

DOI: 10.15593/2224-9877/2017.1.01

УДК 546.212.-53+61477.556.6.133-07

Л.Е. Макарова¹, А.П. Каменских^{1,2}, Ю.Ю. Трушков², Д.М. Караваяев¹¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия² ЗАО «ВЕНТМОНТАЖ», Пермь, Россия

НАНОРАЗМЕРНЫЕ ЧАСТИЦЫ ПЫЛИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ УДАЛЕНИЯ ИЗ ВОЗДУХА ГИДРОФИЛЬТРОМ ЭКОВЕСТА В ПРОМЫШЛЕННОМ ОБЪЕМЕ

Объектом исследования в данной работе являются частицы пыли (микро- и наноразмера). Изучается взаимодействие этих частиц в условиях макрогравитации в атмосфере Земли; сравнение поведения таких частиц с поведением частиц пыли в плазме, исследуемых в условиях микрогравитации в космосе или в лаборатории.

Показано, что в условиях макрогравитации исследуемая частица пыли наиболее эффективно улавливается из загрязненного или атмосферного воздуха в водной среде, в процессе активного взаимодействия барботируемого воздуха, содержащего исследуемые частицы диспергированной водной составляющей гидрофилтра ЭКОВЕСТА.

Показан механизм взаимодействия частиц пыли с воздухом, а затем воздуха, заполненного исследуемой пылью, с водой, находящейся сначала в нижней, а затем в верхней части гидрофилтра. При этом барботирование оборотной воды в нижней части гидрофилтра воздухом, загрязненным исследуемой пылью, приводит к диспергированию воздушной составляющей и капсулообразованию с появлением в капсуле плотных конгломератов из частиц пыли. Барботирование водной завесы из диспергированной воды в верхней части гидрофилтра загрязненными исследуемыми частицами воздуха приводит к образованию водных капсул, внутри которых находятся микровоздушные пузырьки с исследуемыми частицами пыли. Также микрокапсулы, утяжеленные конгломератом из этой пыли, за счет гравитации объединяются и сбрасываются в нижнюю часть гидрофилтра, что приводит к решению задачи – улавлианию из атмосферного воздуха Земли (в помещениях, вне помещений и т.д.) агрессивной составляющей пыли – наноразмерной, обладающей развитой поверхностью и всепроникающей способностью.

Фотографии, полученные в результате исследования, показали, что слоистая вода способна улавливать любую пыль любого размера.

Эти же взаимодействия частиц пыли наблюдаются и в условиях микрогравитации, в плазме, о чем свидетельствуют снимки из космоса, сделанные космонавтами и исследователями в лабораториях, близких по условиям к космическим.

Показано, что улавливание пыли из загрязненного воздуха, даже наноразмерной, на Земле в условиях гравитации наиболее эффективно происходит в водной среде в процессе диспергирования с вращением водной составляющей и воздушной.

Ключевые слова: нанопыль, гидрофилтр ЭКОВЕСТА, конгломерация, «цементация», вихревое движение, магнитное воздействие, воздух, воздушные пузырьки, капсулы водяные, организация пыли на Земле и в космосе, барботирование воздуха в воде гидрофилтра, движение структур в вихревом потоке двух сред.

L.E. Makarova¹, A.P. Kamenskikh^{1,2}, Yu.Yu. Trushkov², D.M. Karavaev¹

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

² ZAO "VENTMONTAZH", Perm, Russian Federation

NANOSCALE PARTICLES AND FEASIBILITY OF AIR PURIFICATION BY HIDROFILTER ECOVESTA

The subject of research is a dust particules (micro- and nano-sized), its interrelations in macro-gravitation conditions of the Earth's atmosphere., comparison its' behavior with its behavior in plasma state, researched in space macro-gravitation conditions or in a laboratory.

It is showed that in macro-gravitation conditions of the studied dust participle is absorbed from polluted or open air in water environment more efficiently, during interactive process of the bubbled air, containing studied particules of diffused water substance in water filter ECOVESTA

The mechanism of dust particules interworking with air and then interworking of the air, fulfilled with the studying dust, with water, being first on the bottom and then in the upper part of the water filter is being demonstrated.

However, bubbling of the saveall water in the bottom part of the water filter by air, polluted by dust particules, leads to dispersion of air component and capsule development with solid pudding stones caused by the dust particules.

Bubbling of the water curtain, made from disperse water in the upper part of the water filter polluted by studied air particules also leads to water capsule creation with micro bubbles with studied dust particules inside them. Also micro capsules, loaded by pudding stone made from the dust, are banded and goes down to the bottom part of the filter, that makes the problem solved-collection of the aggressive component of the dust, which is nano-sized, having extended surface and being everywhere, caught in the Earth open air (indoor/outdoor etc.).

Pictures obtained in the end of researches showed that stratified water is able to catch any dust of any size.

The same interrelations are being observed in micro-gravitation conditions in plasma. The pictures from the space and laboratories, made by astronauts and scientists, speak to themselves.

It was approved that the most efficient method for catching the dust in the polluted air even if the size is too small, is in the water during the disperse process with water and air rotation component.

Keywords: nano-dust, water filter ECOVESTA, glomeration, electrolytic precipitation, rotational motion, magnetic action, air, air bubbles, water capsules, dust regulation in the air and in the Space, bubbling of the air in the water filter in the water, structures motions in vortex flow of the two environments.

Исследование взаимодействия пылевых частиц в космосе и на Земле проводят в институте РАН совместно с Институтом внеземной физики общества Макса Планка и другими институтами. Изучают пылевую плазму в условиях микрогравитации в установках «ПК-3» (плазменный кристалл) и «ПК-3 Плюс» (более современный «ПК-3»). Интерес к этой области исследований вызван «открытием сильнозаряженных пылевых частиц в лабораторных условиях, в плазме высокочастотного разряда и тлеющего разряда постоянного тока» и прикладным интересом к изучению явления пылевой плазмы при разработке технологий плазменного напыления и травления в микроэлектронике [1]. При

этом объектом исследований были взаимодействия макрочастиц пыли в плазме и их организация в виде «плазменного кристалла». Поскольку частицы пыли были крупными, то наблюдение за их взаимодействием упрощалось, так как они обнаруживались визуально.

