

Экспериментальное исследование эффективности сорбентов на основе строительных вяжущих смесей и пористых зернистых материалов для очистки приточного воздуха в зданиях

Н.А. Литвинова², В.Н. Азаров¹, А.Ф. Шаповал², М.Н. Чекардовский²

¹Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

²Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Аннотация: Исследована эффективность очистки воздуха следующими сорбентами: измельченный керамзит с размерами гранул до 2-3 мм, цеолит с размерами гранул до 1-3 мм, активированный уголь с гранулами до 3 мм, природный минерал пиролюзит в качестве катализатора, портландцемент, приготовленный с помощью разных методов: с добавлением 6% раствора поваренной соли, с замачиванием гранул в 26%, 31% и 36% растворах диэтаноламина. Исследования показали, что наиболее эффективно (98%) использование гранул пиролюзита, гранул портландцемента, полученных после смешения портландцемента с 6%-ным раствором хлорида натрия, с замачиванием в 31%-ном диэтанолаmine и последующим высушиванием гранул при температуре 125 °С.

Ключевые слова: измельченный керамзит, портландцемент, очистка, приточный воздух, диоксид серы, монооксид углерода, формальдегид, гранулы.

В настоящее время существуют различные методы очистки воздуха в помещениях от кислотных оксидов [1 – 3], включая монооксид углерода и органические загрязнители, разные виды пылей [4 – 6]: Способ очистки воздуха от оксида углерода и фильтрующий модуль для очистки воздуха от оксида углерода: Ерохин С.Н., Симаненков С.И., Симаненков Э.И., Путин С.Б., Гладышев Н.Ф. Патентообладатель ФГУП ТамбовНИИХИ. Патент на изобретение № 2 274 485 (13) С2. заявл. 06.07.2004; опубл. 20.04.2006. 6 с.

Очистка приточного воздуха в помещениях с использованием пористых строительных материалов, в том числе строительных вяжущих смесей, является актуальной темой. Например, портландцемент может быть использован для создания сорбента мелкой фракции. Для этого растворенная поваренная соль и диэтаноламин в различных концентрациях применяются после высушивания при определенной температуре. Поскольку портландцемент содержит оксиды кремния, оксид алюминия и оксиды кальция, он способен улавливать не только кислотные оксиды, но и

монооксид углерода. Керамическая крошка (измельченный керамзит), полученная из глинистых осадков, содержит карбонаты, щёлочи и кремнезём, что способствует улавливанию загрязнителей из воздуха. Кроме того, использование отходов железобетонных изделий и других строительных материалов для производства сорбентов представляет перспективное направление очистки приточного воздуха в системах вентиляции зданий.

Одним из известных методов получения сорбентов для очистки воздуха в помещениях административных, жилых зданий и рабочих зонах от кислотных оксидов является использование смеси портландцемента и опоки астраханской. Способ для очистки воздуха от паров воды, кислых газов и микроорганизмов в салонах (кабинах) транспортных средств и в помещениях: Алыков Н.М., Евсина Е.М., Евсин А.М. Патентообладатель: Евсина Е.М. Патент на изобретение № 2 473 383 С 2. заявл. 11.01.2011; опубл. 27.01.2013. 5 с.

Недостатком данного метода является отсутствие возможности удаления монооксида углерода из воздуха, так как этот газ достаточно устойчив и не подвержен осадкам в атмосфере. Кроме того, необходимо найти способы очистки атмосферного воздуха от органических веществ, таких как формальдегиды, которые являются продуктами неполного сгорания топлива на холостом ходу от дизельных транспортных средств. Формальдегид является одним из приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха, который подлежит обязательному мониторингу выбросов от передвижных источников в городе. Одним из способов решения проблемы очистки воздуха от монооксида углерода и органических веществ является использование специальных адсорбентов. Однако, необходимо провести дальнейшие исследования загрузок фильтров, чтобы найти наиболее

эффективные и экологически безопасные методы очистки поступающего воздуха от оксида углерода (II) и органических веществ в системах приточной вентиляции. Это важная задача, так как загрязнение воздуха имеет серьезные последствия для здоровья людей, находящихся в зданиях [7 – 9].

Недостатком существующих методов также является необходимость предварительной подготовки адсорбента. Кроме того, эти методы недостаточно эффективны для очистки воздуха от выхлопных газов автомобилей, даже фотокаталитические методы от кислотных оксидов [10].

