

УДК 502/504 : 699.871

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Поступила 05.03.2015 г.

© **В. В. Курылев, С. Н. Владимиров***

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», г. Москва
* Ответственный автор: snvl@mail.ru

FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF THE CATALYTIC PURIFICATION OF AIR FROM POLLUTANTS

Received March 5, 2015

© **V. V. Kurylev, S. N. Vladimirov***

Moscow State University of Mechanical Engineering, Moscow
* Corresponding author: snvl@mail.ru

В статье изучены влияние интенсивности ультрафиолетового излучения на носитель фотокаталитической очистки воздуха. Проведены исследования и сделан выбор материала на основе долговечности его работы, стойкости и эффективности очистки воздуха. Отмечается, что носителями катализатора могут быть нетканые материалы, стеклянные шарики различного размера, пористая керамика, бумага и др. Определена методика нанесения фотокатализатора на материал носителя. Спроектирована и изготовлена экспериментальная установка для определения статического сопротивления воздушному потоку. Рассмотрено устройство экспериментальной установки для определения статического сопротивления воздушному потоку. Исходя из полученных результатов отмечаем, что минимальное сопротивление любому потоку воздуха создает синтетический нетканый материал на основе ПЭТФ. Нетканый материал на основе натуральной шерсти удерживает частицы фотокатализатора и создает относительно небольшое сопротивление при больших скоростях воздушного потока. Носители из спеченных стеклянных шариков не теряют наночастицы при любых скоростях потока.

Ключевые слова: очистка воздуха, фотокатализ, нетканые материалы, волокна полипропилена и полиэтилентерефталата, наночастицы.

Эффективность работы фотокаталитического очистителя воздуха зависит от свойств носителя фотокатализатора и срока его службы [1]. Носителями катализатора могут быть: нетканые материалы, стеклянные шарики различного размера, пористая керамика, бумага и т. д. При этом они не должны деградировать под действием ультрафиолетового (УФ) излучения, т. к. все реакции происходят при УФ с длиной волны $\lambda = 320...400$ нм и $280...320$ нм. В некоторых экспериментальных случаях, при высоких концентрациях $C \geq 100$ ppm для ароматических углеводородов в воздухе применяются лампы УФ в диапазоне 280 нм и менее.

Скорость разложения загрязнителей воздуха будет зависеть от количества све-

In the article, the influence of the intensity of ultraviolet radiation to the media photocatalytic air purification. Conducted research and made a choice of material based on its durability performance, resistance and efficiency of air purification. It is noted that the substrate can be nonwoven materials, glass balls of various size, porous ceramics, paper, etc. Defined methods of applying the photocatalyst to the carrier material. Designed and manufactured experimental setup to determine the static resistance to air flow. Reviewed the design of the experimental setup to determine the static resistance to air flow. Based on the obtained results we note that the minimum resistance to any air flow creates a synthetic non-woven material based on polyethylene terephthalate. Non-woven fabric based on natural wool keeps the particles of photocatalyst and creates a relatively small resistance at high speed air flow. Media made from sintered glass beads do not lose the nanoparticles at any speed of flow.

Keywords: air purification, photocatalysis, non-woven materials, fibers of polypropylene and polyethylene terephthalate, nanoparticles.

товой энергии, падающей на поверхность наночастиц фотокатализатора, при этом микрочастицы фотокатализатора должны прочно связываться с носителем, а структура носителя катализатора не должна создавать определенного (критического) сопротивления воздушному потоку и иметь большую, доступную УФ излучению поверхность. Последние требования обусловлены вероятностью потерей частиц фотокатализатора носителем при высоких скоростях воздушного потока от 5 до 15 м/с, а также возможной вибрацией [2].

Для практического использования в воздухоочистительном оборудовании изучены материалы на основе натуральной шерсти, нетканые материалы – на основе волокон полипропилена

и полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и носители, спеченные из стеклянных шариков (марка КЭК) диаметром 0,6...0,8 мм.

В целях определения устойчивости образцов материалов к УФ свету сконструирована исследовательская установка, моделирующая условия реальной работы носителя в фотокаталитическом воздухоочистителе. Схема установки представлена на рисунке 1.