Наноразмерные (до 100 нм) же частицы пыли в связи с их малым размером не могут быть обнаружены невооруженным глазом. При изучении явлений, происходящих в современном производстве, мы часто сталкиваемся с процессами, которые почти не учитываются. Например, взаимодействие частиц с электрополями, силовыми установками и другими явлениями, относящимся к так называемым техногенным факторам, которые в целом отрицательно влияют на жизнедеятельность организмов, приводит к выходу из строя плат электронного управления.

В связи с этим сегодня при контроле производства очень важно подробнее рассматривать физические процессы и механизм движения технической нанопыли при самых различных процессах: от создания нанотрубок до обработки материалов с заданными свойствами. В последние годы ведутся специальные исследования, изучающие влияние таких частиц в различных технологических процессах [2, 3], а также исследования структурных процессов с учетом возможного влияния высоких технологий [4].

За последние 10 лет работа гидрофилтра ЭКОВЕСТА (рис. 1) на различных производствах показала эффективность улавливания и нейтрализации пыли оборотной водой, несмотря на различное происхождение и размер частиц пыли.



Рис. 1. Гидрофилтр ЭКОВЕСТА на производстве

Чем больше масса заданного тела в объеме масс, тем сильнее его поле и больше его роль как взаимодействующего фактора. В будущем это необходимо учесть и использовать для улавливания «иной» – наноразмерной технопыли, способной проходить сквозь различные преграды в виде защитных покрытий или оболочек. При этом сама пыль незаметно накапливает массу, набирая свой опасный потенциал и суммарный заряд. По опыту мы знаем, что такая «затаившаяся» и внезапно потревоженная потоком воздуха или электромагнитными полями мелкодисперсная пыль приводит к образованию детонирующей взрывопожароопасной среды. Какая из «полезных» человеку технопылей способна стать как проводником, так и помощником в развитии будущих видов патогенной микрофлоры, мы еще не знаем. Так, по исследованиям врачей, сама по себе неразрушаемая форма пыли игольчатого типа является самым настоящим «убийцей» иммунной системы живых организмов [5–10]. Однако появление новых материалов, новых технологий и явление новой нанопыли в заводской среде мы наблюдаем повсеместно уже сейчас. При этом совершенно непонятно, что делать, пока ученые ищут решение [11].

Процесс движения частиц (рис. 2) и пространственная организация производственной среды сегодня непременно связаны с необходимостью использовать механическую и/или естественную приточно-вытяжную систему, обладающую рядом стандартных возможностей – таких, как разбавление и удаление из воздуха различных вредных частиц (за исключением самых малых, невидимых, способных рециркулировать в общей системе, прибывать и накапливаться внутри нее, собирая потенциал опасного фактора). В реальности к проблемам одного производства добавляются проблемы других производств.

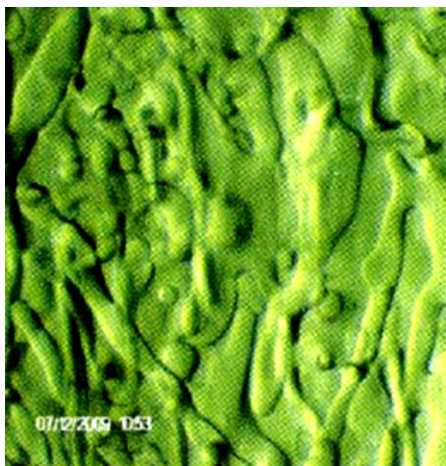


Рис. 2. Монослои плотной воды под механическими воздействиями

В связи с этим сегодня важно найти доступный промышленный способ глубокой и постоянной масштабируемой очистки воздуха, а также нейтрализации любых

включений на 95 % и больше. Обеспечить жизнедеятельность системы в будущем возможно за счет развития ее пространства, управляющей автоматике, улучшения защиты рабочей и окружающей среды не только человека, но и других живых организмов, а также нейтрализации отрицательных воздействий любых «заданных» частиц наноразмера или как-либо связанных с наноразмерностью.

Таким образом, необходимо обобщить ряд задач и продолжать исследования в этом направлении, рассматривая следующие вопросы:

1. Как ведет себя наноразмерная пыль при контакте с водой и другими средами?

2. Какова роль слоев капсулы воды, ее вихревой природы?

Каждое материальное тело обладает полем тяготения, и чем больше масса тела, тем сильнее поле его тяготения. С целью осаждения пыли было принято организовывать переменное движение. Так и поступили с гидрофильным ЭКОВЕСТА для случаев с наноразмерной витающей пылью, где работают многочисленные центры вращения, организующие это взаимодействие. Так, две взаимодействующие среды с переменной скоростью на противотоке (вода и воздух с разными частицами) образуют разные эксцентрики кластеров вращения, появляющиеся вокруг общих центров диспергируемых масс, которые в итоге окончательно невелируют скорость витания частиц.

Углубляясь в изучение влияния структуры воды на процессы очистки воздуха, а также ее влияния на крупные, визуально наблюдаемые пыли (размер частиц не менее 1 мкм), удалось обнаружить неизвестные ранее организационные (рис. 3) связи воды с воздушными пузырьками [7] (рис. 4).