В то же время недостаточно экспериментальных исследований, направленных на оценку и исследования эффективности очистки атмосферного поступающего воздуха в здания от диоксида серы и оксида углерода (II) с использованием сорбентов с природными цеолитами, измельченным керамзитом и катализатором (пирролюзитом, минералом).

Цель работы – исследовать эффективность использования вяжущих строительных смесей и пористых зернистых материалов в качестве сорбентов при очистке приточного воздуха в зданиях от выбросов автотранспорта.

Задачи: 1. Выяснить экспериментально наиболее эффективные сорбенты по очистке приточного воздуха от диоксида серы SO_2 , окиси углерода CO , формальдегида CH_2O на основе сыпучих материалов (измельченный керамзит) и на основе вяжущих веществ (портландцемента). 2. Для вариантов, имеющих наибольшую эффективность очистки воздуха, вывести уравнения для расчёта толщины (высоты) слоя сорбентов и массы сорбентов (измельченный керамзит и смесь из портландцемента) в приточных устройствах с круглым сечением.

Приборы и методы исследования

Провели экспериментальные исследования фильтрующих пористых

материалов. Пористые материалы выбраны: измельченный керамзит (гранулы до 2-3 мм), сорбент, полученный с помощью вяжущих смесей из портландцемента, сорбент цеолит (гранулы до 1-3 мм), минеральный пиролюзит (гранулы до 1 мм) в качестве катализатора, уголь с размерами гранул до 3 мм.

Портландцемент приготовлен различными способами в ходе экспериментальных исследований с использованием нового способа подготовки сорбента из портландцемента. Первоначально портландцемент смешивали с поваренной солью (NaCl), которая растворялась в воде с концентрацией 6% и использовалась в качестве основы. После этого гранулы портландцемента оставляли в растворах диэтиламина с различной концентрацией (26%, 31%, 36%), оставляли на 35 минут. Затем в лаборатории гранулы высушены для достижения относительной влажности до 3-4%.

Было осуществлено высушивание сорбентов из портландцемента при температуре не превышающей 125 °С.

Очистка воздуха включала прохождение загрязненного воздуха через комбинации сорбентов, созданных из строительных смесей и материалов: 1 – керамзитовая крошка; гранулы портландцемента, приготовленные с помощью 6%-ный NaCl; 26%-ный диэтиламина; 2 – керамзитовая крошка; цеолит; 3 – измельченный керамзит; пиролюзит; 4 – керамзитовая крошка; гранулы портландцемента, приготовленные с помощью 6%-ный NaCl; 31%-ный диэтиламин; 5 – керамзитовая крошка; портландцемент: 6%-ный NaCl; 35%-ный диэтиламина; 6 – цеолит; портландцемент: 6%-ный NaCl; 26%-ный диэтиламин; 7 – цеолит; пиролюзит; 8 – цеолит; портландцемент: 6%-ный NaCl; 31%-ный диэтиламин; 9 – цеолит; портландцемент: 6%-ный NaCl; 36 %-ный диэтиламин; 10 – пиролюзит; портландцемент; NaCl 26%-ный; диэтиламина; 11 – пиролюзит; цеолит; 12 – пиролюзит;

портландцемент: 6%-ный NaCl; 31%-ный диэтанолламин; 13 – пиролюзит; портландцемент: 6%-ный NaCl; 36%-ный диэтанолламин; 14 – активированный уголь; портландцемент: 6%-ный; NaCl 26%-ный диэтанолламин; 15 – активированный уголь; керамзитовая крошка; 16 – активированный уголь; пиролюзит; 17 – активированный уголь; портландцемент: 6%-ный NaCl; 31%-ный диэтанолламин; 18 – активированный уголь; портландцемент: 6%-ный NaCl; 36%-ный диэтанолламин.

Исследования качества очистки атмосферного воздуха проводилось с помощью приточного клапана круглого сечения в наружной стене, в котором можно менять фильтрующие материалы: 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.

Концентрации диоксида серы, монооксида углерода, формальдегида также измерялись снаружи и внутри помещений зданий. Через некоторое время оценена эффективность очистки поступающего воздуха. Оценена как температура, так и относительная влажность воздуха наружного, включая метеорологические параметры внутри помещений.

Используя ANCAT 7674, HANK 4, термоанемометр testo 425 и термогигрометр Iva-6, сертифицированные газоанализаторы определяли концентрации загрязняющих веществ. Параметры микроклимата определялись с использованием термоанемометров и термогигрометров.