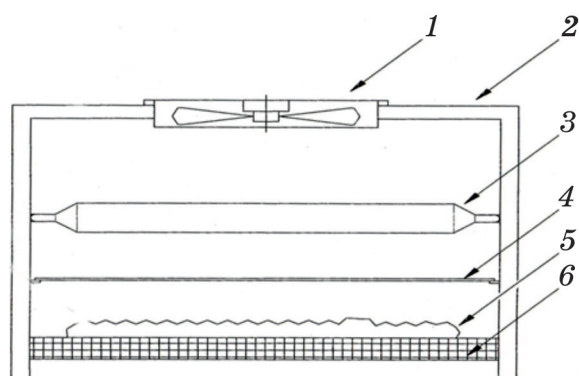


Рис. 1. Схема установки, моделирующей условия работы носителя фотокатализатора: 1 - вентилятор; 2 - кожух; 3 - дуговая ртутная лампа; 4 - светофильтр; 5 - образец испытываемого носителя; 6 - сетка

В установку помещали изучаемый образец материала и подвергали УФ облучению дуговой ртутной лампой ДРЛ-500 с диапазоном излучения, представленном на рисунке 2.

Избыточное тепло, излучаемое лампой, удаляется из установки вентилятором со скоростью $V_{\text{вент.}} = 160 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для носителей катализатора время работы без потери физико-химических свойств в реальных условиях определялось по зависимости:

$$T_{\text{раб}} = T_{\text{эксп}} \cdot I_{\text{эксп}} / I_{\text{раб}}$$

где $T_{\text{раб}}$ - время, в течение которого носитель не должен разрушаться и изменять свои свойства; $T_{\text{эксп}}$ - время проведения эксперимента в лаборатории; $I_{\text{эксп}}$ - интенсивность светового потока в условиях эксперимента (280 мВт/см²); $I_{\text{раб}}$ - рабочая интенсивность света в реальных условиях (9,8 мВт/см²).

Продолжительность экспериментов составляла 19 дней при интенсивности УФ излучения на образце 280 мВт/см², что моделирует условия эксплуатации носителя в фотокаталитическом очистителе 1,5 года (интенсивность излучения в реальных условиях 9,2 мВт/см²). Расстояние от исследуемого объекта до лампы ДРЛ-500 составляло не менее 20 мм.

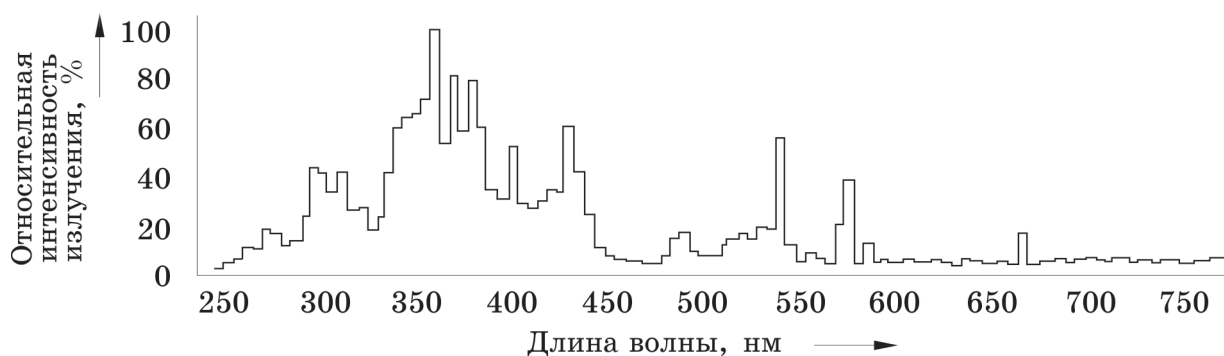


Рис. 2. Спектр лампы ДРЛ-500

В результате проведенных исследований было установлено следующее:

в образце материала на основе полипропилена происходило изменение структурных свойств волокна, что приводило к полному разрушению образцов. Следовательно, использование в качестве носителя фотокатализатора нетканого материала на основе полипропилена нецелесообразно из-за его неустойчивости к УФ облучению;

материалы на основе натуральной шерсти и спеченные стеклянные шарики не изменили своих прочностных и структурных свойств.

Диоксид титана является катализатором реакции окисления углеводородов при поглощении квантов света с длиной волны <400 нм с максимумом действия спектра при $\lambda = 360 \text{ нм}$. В процессе подготовки фотокатализатора частицы распределяются по всему объему носителя, что должно повлиять на прозрачность материала носителя. Поэтому необходимо было оценить прозрачность материала носителя в интервале λ от 200 до 400 нм. С этой целью были изучены спектры диффузного отражения исследуемых образцов. На рисунке 3 представлены спектры диффузного отражения образцов носителей.