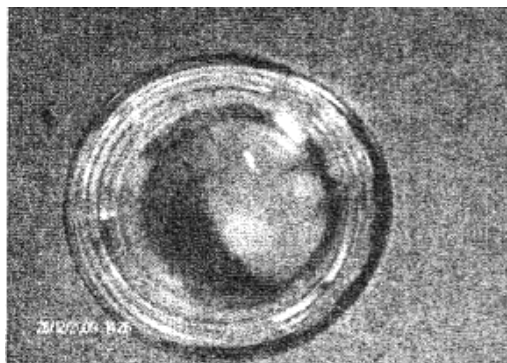


Рис. 3. Капсулирование воздушного пузырька водой

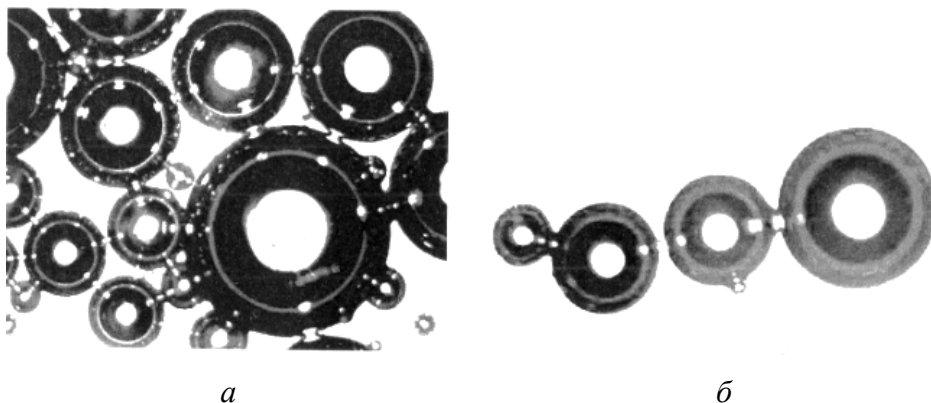


Рис. 4. Скрепление капсул и объединение: *а* – в большую группу; *б* – в малую группу

Дальнейшие наблюдения показали, что необходимо знать больше о природе проявления воздушных полостей и их поведении в слоистой водной среде, находящейся в различных агрегатных состояниях и с вихревым вращением, чтобы правильно объяснять организационные явления, изменения электронной плотности, которые еще не были описаны, но существуют в природе. А вот о поведении воздушных пузырей было написано многое. Так, в популярной книге [11] экспериментально доказано различное поведение воздушных пузырей при низких температурах (кристалл из пузырей) и пузырей из жидкости (мягкие и твердые пузыри), где автор на конкретных примерах показывает, как «зарождается, развивается и живет» пузырек в жидкости, в воздухе, во льду.

Поскольку в готовом пузырьке находится газ, то для наглядности и достоверности перемещения пузырька в него вводят твердое вещество в форме шарика, перемещение которого, в частности перед фронтом кристаллизации, определяет путь, пройденный пузырьком. При этом используют частицы малых размеров, но не наноразмеров [11].

Мы провели исследования поведения газовых пузырьков при введении воздуха в среду (оборотную воду, находящуюся в спокойном или «возбужденном» состоянии, сперва в горизонтальной, а затем в вертикальной части гидрофилтра ЭКОВЕСТА). В результате было обнаружено следующее: если воздух загрязнен включениями (в том числе частицами пыли наноразмеров, например оксидом алюминия), то при попадании этого загрязненного производственного воздуха

в вытяжную систему вентиляции с гидрофильтром, после барботера, воздух легко диспергируется, после чего вокруг пылинок организуется будущая газовая полость на встречном противотоке с водными слоями, а далее диспергируемые полости с загрязнениями надежно капсулируются специально диспергируемой возбужденной водой в виде капсул-пузырьков различной величины с импульсом вращения вокруг общего центра. Затем происходит межчастичное взаимодействие с нейтрализацией пыли в результате взаимодействий внутри слоев. Рабочую среду гидрофильтра ЭКОВЕСТА можем рассматривать как организующую рабочую структуру, где в динамике неоднородностей двух сред при встречном движении возникает не только взаимодействие любых частиц, но и их конгломерация.

Так, принудительная вентиляция, создавая лопастями вентилятора целенаправленный поток воздуха, собирает всю витающую пыль до ее вхождения в гидрофильтр. Далее закручивающее воздействие, возникающее во время движения по воздуховоду, добавляет скорости поляризующейся пыли. После этого, пройдя через барботер, «грязная» воздушная масса пыли диспергируется за счет разделения на полости. Обратная вода движется противотоком в организованную область со встречными слоями и с возбужденными целенаправленным вращением каплями воды, где наблюдаем вихревые взаимопроникающие потоки с преломлениями границ. В итоге частицы пыли внутри пузырьков в оболочке многозарядных движущихся слоев воды вступают в механическое и химическое взаимодействие, теряя собственную скорость витания, а с ней проникающую способность. За время прохождения ступеней структуры гидрофильтра пылинки, сжатые давлением газа внутри вращающейся капли, конгломерируют в плотные образования.

В случае улавливания гидрофильтром ЭКОВЕСТА частиц пыли наноразмеров из воздуха на производстве было подтверждено, что в воздушных пузырьках размещаются взаимодействующие частицы любых форм, в том числе наноразмеров, а также имеющие разные скорости витания (рис. 5).

При этом чем больше концентрация пыли в воздухе, т.е. чем больше в нем находится частиц наноразмера, тем больший объем занимает пыль этого размера в газовом пузырьке (рис. 6). Соответственно, чем меньше концентрация этой пыли в воздухе, тем больше объем газовой составляющей пузырька. Наблюдаемая картина указывает на

явление получения динамической композиции-кластера, от которой зависит степень очистки воздуха от пылей на производстве. Такие пузырьки из вводимого, втягиваемого в воду воздуха содержат композицию из наноразмерных частиц газа и пыли. Система заполнения пузырька частицами пыли наноразмера влияет на его жизнеспособность. Чем больше нанопыли в пузырьке, тем он более долговечен за счет цементирующего действия этой пыли на водяную капсулу-оболочку пузырька (см. рис. 5–7).

