



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 697

## ПОРИСТЫЙ ПЫЛЕГАЗОУЛОВИТЕЛЬ С УПРАВЛЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ МИКРОКАНАЛОВ

Генбач А.А.,<sup>1</sup> Толегенулы А.

НАО «АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКОВА ДАУКЕЕВА», Алматы, Казахстан(050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Байтурсынулы, дом 126/1), e-mail: <sup>1</sup> tolegenov.adil@inbox.ru

В статье исследуется пористый пылегазоуловитель с управляемой геометрией микроканалов. Были рассмотрены недостатки акустического пылеуловителя и гидроакустического пылеподавления. Также описывается принцип работы и устройство управляющее микроканалами пористого материала. Были изучены процессы интенсификации путем воздействия на капиллярно-пористый материал. Проведены эксперименты по интенсивности процессов теплопереноса в зависимости от поперечного и продольного шагов отверстий перфорированной пластины. Определены расчеты на гидравлический диаметр пор и капилляров, и тем самым максимальное время пребывания частиц в объеме капиллярно-пористого материала.

Ключевые слова: Акустический пылеуловитель, звуковая энергия, перфорированные пластины, микроканалы, тепловая нагрузка.

## POROUS DUST AND GAS SEPARATOR WITH CONTROLLED GEOMETRY OF MICROCHANNELS

Genbach A.A.,<sup>1</sup> Tolegenuly A.

NJSC "ALMATY UNIVERSITY OF ENERGY AND COMMUNICATIONS NAMED AFTER GUMARBEKOV DAUKEYEV", Almaty, Kazakhstan (050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, Baitursynuly str., 126/1), e-mail: <sup>1</sup> tolegenov.adil@inbox.ru

The article studies a porous dust and gas collector with controlled geometry of microchannels. The disadvantages of an acoustic dust collector and hydroacoustic dust suppression were considered. The operating principle and device that controls microchannels of porous material are also described. Intensification processes were studied by influencing capillary-porous material. Experiments were carried out on the intensity of heat and mass transfer processes depending on the transverse and longitudinal pitches of the holes of the perforated plate. Calculations have been determined for the hydraulic diameter of pores and capillaries, and thus the maximum residence time of particles in the volume of capillary-porous material the article discusses

Keywords: Acoustic dust collector, sound energy, perforated plates, microchannels, thermal load.

Изобретение «Способ и устройство пылегазоулавливания» (а.с. 1601392. МКИ Е 21 F 5/00. 1990) относится к различным областям народного хозяйства для высокоэффективной очистки газа (воздуха) от микроскопической пыли (фракции размером менее  $5 \cdot 10^{-6}$  м) и ядовитых газовых компонентов, например, при сжигании топлива в теплоэнергетической,

металлургической, химической промышленности, при переработке и транспортировке материала в горнодобывающей промышленности [1].

Известен акустический пылеуловитель /а.с. 184212 Е 21 С (5в, 16), 1965/, содержащий камеру озвучивания, концентратор звуковой энергии в виде сетки, звуковые генераторы, статическую сирену, патрубки запыленного горячего газа, очищенного газа и жидкости, лабиринтный циклон тонкой очистки.

Недостатком акустического пылеуловителя является низкая эффективность улавливания микроскопической пыли, поскольку звуковая энергия используется с низким коэффициентом, основная ее доля гасится на начальном участке запыленного газа. Поэтому используется даже два звуковых генератора и концентратор звуковой энергии в виде сетки, которые требуют дополнительных затрат энергии, капитальных и эксплуатационных расходов, велика материалоемкость. Поскольку эффективность улавливания микроскопической пыли невысока, вкладываются дополнительные расходы на установку лабиринтного циклона тонкой очистки, что удорожает схему и снижает ее эксплуатационную надежность.

Известен гидроакустический способ пылеподавления, включающий гидроакустическое осаждение пыли, при котором пылевой аэрозоль подвергают воздействию каплями жидкости и акустическими колебаниями, полученными от струи до ее распада на капли /11, с.60/.