Выбраны помещения на нижних этажах зданий, где обнаружены высокие уровни газообразных примесей, таких как диоксид серы, монооксид углерода (II) и формальдегид. Эти загрязняющие вещества также находятся в наружном воздухе, где они могут достигать ЗПДК_{сс} от выбросов

транспортных средств.

Результаты и их обсуждение

Варианты исследований обоснованы предварительно составленной матрицей планирования эксперимента. По результатам исследований получена экспериментально эффективность очистки воздуха выбранных вариантов от газообразных веществ, в том числе кислотного оксида, диоксида серы (таблица 1).

В таблице 1 перечислены исследованные варианты наиболее эффективные по очистке воздуха от загрязнителей.

Таблица №1

Наиболее эффективные варианты по очистке атмосферного воздуха от диоксида серы, окиси углерода (II), формальдегида с использованием сорбентов на основе строительных связующих и пористых материалов

Вариации исследований	Эффективность качества очистки, %		
	SO ₂	CO	CH ₂ O
4 – керамическая крошка; гранулы портландцемента, приготовленные с помощью 6%-ный NaCl; 31%-ный диэтаноламин	95	92	81
5 – керамическая крошка; портландцемент: 6%-ный NaCl; 36%-ный диэтанолamina	97	93	85
10 – пиролюзит; портландцемент; NaCl 26%-ный; диэтанолamina	93	92	77
11 – пиролюзит; цеолит	88	84	57
12 – пиролюзит; портландцемент: 6%-ный NaCl; 31%-ный диэтаноламин	98	92	83
13 – пиролюзит; портландцемент: 6%-ный NaCl; 36%-ный диэтаноламин	97	90	89

15 – активированный уголь; керамическая крошка	69	66	46
---	----	----	----

Экспериментальные данные показали (таблица 1), что 12 вариант (пиролюзит; портландцемент, приготовленного с 6%-ным NaCl; 31% диэтанолamina) от диоксида серы имеет высокую эффективность очистки 98%, в то время как 15 вариант (активированный уголь; керамическая крошка) имел наименьшую эффективность очистки от 69%.

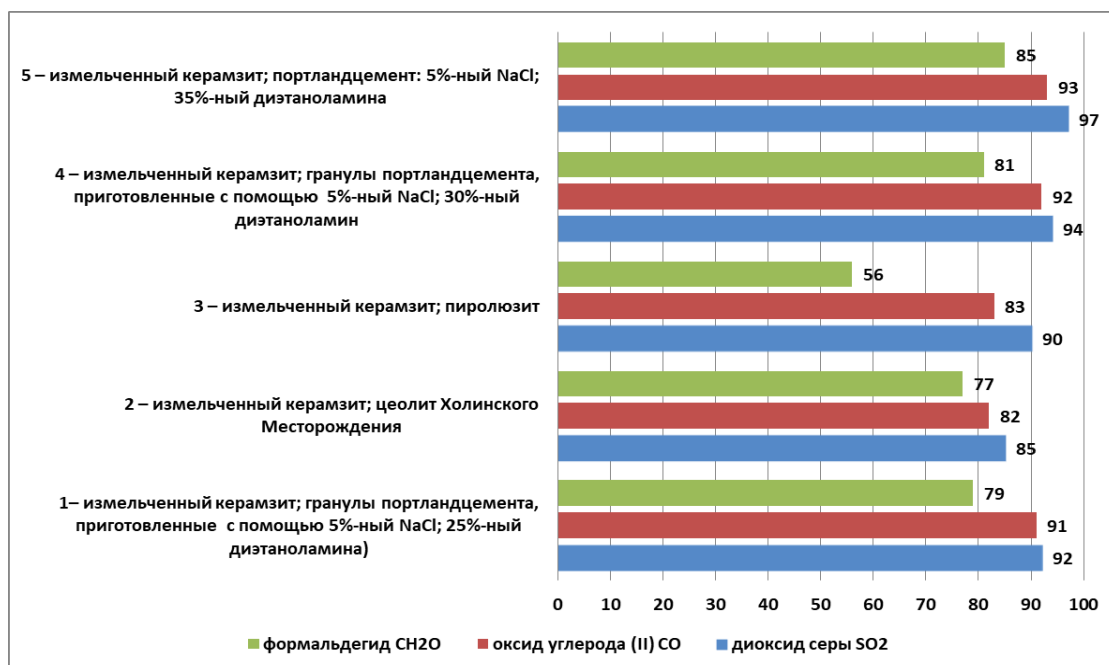


Рис.1. – Эффективность очистки атмосферного воздуха (%) с помощью вариантов с 1-5 с измельченным керамзитом