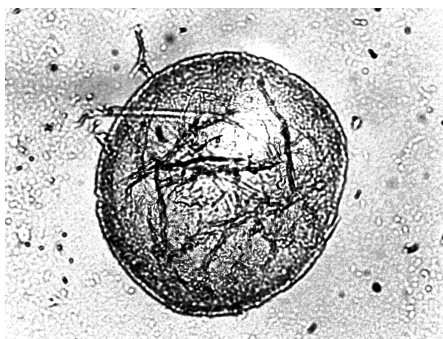


Рис. 5. Капсулообразование воды, газа и наночастиц, $\times 100$

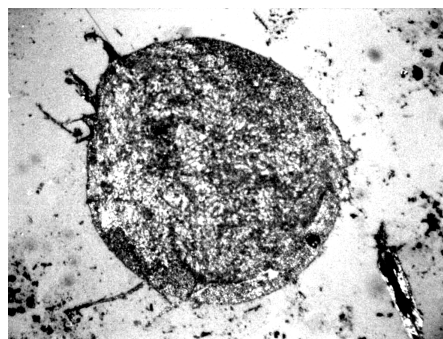


Рис. 6. Завершение цементации частиц внутри капсулы, $\times 200$

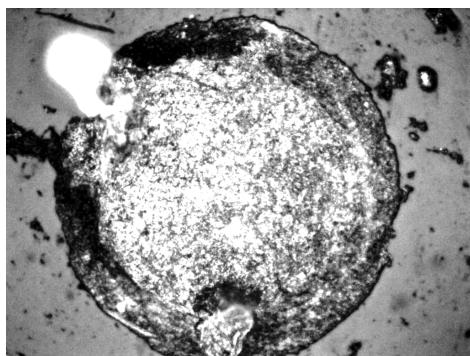


Рис. 7. Воздушная капля воды с выходом зацементированной части пыли наноразмеров в сухой капсуле массы частиц, $\times 400$

Таким образом, образование пузырьков с композитом уже конгломерированной пыли повышает степень взаимодействий и очистки воздуха от пыли наноразмеров до 99 % и более при бесконечном росте коэффициента циркуляции оборотной воды. Максимальная зарегистрированная степень очистки от пыли в гидрофиле ЭКОВЕСТА со-

ставляет 99,8 %. В каждый момент времени в рабочей среде гидрофилтра (оборотной воде) идет образование слоев и капсул, увеличивая плотность свободных капелек.

Были проведены исследования с использованием цифрового неинвертированного микроскопа «Альтам МЕТ5» после очистки воздуха от частиц оксида алюминия наноразмера в гидрофилтре ЭКОВЕСТА. В процессе очистки обнаружены следующие моменты организации воды и пузырьков, фиксируемые скоростной съемкой. В качестве объекта исследования использовали воду, через которую, с помощью барботера, пропускали воздух, загрязненный наноразмерными частицами оксида алюминия. Путем быстрого замораживания при температуре – 11 °С фиксировали состояние воды и воздушных пузырей. Затем пробы размораживали при комнатной температуре с одновременным наблюдением за состоянием воды по слоям и состоянием воздушных пузырьков (полостей) в воде. Затем в них фиксировали состояние воды и пузырьков с частицами наноразмеров путем высушивания воды. При этом получается отчетливая картина пересыщения частицами наноразмеров внутри воздушных пузырьков, как и водной оболочкой вокруг воздушного пузырька.

Замечен также интересный эффект (когда частицы оксида алюминия наноразмеров перемешиваем с водой температурой 20–25 °С). Для этого воду замораживаем и наблюдаем за пузырьками во льду постепенно оттаиваемой воды. При этом фиксируем, что пузырьки большего размера с меньшей концентрацией пыли в них как бы прошиваются, «вспарываются» мелкими пузырьками, в которых концентрация нанопыли выше (рис. 8–10).

Далее, насквозь пройдя большие пузырьки, мелкие оказываются за пределами большого пузырька, лопаются и высыпают в воду пыль в виде плотных конгломератов (рис. 11). Такие конгломераты уже не обладают той всепроникающей способностью, как одиночные частицы. Это было заложено в инженерном решении – гидрофилтре ЭКОВЕСТА, в котором используются организованные раскрывающиеся зонтики водных струй с вращением до капелек для снижения скорости витания улавливаемых частиц пыли на противотоке воды.

Установлены экспериментальные зависимости соотношений объемной массы и скорости потоков воды от времени ее участия при одновременном встречном диспергировании объема грязного воздуха.

Водная обратная среда, дополнительно обработанная холодом, озоном или ультрафиолетом, может выступать в роли универсального растворителя-адсорбента.

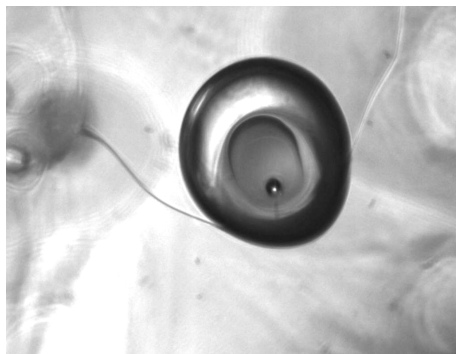


Рис. 8. Момент проникновения
меленькой капсулы в большую,
×200

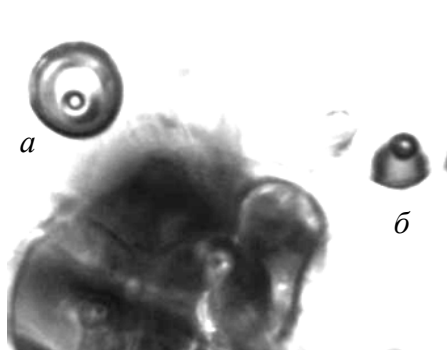


Рис. 9. Движение маленькой капсулы:
а – прошивание; б – выход из большей
капсулы, ×200