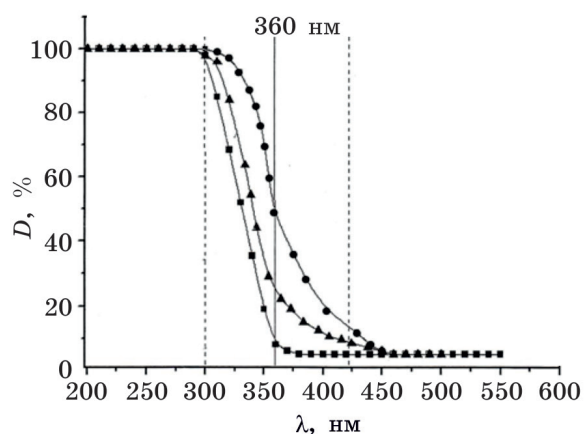


Рис. 3. Спектры диффузного отражения образцов носителей: ● – материал на основе натуральной шерсти; ▲ – волокнистый материал на основе ПЭТФ; ■ – спеченные стеклянные шарики

Наиболее прозрачным (см. рис. 3) является носитель из спеченных стеклянных шариков, который поглощает в исследуемом диапазоне длин волн менее 8 % света. Волокнистый нетканый материал на основе ПЭТФ поглощает до 25 % светового излучения на длине волны 360 нм, а примеси в волокнах материала на основе натуральной шерсти обуславливают довольно значительное (до 48 %) поглощение света при той же длине волн.

При работе воздухоочистителя через носитель катализатора проходят потоки воздуха со скоростями 0,1...15 м/с. При этом скорости могут вызывать значительные вибрационные нагрузки. Следовательно, важной качественной характеристикой носителя является прочность связи материала носителя с наночастицами фотокатализатора.

Для исследования образцов на прочность связи материала носителя с частицами фотокатализатора и для измерения статического сопротивления исследуемых образцов была спроектирована и изготовлена установка, показанная на рисунке 4.

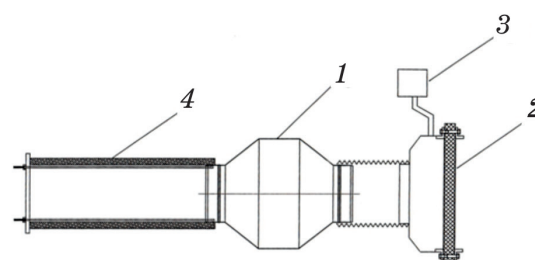


Рис. 4. Схема установки для определения статического сопротивления воздушному потоку: 1 – напорный вентилятор; 2 – образец носителя; 3 – датчик давления; 4 – пылевой фильтр

Нанесение фотокатализатора на материал носителя осуществлялось следующим образом: в ультразвуковой ванне в течение 15 минут готовилась водная суспензия с концентрацией фотокатализатора $C = 10$ г/л. Изучаемый образец материала опускался в суспензию на 30 с, а затем высушивался на воздухе. После сушки образец взвешивался на лабораторных весах (точность до 0,1 г).

Для создания воздушного потока в установке использовался напольный вентилятор ВК-350БИ. Образцы из нетканых синтетических материалов или ткани из природных волокон «одевались» в специальные пяльцы и вставлялись в воздуховод исследовательской установки (рис. 4).

Образцы из пористого стекла изготавливались в виде дисков диаметром 200 мм и устанавливались в воздуховод. Площадь всех исследуемых образцов составляла 0,12 м². Оценка прочности связи фотокатализатора с носителем определялась путем сравнения исходной массы образца с массой после продувки. Длительность эксперимента образцов при определенной скорости потока составляла по времени не менее 1 часа. Массы образцов до и после нанесения фотокатализатора приведена в таблице 1.

В таблице 2 представлены результаты уменьшения массы фотокатализатора на исследуемых носителях при различных скоростях воздушного потока. Статическое сопротивление, создаваемое материалом носителя, измерялось с помощью датчика давления Honeywell серии 170РС. Результаты исследования приведены в таблице 3 и на рисунке 5.