По монооксиду углерода следующие варианты исследований имели высокую степень очистки воздуха до 91-92%: 4 – керамзитовая крошка; портландцемент: 6% NaCl; 31% диэтанолamin; 5 – керамзитовая крошка; портландцемент: 6% NaCl; 36% диэтанолamin), что представлено на рис.1; 10 – пиролюзит; портландцемент: 6% NaCl; 26% диэтанолamin; 11 –

пиролюзит; цеолит; 12 – пиролюзит; портландцемент: 6% NaCl; диэтаноламин 31%. Минимальный показатель эффективности очистки воздуха по варианту 15 (активированный уголь; керамзитовая крошка) – 66%. По формальдегиду наиболее высокие показатели эффективности по очистке воздуха имел 13-й вариант (пиролюзит; портландцемент; 6% NaCl; 36% диэтаноламин) – 89% и 12-й вариант (пиролюзит; портландцемент: 6% NaCl; 31% диэтаноламин), низкий. Очистка в фильтрах приточного воздуха в 15 вариантах (активированный уголь; измельченный керамзит) – 46% (рис.2).

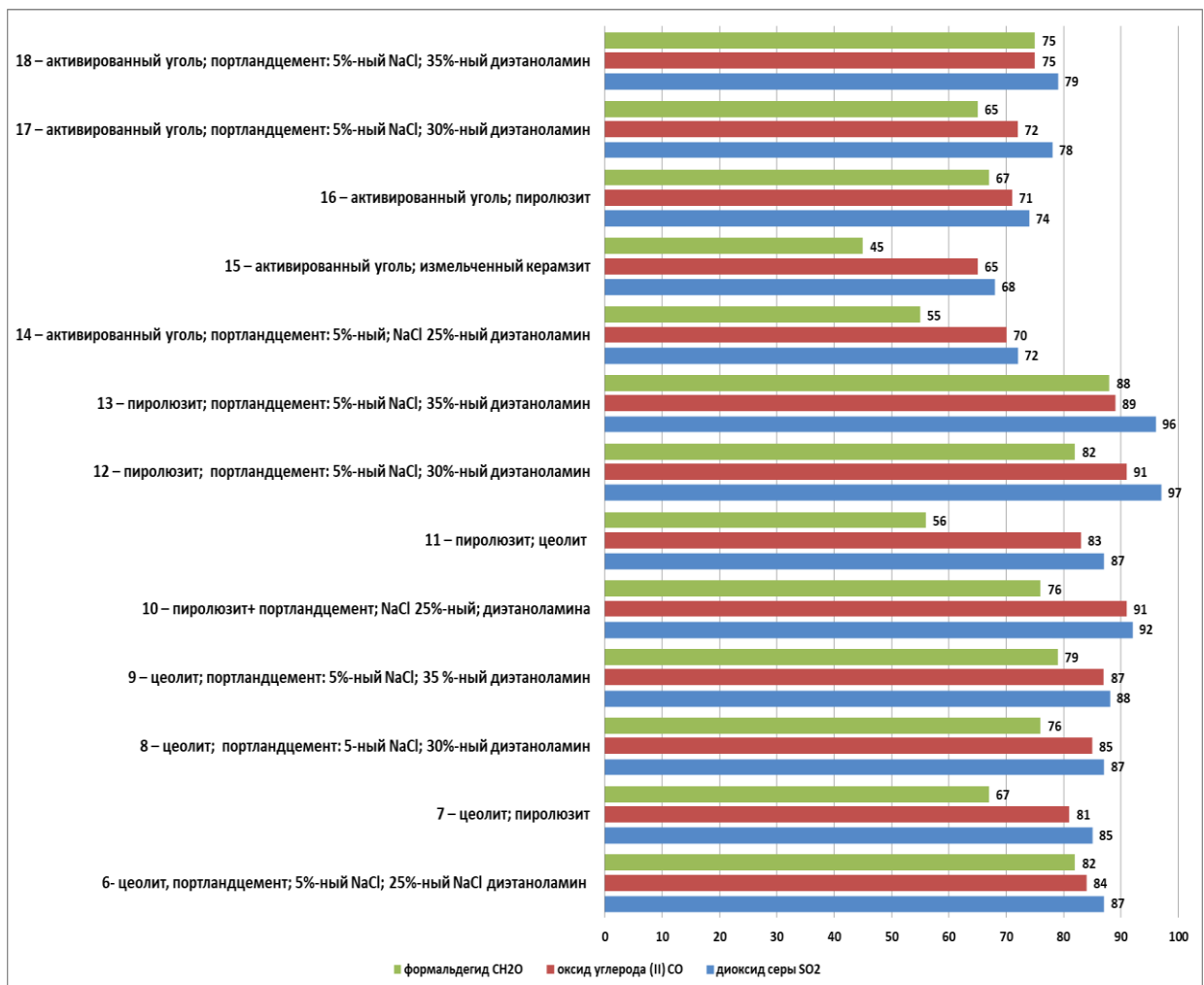


Рис.2. – Эффективность очистки атмосферного воздуха (%) с помощью вариантов с 6-18 с сорбентами, полученных из портландцемента

При увеличении концентрации диэтанолamina (спиртового раствора с основными свойствами) с 26 до 36% (рис.2) эффективность очистки приточного воздуха возрастает за счет восстановления хлорид-ионов из раствора хлорида натрия. Кроме того, из пиролюзита и сорбентов, приготовленных по предлагаемым способам с портландцементом, увеличивается улавливание окиси углерода до 81-91%.

Измельченный керамзит и активированный уголь недостаточно эффективны от кислотных оксидов, в частности от диоксида серы, органических загрязнителей, требующих окисления до безопасных соединений (углекислого газа, воды).

Поэтому необходимо последовательно очищать приточный воздух от кислотных оксидов, угарного газа, органических загрязнителей (формальдегида) с помощью пористых природных сорбентов и соединений со строительными составами по предлагаемому способу очистки.

Для вариантов, имеющих наибольшую эффективность очистки воздуха, представлены уравнения (1)-(4) для расчёта оптимальных параметров загрузок фильтров (измельченный керамзит и гранулы, приготовленные из портландцемента) в приточных устройствах систем вентиляции круглого сечения, находящихся в наружной стене.

Для измельченного керамзита толщина (высота) его слоя, м:

$$H(t) = \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,787 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (0,037 \cdot t^2 + 4,567t + 3,067) \quad (1)$$

где Q – расход газа (воздуха, проходящего через фильтры), м³/ч; t – время, ч; X_2 – активность динамическая измельченного керамзита, %; X_1 – активность остаточная, после десорбции измельченного керамзита, %; ρ – плотность для измельченного керамзита, кг/м³; D – диаметр, м.

Необходимая масса (мг) для измельченного керамзита для фильтров в зависимости от времени пропускания воздуха:

$$G(t) = \frac{0,132 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,037 \cdot t^2 + 4,567t + 3,067), \quad (2)$$

где Q – расход газа (воздуха, проходящего через фильтры), м³/ч; t – время, ч; X_2 – активность динамическая керамзита измельченного, %; X_1 – активность остаточная, после десорбции керамзита измельченного, %; ρ – плотность для керамзита измельченного, кг/м³; D – диаметр, м.

Для сорбента из портландцемента, приготовленного по способу: NaCl 6%-ный; 36%-ный диэтанолламин высота слоя составить по уравнению (3):

$$H(t) = \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,787 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (8,476t + 6,066), \quad (3)$$

где Q – расход газа (воздуха, проходящего через фильтры), м³/ч; t – время, ч; X_2 – активность динамическая гранул из портландцемента, %; X_1 – активность остаточная, после десорбции сорбента из портландцемента, %; ρ – плотность для сорбента из портландцемента, кг/м³; D – диаметр, м.

Необходимая масса $G(t)$, мг для сорбента, приготовленного из портландцемента с помощью 6%-ного NaCl; 36%-ного диэтанолламина в зависимости от времени пропускания воздуха:

$$G(t) = \frac{0,132 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (8,466t + 6,066), \quad (4)$$

где Q – расход газа (воздуха, проходящего через фильтры), м³/ч; t – время, ч; X_2 – активность динамическая гранул из портландцемента, %; X_1 – активность остаточная, после десорбции гранул из портландцемента, %; ρ – плотность для портландцемента, кг/м³; D – диаметр, м.

Предлагаемые уравнения (1)-(4) позволяют определить необходимую толщину сорбционных слоев из сыпучего строительного материала измельченного керамзита или вяжущих смесей (портландцемента).