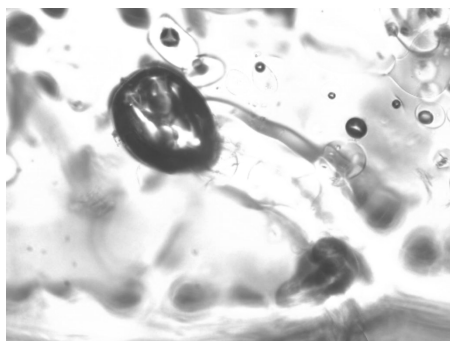


Рис. 10. Разрушение крупной капсулы
мелкими капсулами с зацементированными
в них наночастицами, ×200

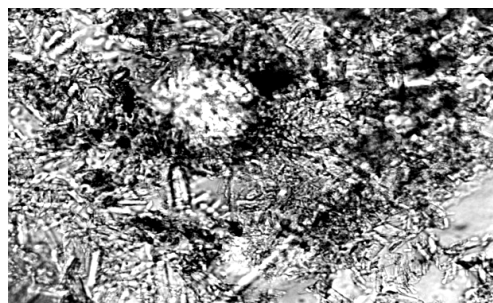


Рис. 11. Наночастицы в воде после
разрушения водных капсул, ×200

Далее, переводя уловленные конгломераты газовой и пылевой фракции в нерастворимую в воде форму, их легко можно вывести из технологической емкости, а после неполного высушивания возможно использовать в новом качестве, например в качестве наполнителя в строительных композициях или прочного покрытия, например на поверхности материала, не обладающего коррозионной стойкостью. Также можно использовать варианты образования капелек-уловителей специальных солевых растворов в условиях низких температур.

В 2005 г. на выходе вертикальной части гидрофилтра ЭКОВЕСТА экспериментально монтировали устройство ионизации увлажненного воздуха, улучшающее качество микроклимата, для борьбы с бактериями в замкнутых общественных местах и со статикой в промышленных помещениях. В 2006 г. была испытана рабочая среда – рассол, охлажденный до отрицательных температур, который позволил не только осадить, но и собрать в технологической емкости гидрофилтра бензольную группу, переводя ее из газообразной в твердую фракцию в виде плавающих пластин. В настоящее время проведены исследования по нейтрализации высокоагрессивной (для живых организмов и электронного оборудования) углерод-углеродной нанопыли с помощью водной среды и полимерной гигроскопичной масляной среды. Далее эту пыль можно концентрировать и частично обезвоживать в специальных осаждающих устройствах.

Пока нет ясности и комплексного подхода, нет производственных норм, регламентирующих, какая концентрация ионов необходима в случае обработки материалов с заданными свойствами, нет и запроса на повышение степени очистки выше 90 %. Современные гидрофилтры ЭКОВЕСТА могут улавливать и нейтрализовать потерянные стандартными фильтрами 9,9 % самой опасной пыли наноразмеров, которые будут собираться десятками килограммов в сутки.

Пространство гидрофилтра ЭКОВЕСТА состоит из рабочих поверхностей, выполняющих роль мишеней, делителей, в котором, соответственно, размещены в несколько рядов тангенциальные сопла, раскрывающие водные струи в виде зонтиков, из которых под давлением рециркуляцией поступает вода, каждый раз проявляя многозарядность слоистой структуры при диспергировании навстречу побуждаемых вентилятором полостей воздуха с захваченной пылью. Далее уловленные гидрофилтром уже конгломерированные включения и издержки производства из горизонтальной контактной емкости извлекаются с той или иной периодичностью. Для лучшего перемешивания вышеописанных сред в гидрофилтре ЭКОВЕСТА применяются развитые рабочие поверхности, изготовленные из полимерного материала с низкой адгезией к конгломерирующему с ним материалу.

Торможение наноразмерной пыли, поступающей в вертикальную часть устройства гидрофилтра ЭКОВЕСТА из горизонтальной части емкости и из воздушного пространства между потолочной частью

и зеркалом воды в емкости, происходит за счет газопылеводной завесы, поступающей из сопел с образованием структур, имеющих вихревое вращение. В случае неполного очищения сепаратор, концентрируя на себе водную составляющую гидросреды, укрупняет капли с остатками пыли и сбрасывает их в воду, находящуюся в горизонтальной емкости ЭКОВЕСТЫ. При этом для создания чистого от нанопыли помещения желательно иметь влажность воздуха не менее 52 % и очистку вести в два этапа в гидрофиле ЭКОВЕСТА. За счет гравитационных сил из вертикальной емкости гидрофиле на дно горизонтальной части емкости опускаются «зацементированные» воздушные пузыри с твердыми наночастицами пыли. Такие пузыри длительное время остаются на дне емкости, что упрощает процесс транспортирования нанопыли в заданном направлении.

В результате наших исследований поведения водной (многозарядной, слоистой) среды в процессе улавливания пыли наноразмеров обнаружено сходство организации частиц пыли между собой в воде (рис. 12, а, б) и плазме (рис. 13, а, б) соответственно.