Таблица 1

Масса образцов до и после нанесения фотокатализатора

Наименование материала	Масса образца до нанесения, г	Масса образца после нанесения, г	Масса нанесенного фотокатализатора, г
Носитель из спеченных стеклянных шариков	216,30	218,10	1,8
Нетканый материал на основе натуральной шерсти	29,18	32,98	3,8
Нетканый синтетический материал на основе ПЭТФ	18,40	21,60	3,2

Таблица 2

**Уменьшение массы фотокатализатора на носителях при различных скоростях
воздушного потока**

Наименование материала	Скорость потока воздуха, м/с				
	0,1	1,0	5,0	10,0	15,0
Носитель из спеченных стеклянных шариков	0,0 (0%)	0,0 (0%)	0,0 (0%)	0,0 (0%)	0,0 (0%)
Нетканый материал на основе натуральной шерсти	0,0 (0%)	0,0 (0%)	0,2 (5,2%)	0,9 (23%)	1,3 (34%)
Нетканый синтетический материал на основе ПЭТФ	0,0 (0%)	0,0 (0%)	0,3 (9%)	1,1 (34%)	1,8 (56%)

Таблица 3

Сопротивление образцов носителей, Па

Наименование материала	Скорость потока воздуха, м/с				
	0,1	1,0	5,0	10,0	15,0
Материал на основе натуральной шерсти	0	2	8	31	53
Материал на основе волокон ПЭТФ	0	0	4	20	36
Спеченные стеклянные шарики	0	5	52	130	184

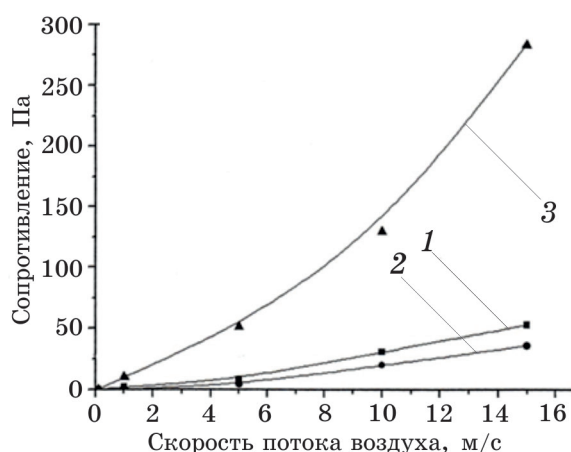


Рис. 5. Сопротивление образцов носителей воздушному потоку: 1 – нетканый материал на основе натуральной шерсти; 2 – волокнистый нетканый материал на основе ПЭТФ; 3 – стеклянные шарики

Исходя из полученных результатов отмечено, что минимальное сопротивление любому потоку воздуха создает синтетический нетканый материал на основе ПЭТФ. Однако, потери частиц фотокатализатора на скоростях потока >10 м/с составляют >50%. Оптимальная скорость воздушного потока для данного материала 0,1...10 м/с.

Нетканый материал на основе натуральной шерсти удерживает частицы фотокатализатора и создает относительно небольшое сопротивление при больших скоростях воздушного потока. Рекомендуется использовать этот материал при скорости потока >10 м/с.

Носители из спеченных стеклянных шариков не теряют наночастицы при любых скоростях потока. Однако, при скоростях потока от 5,0 до 15 м/с сопротивление

потоку очень высокое (50...100 Па). Использование этого носителя ограничено скоростями потока воздуха от 5 м/с и менее.

Заключение

На основании полученных результатов исследований в качестве носителя фотокатализатора в работе использовался в дальнейшем нетканый материал на основе ПЭТФ.

Библиографический список

1. Курылев В. В., Владимиров С. Н. Принципы очистки воздуха от газообразных загрязнителей фотокатализаторами на основе TiO₂ // Современные проблемы науки и образования. – 2014 г. – № 5 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/3/504.pdf> (Дата обращения 20.03.2015).

2. Курылев В. В., Владимиров С. Н. Испытание фотокаталитического очистителя воздуха в условиях, приближенных к условиям металлургического цеха. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-2. – С. 305–310.

3. Владимиров С. Н. Внедрение новых технологий в «НАК «АЗОТ» // Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 1(6). – С. 310–311.

4. Способ приготовления катализатора на основе диоксида титана: Пат. 2243033 (Российская Федерация, МПК В01J21/06, В01J37/02, С02F11/14, С02F1/32 / Д. В. Козлов [и др.]; заявитель и патентообладатель: Институт катализа им. Г.К.Борескова СО РАН. – ц 2003129079/04; заявл. 29.09.2003; опубл. 27.12.2004.