Заключение

1. По результатам экспериментальных исследований выявлено, что наилучший показатель при последовательной очистке поступающего воздуха от диоксида серы достигается при использовании 12 варианта очистки. Этот вариант включает в себя использование пиролюзита, портландцемента, приготовленного с помощью 6%-ного раствора хлорида натрия, а также 31%-ного диэтанолamina. Эффективность очистки при таком способе очистки составляет 98%. С другой стороны, наименьшая эффективность очистки отмечена у 15 варианта, который включает использование активированного угля и измельченного керамзита.

2. Значительные результаты в очистке воздуха от монооксида углерода были достигнуты в нескольких исследованиях. В четырех вариантах исследований (с использованием измельченного керамзита, портландцемента, приготовленного с помощью 6%-ного NaCl, 31%-ного диэтанолamina и смеси измельченного керамзита, портландцемента и 6%-ного NaCl, 36%-ного диэтанолamina) достигнуто очищение воздуха на уровне 92%.

В 10-м варианте исследования использовался пиролюзит, портландцемент, 6%-ный NaCl и 26%-ный диэтанолamin, что привело к очистке воздуха также на 92%.

3. В 11-ом варианте использовался пиролюзит и цеолит, при этом достигнута очистка воздуха на невысоком уровне. В 12-м варианте исследования использовался пиролюзит, портландцемент, 6%-ный NaCl и 31%-ный диэтанолamin, что привело к наименьшим результатам очистки воздуха – всего 66%.

4. Повышение концентрации диэтанолamina с 26% до 36% приводит к улучшению эффективности очистки атмосферного воздуха за счёт снижения

содержания хлорид-ионов от раствора поваренной соли. Кроме того, совместное применение пиролюзита и сорбентов на основе портландцемента, приготовленных различными способами, позволяет достичь захвата монооксида углерода на уровне 81-91%.

5. Впервые получены уравнения для определения оптимальных параметров фильтров из сыпучих строительных материалов и материалов связующего типа для приточных устройств вентиляции круглого сечения, которые обеспечивают наилучшую очистку воздуха от загрязнений.

Литература

1. Литвинова Н.А., Азаров В.Н., Шаповал А.Ф., Брюханова Р.Я. Исследование влияния на эффективность очистки приточного воздуха в клапанах приточной системы вентиляции интенсивности ультрафиолетового излучения совместно с послойно расположенными сорбентами // Инженерный вестник Дона, 2022, №11. URL.: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7984.

2. 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.

3. Мусина У.И. Очистка выхлопных газов автотранспорта с помощью коксуской шунгитистой породы // Вестник КазНТУ. 2012. №3 (91). С. 62-66.

4. 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.

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

6. Delp W.W, Singer B.C. Performance assessment of US residential cooking exhaust hoods // Environ Sci Technol. 2012. №46 (11). pp. 6167–6173.
7. 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.
8. Gallego E., Roca F.X, Guardino X, Rosell M.G. Indoor and outdoor BTX levels in Barce-lona City metropolitan area and Catalan rural areas // Journal of Environmental Sciences. 2008. №20 (9). pp. 1063-1069.
9. Dor F., Le Moullec Y., Festy B. Exposure of city residents to carbon monoxide and monocyclic aromatic hydrocarbons during commuting trips in the Paris metropolitan area // Journal of the Air and Waste Management Association, 1995. №45(2). pp. 103-110.
10. Зайнишев А.В. Особенности процесса управления работой фотокаталитического воздухоочистителя // Безопасность жизнедеятельности. 2015. № 12. С. 11–14.

References

1. Litvinova N.A., Azarov V.N., Shapoval A.F., Bryuhanova R.Ya. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7984.
2. 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.
3. Musina U.I. Vestnik KazNTU. 2012. №3 (91). pp. 62-66.
4. 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. Zajnishev A.V., Polunin G.A., YUsupov R.H., Panferov V.I. Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 2014. № 4. pp. 17–18.



6. Delp W.W, Singer B.C. Environ Sci Technol. 2012. №46 (11). pp. 6167–6173.
7. Samoli E., Analitis A., Touloumi G. Environ Health Pers. №113 (1). pp. 88-95.
8. Gallego E., Roca F.X, Guardino X., Rosell M.G. Journal of Environmental Sciences. 2008. №20 (9). pp. 1063-1069.
9. Dor F., Le Moullec Y., Festy B. Journal of the Air and Waste Management Association, 1995. №45 (2). pp. 103-110.
10. Zajnishev A.V. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2015. № 12. pp. 11–14.

Дата поступления: 10.11.2023

Дата публикации: 19.12.2023