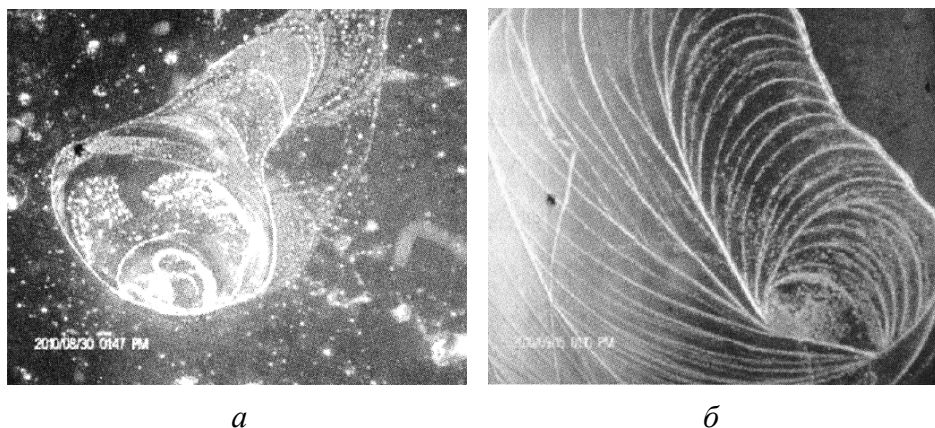


Рис. 12. Многослойные структурные элементы жидкой фазы воды на Земле:
а, б – варианты микроворонки

Таким образом, и в условиях гравитации на Земле удалось обнаружить эффект организации частиц пыли наноразмеров в конгломераты. Ранее нами были проведены исследования поведения воды при улавливании пыли из атмосферы в гидрофиле, которые продемонстрировали аналогичные виды организаций частиц в воде и плазме.

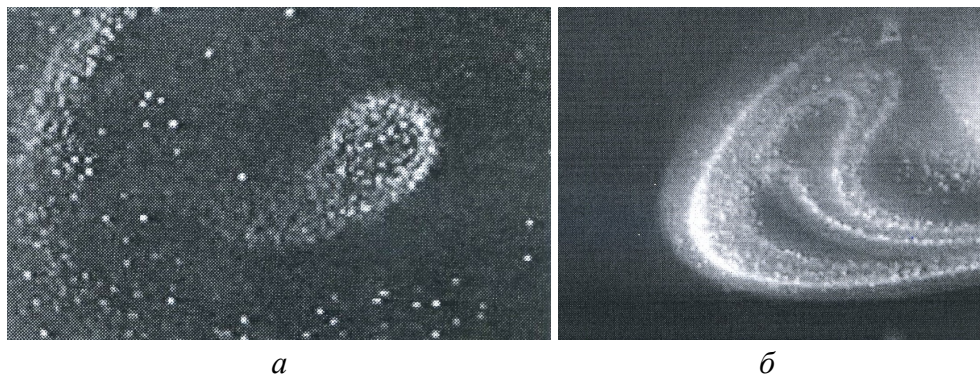


Рис. 13. Многослойные структурные элементы, организованные в космосе. Продукты сгорания алюминизированных синтетических твердых топлив (частицы Al_2O_3): *а, б* – варианты скоплений пыли [13, 14]

Так, многозарядная водная сфера (каждая молекула – диполь) [15], будучи в возбужденном состоянии (приточно-вытяжная вентиляция, водные струи воды, выходящие из сопел в емкость с водой), организуется в виде микроворонки, которые и захватывают пылинки (см. рис. 12), прочно удерживая их в своих слоях и, соответственно, упорядочивая в своей системе организации. Можно сравнить организацию пылевого облака в космосе под воздействием ультрафиолетового излучения, действия магнитных полей с организацией пылинок, захваченных в атмосфере Земли водой и попадающих на поверхность Земли в виде снежинок.

Под действием слабых магнитных силовых линий (постоянный магнит эллипсоидной формы) на пылинки в растаявшем снеге, т.е. в воде с уже определенной организацией водной среды после предварительного воздействия электромагнитного поля Земли, выявилась четкая, яркая картина организации пылинок в направлении магнитных силовых линий этого слабого магнитного поля (рис. 14), узнаваемая по таким же картинам, увиденным в космосе (рис. 15, 16) [1].

Аналогичный эффект организации микрочастиц наблюдали при изучении электрореологии в коллоидной системе, содержащей, как известно, жидкостный компонент, внутри которого распределены микрочастицы [1]. Как и в нашем случае (вода → воздух → частицы пыли наноразмеров), при наложении электрического поля микрочастицы коллоидной жидкости выстраиваются в соответствии с направлениями электрического поля.

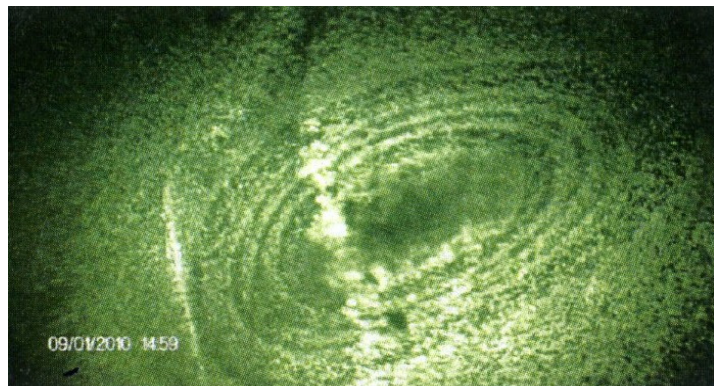
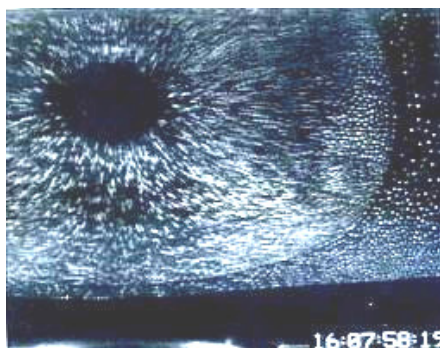
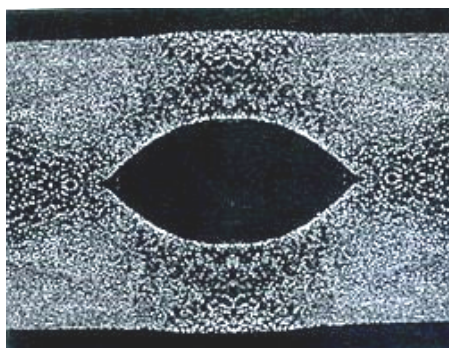