Недостатком способа является его низкая эффективность по улавливанию микроскопической пыли, поскольку звуковая энергия используется с низким коэффициентом, основная ее доля рассеивается на начальном участке пылегазового потока. Способ эффективен только для улавливания путем коагуляции крупной пыли высокой концентрации в очищаемом газе, требует больших затрат акустической мощности, достигающих до 25 Вт/м<sup>2</sup>, имеет высокое давление у оросителей, равное 0,8 Мпа, большой расход воды, составляемый 6 л/мин, в целом велики капитальные вложения в эксплуатационные расходы и может быть использован лишь как первая ступень очистки газов от микроскопической пыли.

Известен пылеуловитель (а.с. 1456608, МКИ Е 21 F 5/04, А 62 С 5/04, 1989), содержащий входной и выходной патрубки, капиллярно-пористый материал, распылитель в виде кольца со щелью, выполненную по образующей, установленного на торце материала, шламособорник.

Данный пылеуловитель обладает высокими пылеулавливающими свойствами, однако есть возможность дальнейшего увеличения эффективности улавливания микроскопической пыли при сохранении низких величин гидравлического и газодинамического сопротивлений, увеличения продолжительности работы между регенерациями, что позволяет упростить условия эксплуатации, снизить капитальные и эксплуатационные расходы, увеличив тем самым надежность, и срок службы. Требование увеличения времени работы устройства определено тем, что в капиллярно-пористых структурах содержатся сетки с мелкими ячейками  $0,08 \times 10^{-3}$ , причем нельзя управлять геометрией структуры в процессе эксплуатации пылеуловителя [2].

Для повышения эффективности улавливания микроскопической пыли и абсорбции ядовитых газовых компонентов, увеличения продолжительности работы между регенерацией в способе пылегазоулавливания, включающем гидроакустическое осаждение пыли, в отличие от известного, управление процессом микрогазодинамики многофазного микроструйного течения осуществляют путем возбуждения акустических колебаний в капиллярно-пористом материале и в пенном многофазном потоке, деформируя размеры и

формы микроканалов пор и капилляров по их сечению и оси с частотой, период которой не превышает продолжительность нахождения микроскопических пылинок и капелек в этих каналах.

В устройстве пылегазоулавливания, содержащем входной и выходной патрубки, капиллярно-пористый материал, распылитель в виде кольца со щелью, выполненную по образующей, установленного на торце материала, шламособорник, в отличие от известного, на свободном торце капиллярно-пористого материала установлена гибкая пластина, выполненная из упругого материала, скрепленная с перфорированными пластинами, присоединенная к вибратору, подключенному посредством штанги а акустическому генератору, причем перфорированные пластины охватывают прижимные отвороты распылителя с капиллярно-пористым материалом, который выполнен из эластичного полиуретана или из эластичной композиции с комплексом заданных свойств, причем гидравлический диаметр пор и капилляров в ненагруженном (свободном) состоянии равен  $0,14 \times 10^{-3}$  м. Кроме того, перфорированные пластины содержат отверстия, продольный и поперечный шаги которых равны между собой и составляют не менее ста гидравлических диаметров пор и капилляров капиллярно-пористого материала. Кроме того, вибратор выполнен цилиндрическим, работающим по кинематической схеме с возвратно-поступательным движением [3].

Поскольку в капиллярно-пористом материале, содержащем пенный поток, возбуждают акустические колебания в пылегазовом потоке, то это позволяет деформировать размеры и форму микроканалов пор и капилляров по сечению и оси с определенной частотой. Период частоты выбирается таким, чтобы он был не более продолжительности нахождения микрочастиц и микрокапелек в капиллярно-пористом материале для управления процессами микрогазодинамики по осаждению пылинок и капелек микроскопических размеров. При этом значительно повышается время пребывания пылинок, капелек и время контакта ядовитых газовых компонентов с пенообразующим раствором, за счет чего возрастает эффективность пылегазоулавливания путем осаждения и абсорбции в пенном потоке.

