жилых зданий // АВОК. – 1999. – № 6. – С. 21–25.
2. Мастеров И.В. Вентиляция. – СПб.: ДИЛЯ, 2005. – 192 с.
3. Ливчак И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых зданий. – М.: АВОК–ПРЕСС, 2005. – 136 с.
4. Ливчак И.Ф. Развитие теплоснабжения, климатизации в России за 100 последних лет. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 149 с.

5. Малахов П.В. Проект естественно-механической вентиляции жилого дома в Москве // АВОК. – 2003. – № 3. – С.12–17.
6. Малявина Е.Г. Воздушный режим высотного здания в течение года // АВОК. – 2003. – № 6. – С. 14.
7. Сазонов Э.В. Организация и расчет воздухообмена помещений. – Воронеж: ВВАА, 2000. – 109 с.
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. – P. 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. – P. 529–533.
10. Клапан приточной вентиляции: пат. Рос. Федерация / Балобанов С.А. – № 177 794 U1; заявл.22.06.17; опубл. 13.03.18. Бюл. № 8. – 6 с.
11. Вентиляционное устройство: пат. Рос. Федерация / Исенов К.А. – № 136541; заяв. 17.01.2012; опубл. 10.01.2014. Бюл. № 11. – 5 с.
12. Устройство приточной вентиляции: пат. Рос. Федерация / Трубицын Д.А., Волков Д.С. – № 153181 U1; заявл. 06.03.14; опубл. 10.07.15. Бюл. № 19. – 6 с.
13. Стенной проветриватель : пат. Рос. Федерация / Клапишевский А.С., Цьомык А.М. – № 83318 U1; заявл. 01.12.08; опубл. 27.05.09. Бюл. № 21. – 5 с.
14. Литвинова Н.А. Улучшение качества воздушной среды помещений с учетом качества наружного воздуха: монография. – Тюмень: ТИУ, 2019. – 160 с.
15. Литвинова Н.А. Вентиляция и качество воздуха в зданиях городской среды: монография. – М.: Инфра-М, 2019. – 170 с.

References

1. Livchak V.I. Reshenija po ventiljacii mnogojzaznyh zhilyh zdanij [Solutions for ventilation of multi-storey residential buildings]. *AVOK*, 1999, no 6, pp. 21–25.
2. Masterov I.V. Ventiljacija [Ventilation]. Sankt-Peterburg, Dilya, 2005, 192 p.
3. Livchak I.F. Ventiljacija mnogojzaznyh zhilyh zdanij [Ventilation of multi-storey residential buildings]. Moscow, AVOK press, 2005, 136 p.
4. Livchak I.F. Razvitie teplosnabzhenija, klimatizacii v Rossii za 100 poslednih let [Development of heat supply and climate control in Russia over the last 100 years]. Moscow, Publishing house Of the Association of construction universities, 2004, 149 p.
5. Malahov P.V. Proekt estestvenno-mehanicheskoj ventiljacii zhilogo doma v Moskve [Project of natural-mechanical ventilation of a residential building in Moscow]. *AVOK*, 2003, no.3, pp. 12–17.
6. Maljavina E.G. Vozdushnyj rezhim vysotnogo zdanija v techenie goda [Air mode of a high-rise building during the year]. *AVOK*, 2003, no 6, pp. 14.
7. Sazonov Je.V. Organizacija i raschet vozduhoobmena pomeshhenij [Organization and calculation of air exchange of premises]. Voronezh, VVAA, 2000, 109 p.
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. Balobanov S.A. Klapan pritochnoj ventiljacii [Supply ventilation valve]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 177 794 U1 (2018).
11. Isenov K.A. Ventiljacionnoe ustrojstvo [Ventilation device]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 136541 (2014).
12. Trubicyn D.A., Volkov D.S. Ustrojstvo pritochnoj ventiljacii [The system of forced ventilation]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 153181 U1 (2015).
13. Klapishevskij A.S., C'omyk A.M. Stennoj provetrivatel' [Wall ventilator]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 83318 U1 (2009).

14. Litvinova N.A. Uluchshenie kachestva vozduшной sredey pomeshhenij s uchetom kachestva naruzhnogo vozduha [Improving the quality of the indoor air environment taking into account the quality of the outdoor air]. Tyumen, TIU, 2019, 160 p.

15. Litvinova N.A. Ventiljacija i kachestvo vozduha v zdaniyah gorodskoj sredey [Ventilation and air quality in buildings of urban environment]. Moscow, Infra-M, 2019, 170 p.

Получено 06.05.2020

N. Litvinova

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE DESIGN OF SUPPLY VALVE WITH AIR FILTRATION

In the paper the design of a forced air supply ventilation valve located in the outer wall of the building using sorbents and photocatalytic oxidation of organic gases to safe compounds is presented. The chosen solution is theoretically substantiated by modeling the sorption process of the used sorbents in the supply valve of the ventilation system. Based on the experimental data, a formula was obtained for calculating the mass of the sorbent depending on the sorption time for schungite and zeolite, as well as a formula for calculating the height of the sorbent layer in the supply valve depending on the diameter of the supply valve, sorption time and physical and chemical properties of the sorbent (density, dynamic and desorption activity). Mathematical models of gas adsorption isotherms from motor transport at a constant air temperature were developed: Freundlich adsorption isotherms of carbon monoxide (II), aliphatic hydrocarbons, phenol, formaldehyde on the surfaces of such sorbents as schungite and zeolite. The highest index of the adsorption limit was observed in schungite (0.77 kg/kg) in relation to carbon (II) oxide, aliphatic hydrocarbons (0.315 kg/kg). When analyzing the gas adsorption isotherms on the sorbent schungite at various temperatures, it was found that at negative temperatures, the adsorption limit increases: for carbon (II) oxide it increased from 0.771 to 0.895 kg/kg, for aliphatic hydrocarbons from 0.315 to 0.348 kg/kg, insufficient sorption for formaldehyde from 0.021 to 0.023 kg/kg, for phenol, the adsorption limit increased from 0.179 to 0.241 kg/kg. This valve can be used in multi-storey residential construction in conditions of increased atmospheric pollution.

Keywords: valve, air filtration, sorption, schungite, zeolite, carbon monoxide (II), aliphatic hydrocarbons, phenol, formaldehyde.

Литвинова Наталья Анатольевна (Тюмень, Россия) – канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры техносферной безопасности, Институт сервиса и отраслевого управления, Тюменский индустриальный университет (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, e-mail: litvinova2010-litvinova2010@yandex.ru).

Natalia Litvinova (Tyumen, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technosphere Safety, Institute of Service and Industry Management, Tyumen Industrial University (TIU) (38 Volodarsky st., 625000, Tyumen, e-mail: litvinova2010-litvinova2010@yandex.ru).