Рис. 14. Выявление силовых линий постоянного магнита на Земле.
Магнитные силовые линии в закристаллизованной воде



а



б

Рис. 15. Плазменно-пылевое образование: *а* – в космосе; *б* – полученное в лабораторных условиях

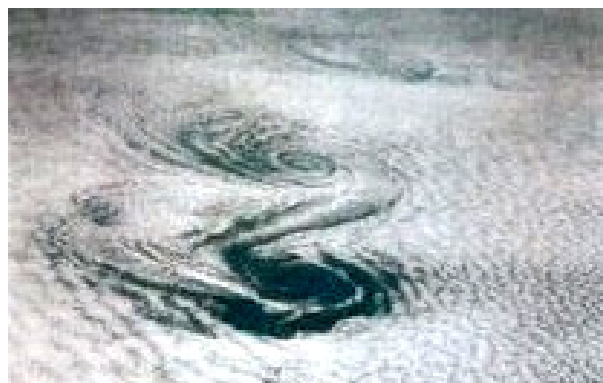


Рис. 16. Переход от аморфного к организованному состоянию

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Изучение организации частиц пыли одинаково важно для решения проблем как на Земле, так и в космосе.

2. Показано, что взаимодействие частиц наноразмеров поддается управлению.

3. Продемонстрирован эффект захвата водой воздушных пузырей с образованием капсул с массой пылевидных частиц наноразмера в полости.

4. Показан эффект разрушения больших образований воздушных полостей малыми за счет большой проникающей способности малых полостей, заполненных пылью наноразмеров.

5. Водная среда является той средой, которая способна эффективно в условиях атмосферы земли тормозить движение частиц малого размера, даже наноразмера, и направленно организовывать их локализацию.

6. Сравнительный анализ возможного управления организаций частиц пыли показал, что, несмотря на различие механизмов управления, механизм организации сходен. Основными организаторами процесса являются: заряд частиц, вихревое движение, магнитные воздействия, степень развития поверхности частиц.

Список литературы

1. Пылевая плазма / В.Е. Фортов, А.Г. Храпак, С.А. Храпак, В.И. Молотков, О.Ф. Петров // УФН. – 2004. – Т. 174, вып. 5. – С. 495–544.

2. К вопросу о структурных видоизменениях воды под влиянием внешней и внутренней среды / Ю.Ю. Трушков, Л.Е. Макарова, А.П. Каменских, А.Ю. Трушков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2010. – Т. 12, № 4. – С. 146–159.

3. Анциферова И.В. Использование технологий менеджмента для оценки воздействия нанодисперсных порошков металлических и неметаллических соединений на окружающую среду и персонал // Огнеупоры и техническая керамика. – 2012. – № 11–12. – С. 3–10.

4. Сравнительный анализ данных современной науки о природе воды / Ю.Ю. Трушков, Л.Е. Макарова, А.П. Каменских, А.Ю. Трушков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2010. – Т. 12, № 4. – С. 160–174.

5. Анциферова И.В. Негативные последствия влияния нанопорошков на окружающую среду и человека // Научное обозрение. – 2013. – № 1. – С. 164–167.

6. Анциферова И.В., Макарова Е.Н. Методы производства нано- материалов и возможные экологические риски // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2013. – Т. 15, № 4. – С. 59–67.

7. Анциферова И.В., Носков А.В., Патрушев В.С. Использование нанотехнологий для решения проблем устойчивого развития городов // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 4, ч. 1. – С. 280–282.

8. Анциферова И.В., Макарова Е.Н. Формирование экологической культуры в эпоху нанотехнологий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2014. – Т. 16, № 1. – С. 106–114.

9. Анциферова И.В., Эсаулова И.А. Внутренняя мотивация как фактор безопасности труда в условиях неявных рисков для здоровья человека // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2013. – № 4. – С. 50–53.

10. Анциферова И.В., Вохмянин Д.С., Макарова Е.Н. Возможность или опасность нанотехнологий // Инновации и инвестиции. – 2014. – № 4. – С. 132–134.

11. Гегузина Я.Е. Пузыри. – М.: Наука, 1985. – 196 с.

12. К вопросу о техногенной пыли и качестве защиты от нее / Л.Е. Макарова, Д.Н. Гусин, А.И. Квашнин, А.Ю. Трушков, Ю.Ю. Трушков, А.П. Каменских, А.Ф. Шевченко, И.И. Пересветов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2014. – Т. 16, № 4. – С. 82–96.

13. Фортов В.Е., Батулин Ю.М. Космический эксперимент. Плазменный кристалл на растительном сегменте: особенности и основные научные результаты // Наука и технологии в промышленности. – 2012. – № 1, ч. 1. – С. 47.

14. Плазменный кристалл. Космические эксперименты / В.Е. Фортов, Ю.М. Батулин, Г.О. Морфилл, О.Ф. Петров. – М.: Физматлит, 2015. – С. 15, 58, 228, 732.

15. К вопросу о слоистости бытовой воды / Ю.Ю. Трушков, Л.Е. Макарова, А.Ф. Шевченко, А.И. Дегтярев, А.П. Каменских, А.Ю. Трушков, М.А. Мокрушин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2011. – Т. 13, № 1. – С. 127.

References

1. Fortov V.E., Khrapak A.G., Khrapak S.A., Molotkov V.I., Petrov O.F. Pylevaia plazma [Dust plasma]. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*, 2004. Vol. 174, iss. 5, pp. 495–544.