Описание преимущества способа могут быть аналитически выражены формулой:

$$\tau_1 = \frac{S}{v} \geq \tau_2 = \frac{1}{\nu}$$

$\tau_1$ -продолжительность нахождения микрочастиц и микрокапелек в капиллярно-пористом материале;  $S$  – толщина капиллярно-пористого материала;  $v$  – локальная скорость перемещения микрочастиц или микрокапелек;  $\tau_2$  – период акустических колебаний;  $\nu$  – частота акустических колебаний.

Проведены экспериментальные исследования по изучению механизма процессов теплопереноса в капиллярно-пористом материале с помощью голографической интерферометрии и скоростной киносъемки и показано, что за счет комбинированного действия массовых сил (гравитационных сил и сил давления) и капиллярных сил достигнута высокая устойчивость многофазного пограничного слоя, обеспечивающая интенсификацию процессов пылеулавливания и абсорбции ядовитых газовых компонентов в порах и капиллярах с управляемой геометрией. Оптимальным вариантом является капиллярно-пористый материал с гидравлическим диаметром  $0,14 \times 10^{-3}$  м, выполненный из эластичного полиуретана типа ППУ-ЭФ, либо из композиционного материала типа ППУ -202-1, причем

поперечный и продольный шаги отверстий перфорированных пластин, охватывающих материал, равны между собой и превышают гидравлическим диаметр пор и капилляров не менее, чем в сто раз. Гибкая пластина, выполненная из упругого материала и скрепленная с перфорированными пластинами, позволяет с наибольшим к.п.д. преобразовывать энергию акустических колебаний в деформацию пор и капилляров в кинематической схеме цилиндрического вибратора, совершающего возвратно-поступательное движение. Наличие прижимных отворотов создает герметизацию капиллярно-пористого материала в зоне его выхода из распылителя, что позволяет эффективно использовать пенообразующий раствор, исключая его утечки [4-5].

Приложенные рисунки изображают: устройство для осуществления способа, продольный разрез (рис. 6); капиллярно-пористый материал в свободном (ненагруженном) состоянии, поперечный разрез (рис. 7, а); капиллярно-пористый материал при воздействии на него акустических колебания, поперечный разрез (рис. 7, б).

Устройство состоит из патрубка 1 подвода запыленного газа и патрубка 2 отвода очищенного газа, которые разделены капиллярно-пористым материалом 3, выполненным, например, из эластичного полиуретана или эластичного композиционного материала с комплексом заданных свойств, причем капилляры и поры 4 имеют повышенный гидравлический диаметр, равный в ненагруженном (свободном) состоянии  $0,14 \times 10^{-3}$  м. Величина гидравлического диаметра определена экспериментально. Распылитель 5, выполненный в виде кольца со щелью по образующей трубы и снабженный пенообразующим раствором, установлен на торце капиллярно-пористого материала 3, причем последний закреплен между перфорированными пластинами 6 болтовыми соединениями 7 с прижимными отворотами 8. Пластины 6 содержат отверстия, продольный и поперечный шаги которые равны между собой и составляют не менее ста гидравлических диаметров пор и капилляров капиллярно-пористого материала 3, что также определено нами экспериментально. На свободном торце капиллярно-пористого материала 3 установлена гибкая пластина 9, выполненная из упругого материала, и скреплена винтами 10 к перфорированным пластинам 6. Пластина 9 присоединена к вибратору 11, например, цилиндрическому, который подключен посредством штанги 12 к акустическому генератору, выполненным, например, типа свистка Гартмана, задающему вибратору 11 режим работы по кинематической схеме 13 с возвратно-поступательным движением так, что частота колебаний имеет период, не превышающий продолжительность нахождения микрочастиц. Уловленные микроскопические пылинки и капельки, и абсорбированные ядовитые газовые компоненты в виде шлама собираются в шламособорнике 14, а очищенный газ отводится из патрубка 2 пылегазоуловителя.

Способ и устройство пылегазоулавливания работает следующим образом.