2. Trushkov Iu.Iu., Makarova L.E., Kamenskikh A.P., Trushkov A.Iu. K voprosu o strukturnykh vidoizmeneniiah vody pod vlianiem vneshnei i vnutrennei sredy [To a question of structural modifications of water under the influence of external and internal environment]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2010, vol. 12, no. 4, pp. 146–159.

3. Antsiferova I.V. Ispol'zovanie tekhnologii menedzhmenta dlia otsenki vozdeistviia nanodispersnykh poroshkov metallicheskih i nemetallicheskih soedinenii na okruzhaiushchuiu srediu i personal [Use of technologies of management for assessment of impact

of nanodisperse powders of metal and nonmetallic connections on the environment and personnel]. *Refractories and technical ceramics*, 2012, no. 11–12, pp. 3–10.

4. Trushkov Iu.Iu., Makarova L.E., Kamenskikh A.P., Trushkov A.Iu. Sravnitel'nyi analiz dannykh sovremennoi nauki o prirode vody [Comparative analysis of data of modern science on the water nature]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2010, vol. 12, no. 4, pp. 160–174.

5. Antsiferova I.V. Negativnye posledstviia vlianiia nanopo-roshkov na okruzhaiushchuiu srediu i cheloveka [Negative consequences of influence of nanopowders on the environment and person]. *Nauchnoe obozrenie*, 2013, no. 1, pp. 164–167.

6. Antsiferova I.V., Makarova E.N. Metody proizvodstva nano-materialov i vozmozhnye ekologicheskie riski [Production methods nano-materials and possible environmental risks]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2013, vol. 15, no. 4, pp. 59–67.

7. Antsiferova I.V., Noskov A.V., Patrushev V.S. Ispol'zovanie nanotekhnologii dlia resheniia problem ustoichivogo razvitiia gorodov [Use of nanotechnologies for the solution of problems of sustainable development cities]. *Journal of Economy and entrepreneurship*, 2016, no. 4, part 1, pp. 280–282.

8. Antsiferova I.V., Makarova E.N. Formirovanie ekologichesko-kul'tury v epokhu nanotekhnologii [Formation of ecological culture during an era of nanotechnologies]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2014, vol. 16, no. 1, pp. 106–114.

9. Antsiferova I.V., Esaulova I.A. Vnutrenniaia motivatsiia kak faktor bezopasnosti truda v usloviakh neiaivnykh riskov dlia zdorov'ia cheloveka [Internal motivation as a factor of safety of work in the conditions of implicit risks for health of the person]. *Izvestiia vuzov. Tsvetnaia metallurgii*, 2013, no. 4, pp. 50–53.

10. Antsiferova I.V., Vokhmianin D.S., Makarova E.N. Vozmozhnost' ili opasnost' nanotekhnologii [Opportunity or danger of nanotechnologies]. *Innovatsii i investitsii*, 2014, no. 4, pp. 132–134.

11. Geguzina Ia.E. Puzyri [Bubble]. Moscow, Nauka, 1985, 196 p.

12. Makarova L.E., Gusin D.N., Kvashnin A.I., Trushkov A.Iu., Trushkov Iu.Iu., Kamenskikh A.P., Shevchenko A.F., Peresvetov I.I. K voprosu o tekhnogennoi pyli i kachestve zashchity ot nee [To a question of technogenic dust and quality of protection against her]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2014, vol. 16, no. 4, pp. 82–96.

13. Fortov V.E., Baturin Iu.M. Kosmicheskii eksperiment. Plazmennyi kristall na rastitel'nom segmente: osobennosti i osnovnye nauchnye rezul'taty [Space experiment. A plasma crystal on a vegetable segment: features and main scientific results]. *Nauka i tekhnologii v promyshlennosti*, 2012, no. 1, part 1, 47 p.

14. Fortov V.E., Baturin Iu.M., Morfill G.O., Petrov O.F. Plazmennyi kristall. Kosmicheskie eksperimenty [Plasma crystal. Space experiments]. Moscow, Fizmatlit, 2015, pp. 15, 58, 228, 732.

15. Trushkov Iu.Iu., Makarova L.E., Shevchenko A.F., Degtiarev A.I., Kamenskikh A.P., Trushkov A.Iu., Mokrushin M.A. K voprosu o sloistosti bytvoi vody / [To a

question of lamination of household water]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2011, vol. 13, no. 1, 127 p.

Получено 11.11.2016

Об авторах

Макарова Луиза Евгеньевна (Пермь, Россия) – ведущий инженер кафедры материалов, технологий и конструирования машин Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: kmcm@yandex.ru.

Каменских Алексей Павлович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры металловедения, термической и лазерной обработки металлов Пермского национального исследовательского политехнического университета; технический директор программы ЭКОВЕСТА ЗАО «ВЕНТМОНТАЖ»; e-mail: eco-vesta@mail.ru, vnmg@yandex.ru.

Трушков Юрий Юрьевич (Пермь, Россия) – генеральный директор ЗАО «ВЕНТМОНТАЖ»; e-mail: vnmg@yandex.ru.

Караваяев Дмитрий Михайлович (Пермь, Россия) – ассистент кафедры материалов, технологий и конструирования машин Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: kmcm@yandex.ru.

About the authors

Luiza E. Makarova (Perm, Russian Federation) – Lead Engineer, Department of Materials, Technologies and Constructions of Machines, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: kmcm@yandex.ru.

Aleksei P. Kamenskikh (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Metal Science, Laser and Heat Treatment of Metals, Perm National Research Polytechnic University, Technical Director of ECOVESTA program, ZAO “VENTMONTAZH”; e-mail: eco-vesta@mail.ru, vnmg@yandex.ru.

Yurii Yu. Trushkov (Perm, Russian Federation) – General Director, ZAO “VENTMONTAZH”; e-mail: vnmg@yandex.ru.

Dmitriy M. Karavaev (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department of Materials, Technologies and Constructions of Machines, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: kmcm@yandex.ru.