Пылегазовый поток 15 подают через патрубок 1 на капиллярно пористый материал 3, содержащий повышенные размеры пор и капилляров 4. Пенообразующий раствор 17 питает торцы капиллярно-пористого материала 3, расположенные в объеме распылителя 5. За счет действия массовых (гравитационных и сил давления) и капиллярных сил 18 в объеме и на поверхности капиллярно-пористого материала 3 создается весьма устойчивая пленка жидкости в многофазном пограничном слое, которая обеспечивает высокоинтенсивное протекание тепломассообменных процессов, причем оптимизация гидравлического диаметра

пор и капилляров 4 позволяет достигнуть сокращения расходов раствора при наибольшей эффективности очистки, сохраняя минимальные газогидродинамические сопротивления. Высокая эффективность пылеулавливания и абсорбции ядовитых газовых компонентов объясняется повышенной коагулирующей способностью газомеханической пены в порах и капиллярах 4 капиллярно-пористого материала 3 типа эластичного полиуретана ППУ-ЭФ, либо композиционного материала типа ППУ-202-1, причем поры и капилляры 4 изменяли свою геометрию так, что частота акустических колебаний вибратора 11 со штангой 12, совершающего возвратно-поступательное движение по кинематической схеме 13, через пластину 9, скрепленную винтом 10, имела период, который превышал продолжительности нахождения микрочастиц и микрокапелек 20, либо микрообъемов пенообразующего раствора 17, абсорбирующего ядовитые газовые компоненты. За счет этого происходит эффективное управление микрогазогидродинамикой процессов в микроканалах, увеличивается время пребывания частиц и повышается вероятность осаждения микропылинок и микрокапелек 21 на стенке пор и капилляров 4, а также улучшаются процессы абсорбции ядовитых газовых компонентов за счет их вынужденного сближения и касания со стенками каналов.

Определяющим в механизме улавливания микроскопической пыли 20 и абсорбции ядовитых газовых компонентов является увеличение времени пребывания частиц, капелек и газовых компонентов в микроканалах пор и капилляров 4 капиллярно-пористого материала 3. В этих условиях преобладающим является диффузионный микропроцесс, когда микропылинки 20 испытывают непрерывное воздействие молекул газа, находящегося в броуновском движении, причем подвижность частиц будет увеличена за счет явления термофореза, обусловленного разностью температур между скелетом пористого материала 3, пенного потока и частицами пыли 20, что позволяет управлять процессами микрогазогидродинамики пылинок 20, изменяя их траектории и существенно увеличивая вероятность их сближения и прилипания к стенкам каналов пор и капилляров 4. Положительную роль играет явление диффузиофореза, вызванное увеличившимся градиентом концентрации компонентов пенного потока за счет повышения интенсивности тепломассобменных процессов испарения пленок пенообразующего раствора 17 в объеме и на поверхности пористого материала 3. Существенный вклад в интенсификацию процессов внесен вибрацией, которая вызывает деформацию размеров пор и капилляров 4, что в целом отражено в высоких значениях коэффициентов тепломассообмена, полученных экспериментально. Известно также, что за счет вибрационных движений поверхности в виде вертикальных цилиндров интенсификация процессов увеличивается минимум как в два раза, а в некоторых случаях – до десяти раз.

В момент расширения микроканалов пор и капилляров 4 прилипшие микроскопические частички 21 сдуваются и удаляются в виде шлама 19 в шламособорник 14, из которого пылинки и ядовитые газовые компоненты могут утилизироваться. Поры и капилляры 4 будут восстанавливаться за счет внутренних упругих сил сжатия и расширения и за счет внешнего воздействия вибратора 11. Утечки пенообразующего раствора 17 будут исключены за счет конструктивного оформления распылителя 5, на выходе из которого капиллярно-пористый материал 3 зажимается между перфорированных пластин 6 прижимными отворотами 8 и болтовыми соединениями 7. Очищенный газ 16 отводится через патрубок 2 в атмосферу.

Экономический эффект от внедрения предложенного способа и устройства пылегазоулавливания имеет место за счет увеличения в сотни раз периода между регенерациями, сокращения в 1,5 раза расхода пенообразователя, что в 1,5 раза уменьшит затраты энергии на его перекачку, более полного использования энергии звуковых волн и уменьшения удельной акустической мощности в 3 раза, упрощения устройства. Упрощение условий эксплуатации, повышение надежности и срока службы устройства снижают капитальные и эксплуатационные затраты.

Социальный эффект от внедрения предлагаемого способа и устройства пылегазоулавливания достигается за счет более высокой эффективности улавливания микроскопической пыли, особенно опасной для организма человека, и абсорбции ядовитого газа в пенном потоке капиллярно-пористого материала с управляемой геометрией микроканалов.

В целом, предложенный способ и устройство пылегазоулавливания позволяет оздоровить воздушную среду на рабочих местах и экологическую обстановку в окружающей среде, сократить капитальные затраты и эксплуатационные расходы.

Процессы интенсификации изучались путем воздействия на капиллярно-пористый материал, имеющий повышенный размер капилляров и пор различного гидравлического диаметра, тепловой нагрузки, подводимой к поверхности материала. (Таблица 1).

Таблица 1 – Опытные данные по интенсификации процессов тепло и массопереноса, Вт/м<sup>2</sup> К

Гидравлический диаметр пор и капилляров, $d_2, \times 10^{-3}$ м.	Тепловая нагрузка, $\frac{Вт}{м^2} \times 10^4$				Эффективность осаждения частиц с $\delta \leq 5 \times 10^{-6}$ м, %
	1	2	4	6	
0,08	4210	4180	3230	3900	99,9
0,14	4115	4000	3100	3870	99,9
0,28	4000	3670	3000	3800	98,1

Интенсификация процессов в капиллярно-пористом материале зависела от шага отверстий перфорированных пластин, охватывающий капиллярно-пористый материал, причем экспериментально установлено, что когда поперечный и продольный шаги отверстий были равны между собой и превышали гидравлический диаметр пор и капилляров не менее, чем в сто раз, интенсивность процессов была максимальной (Таблица 2).

Таблица 2 – Опытные данные по интенсивности процессов тепломассопереноса в зависимости от поперечного и продольного шагов отверстий перфорированной пластины для  $d_2 = 0,14 \times 10^{-3} \text{ м}$

Отношение поперечного и продольного шагов отверстий относительно гидравлического диаметра пор и капилляров	Тепловая нагрузка, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \times 10^4$			
	1	2	4	6
25	3870	3820	2950	3700
50	3950	3900	3000	3825
75	4010	3950	3055	3850
100	4115	4000	3100	3870
125	4120	4010	3110	3875
150	4120	4005	3115	3870

Капиллярно-пористый материал с гидравлическим диаметром менее  $0,08 \times 10^{-3} \text{ м}$  не рассматривался, поскольку он имеет высокие гидрогазодинамические сопротивления, незначительную продолжительность между регенерацией, а пузыри пены закупоривают каналы, ухудшая процессы пеногенерации. Поры с размером более  $0,28 \times 10^{-3} \text{ м}$  также не представляют интерес, поскольку для них наблюдается снижение эффективности осаждения пылинок и капелек.

Гидравлический диаметр пор и капилляров определялся выражением:

$$d_r = \frac{4F}{u},$$

Где  $F$  – живое сечение пор и капилляров, усредненное по сечению материала;

$U$  – периметр живого сечения.

Подвод пенообразующего раствора (1% раствора ПО-1) осуществлялся из распылителя, выполненного в виде кольца со щелью по образующей, под действием гравитационных сил, сил давления и капиллярных сил, что позволило организовать устойчивый многофазный кипящий пограничный слой, для которого наибольшей форсировкой отличался материал с  $d_r = 0,14 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  с высокой эффективностью осаждения микроскопических частичек. Высокая эффективность пылеулавливания объясняется повышенной коагулирующей способностью газомеханической пены в порах и капиллярах капиллярно-пористого материала типа эластичного полиуретана ППУ-ЭФ, либо композиционного материала типа ППУ-202-1, на который воздействуют акустические колебания, частота которых определялась из условия максимальной интенсификации процессов пылеулавливания, которые имели место при толщине материала  $10 \times 10^{-3} \text{ м}$  и скорости запыленного потока  $3 \text{ м/с}$ . Акустический генератор может быть представлен в виде свистка Гартмана. Тогда максимальное время пребывания частиц в объеме капиллярно-пористого материала определится из выражения:

$$\tau_1 = \frac{\varepsilon s}{v} = 0,7 \cdot 10 \times \frac{10^{-3}}{3} = 2,33 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

Где  $\varepsilon$  – пористость материала.

Частота акустических колебаний должна быть не менее:

$$v = \frac{1}{\tau_2} \geq \frac{1}{\tau_1} = \frac{1}{2,33} \cdot 10^{-3} = 429 \text{ Гц}.$$

Где  $\tau_2$  – период акустических колебаний.

Характеристики и типы полиуретанов изучены в литературе /13. С. 37,65; 213/.

В предлагаемом изобретении повысится эффективность использования акустической мощности по сравнению с гидроакустическим способом пылеподавления /11/, где требуется мощность до 25 Вт/м<sup>2</sup>, причем к.п.д. не превышает 30%, поскольку 70% мощности рассеивается в пылевом потоке. В предлагаемом способе и устройстве пылеулавливания акустическая мощность расходуется на реализацию кинематической схемы, возвратно-поступательного движения вибратора, где к.п.д. достигает более 90%, то есть подведенная удельная мощность сократится до (8...10) Вт/м<sup>2</sup>.

Гидравлическое и газодинамическое сопротивления предлагаемого изобретения будут меньше в 1,5... 2 раза за счет увеличения гидравлического диаметра с  $0,08 \times 10^{-3}$  м до  $0,14 \times 10^{-3}$  м. однако, учитывая, что размер пор будет изменяться с частотой не менее 429 Гц, что может несколько повысить сопротивление по движению пенообразующего раствора и запыленного газа, однако эти величины будут не выше, чем в существующем и составят 12 Па и 21,1 Па соответственно. Период между регенерациями увеличится в десятки раз, так как размеры пор возросли с  $0,08 \times 10^{-3}$  м до  $0,14 \times 10^{-3}$  м, эффективность составит 99,9%. По сравнению с базовым объектом ВПП 15, как и для прототипа, при производительности 3,47 м<sup>3</sup>/с гидравлическое сопротивление уменьшится с 1882 Па до 1254 Па, диаметр аппарата – с 1,9 м до 1,5 м, затрачиваемая мощность на 1 м<sup>3</sup>/с очищаемого газа – с 3,97 кВт до 2,6 кВт, масса аппарата – с 224 кг на 1 м<sup>3</sup>/с очищаемого газа до 100 кг. Эффективность улавливания микроскопических пылинок повысится с 97,2% до 99,9%. При этом сократятся капитальные затраты и эксплуатационные расходы за счет повышения периода между регенерациями в сотни раз (в десятки раз увеличены размеры пор), сокращается расход пенообразователя в 1,5 раза, что повысит надежность работы, срок службы, снизит в 1,5 раза энергозатраты на перекачку раствора.

В целом, достигается высокий социальный и экономический эффект, улучшаются условия техники безопасности и окружающей среды, снижаются капитальные и эксплуатационные расходы.

### Список литературы

1. Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности / Под ред. А.С.Кузьмича. – М.: Недра, 1982. – с. 60.
2. Каневский Н.Н. Фокусирование звуковых и ультразвуковых волн. -М.: Наука, 1977.
3. Булатов Г.А. Полиуретаны в современной технике. – М.: Машиностроение, 1983. -272 с.
4. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
5. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология, М., Высшая школа, 2003 г.

### References

1. Handbook on dust control in the mining industry / Ed. A.S. Kuzmich. – М.: Nedra, 1982. – p. 60.
2. Kanevsky N.N. Focusing sound and ultrasonic waves. -M.: Nauka, 1977.



3. Bulatov G.A. Polyurethane in modern technology. – М.: Mechanical Engineering, 1983. -272 р.
  4. Aliev G.M. Techniques for dust collection and purification of industrial gases. М.: Metallurgy, 1986. 544 р.
  5. Lukanin V.N., Trofimenko Yu.V. Industrial and transport ecology, М., Higher School, 2003.
-