

УДК 546.212.-53+61477.556.6.133-07

Л.Е. Макарова, Д.Н. Гусин, А.И. Квашнин, А.Ю. ТрушковПермский национальный исследовательский
политехнический университет**Ю.Ю. Трушков, А.П. Каменских, А.Ф. Шевченко, И.И. Пересветов**

ЗАО «Вентмонтаж», г. Пермь

**К ВОПРОСУ О ТЕХНОГЕННОЙ ПЫЛИ
И КАЧЕСТВЕ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЕ**

Проведен анализ возможных мер защиты электрооборудования от агрессивного воздействия техногенной пыли. Объектом исследования являются электронные платы, взятые из одного и того же оборудования после выхода их из строя. Исследованы причины, приведшие к массовому выходу из строя электронных плат. Представлены фотоматериалы, подтверждающие отрицательное влияние внешней технизированной среды на эксплуатационные свойства исследуемых плат. Предложен способ защиты производств от пыли разного размера, в том числе наноразмерной. В связи с этим обращено внимание на эффективность использования системы «Эковеста».

Для улавливания частиц пыли наноразмеров система «Эковеста» дополнительно усовершенствована за счет проведения работ по усилению эффекта очищения окружающей среды и оборудования от пыли. При этом использован скоростной режим вращения воды. В результате получена структура воды с более плотной организацией структурных элементов в виде волокон и других сложных образований, а воздушные полости соединены перемычками, с помощью чего образуется эффективная ловушка для пыли нано- и более крупных размеров.

Ключевые слова: техногенная пыль, наноразмерная пыль, промышленная безопасность, электронные платы, защита человека, защита оборудования, система «Эковеста», водовоздушная среда, режим скоростного перемещения водовоздушной смеси.

L.E. Makarova, D.N. Gusin, A.I. Kvashnin, A.U. Trushkov

Perm National Research Polytechnic University

Y.U. Trushkov, A.P. Kamenskikh, A.F. Shevchenko, I.I. Peresvetov

ZAO "Ventmontazh", Perm

**ON THE PROBLEM OF DUST TECHNOGENIC
AND AS A PROTECTION AGAINST IT**

The analysis of possible measures to protect electrical equipment from aggressive technological dust. Object of research are electronic boards, taken from one and the same equipment after their failure. The reasons that led to a massive failure of the electronic circuit boards. Presented photographs confirming the negative impact of external environment on tehnizirovannoy performance characteristics studied boards. Research causes massive failure of electronic equipment provides a method of protecting plants from all sorts of sizes of dust, including dust nanoscale. In this connection, attention is drawn to the efficiency of the system "Ecovesta".

In connection with the problem of capturing dust particles nano further improved "Ecovesta" system by carrying out works to strengthen the effect of cleansing the environment and equipment from dust. In this

high-speed rotation mode used water. The result is a structure with a water tight organization of the structural elements in the form of fibers and other complicated structures and air spaces are connected by jumpers, forming a stable effectively trap dust and nanoscale dimensions larger system "Ecovesta".

Keywords: technogenic dust, nanoscale dust, industrial safety, electronic boards, protection of rights, the protection of equipment, system "Ecovesta", water-air, high-speed mode moving water air mixture.

Пыли, ее свойствам и вреду, наносимому ею, посвящено значительное количество работ [1–3]. В последнее время, в связи с появлением изделий из материалов с наноразмерными частицами, внимание ученых различных областей науки (медицина, машиностроение, материаловедение и т.д.) стало акцентироваться на последствиях, как положительных, так и отрицательных, присутствия этих частиц. Произошло даже объединение взглядов исследователей и ученых разных сфер с тем, чтобы более широко и полно изучить проблемы, связанные с частицами такого размера [4, 5]. Так, в результате развития машиностроения, применения и создания структурных композиционных материалов с заданными свойствами появляется новый фактор, определяемый авторами статьи как техногенная пыль.

Несомненно, необходимо считаться со всеобщим законом отсутствия закрытых систем. Новые проникающие свойства нанопыли делают этот очевидный закон еще более актуальным. Сегодня каждая производственная система является открытой, саморазвивающейся, с точками бифуркации, фрактальными и другими свойствами самодостаточных систем. Действия проницаемости наноразмерных и фемторазмерных частиц, воспроизводимых в современных технологических процессах, усиливают и накапливают противоречия среды, человека [6]. Так, наночастицы способны взаимодействовать с ДНК как химически, так и физически, что вызывает увеличение числа сердечно-сосудистых заболеваний, случаев вегето-сосудистой дистонии, хронического фарингита, бронхита, а также склонности к ОРВИ [7]. Ученые отмечают: «Мы понимаем, что эволюция в мире вирусов и патогенных микробов не отменена, мы понимаем что с проникновением в организм природной среды вокруг образуются химические продукты, работающие на клеточном уровне, ... и так возникают риски матрицы сосуществования (нормальных значений элементов системы), как из-за скорости техпроцессов, так и из-за температур, давления и плотности, состава и агрессивности среды, и человеческого фактора. Чем противоречия острее, тем более хаотизированной становится любая система производства» [6, с. 80].

Известно, что газообразные частицы наноразмеров можно нейтрализовать путем химической реакции, перевода их в соединения со множеством элементов. В том числе этого можно достичь растворением в воде [8]. Твердые же частицы наноразмеров, которые интересуют производство и ученых, – это твердый, в основном электропроводный, высокотемпературный, летучий (с малой насыпной плотностью), пористый материал с большой проникающей способностью, самовозгорающийся при относительно невысоких температурах. Действие твердых частиц неожиданно для людей, занятых на производстве, зачастую далеких от науки, и тем опаснее бывает проявление последствий, связанных с существованием таких частиц в выстраиваемой системе технологий.

Известно, что электронные системы управления технологическим оборудованием (ЭСУ) являются чувствительными к климатическим параметрам и качеству воздуха, поэтому необходимо очень тщательно подходить к выбору ее аналоговых подсистем. При эксплуатации ЭСУ выявлено, что одним из важнейших параметров воздухоподготовки наряду с параметрами влажности и температуры является такое качество воздуха, как запыленность, а именно содержание электропроводящей пыли и ее фракционный состав.

Не только электронная техника, но и люди, дома «оказываются под невидимой угрозой. Город, подобно джунглям, таит в себе эту невидимую и пока мало кому понятную опасность. Опасность для каждого без исключения жителя каменного мегаполиса» [6, с. 75]. Суть нашего исследования – в том, что с помощью знания причин преждевременного разрушения электронного изделия мы сможем определить новые факторы влияния технизированной среды, микробиотической флоры и фауны на человека.

Использовать устройства, которые бы очищали воздух производственных помещений через нефилтраты или слои поглотителя, невозможно с постоянно большим успехом, так как малая скорость прохождения воздуха через эту защиту приводит к быстрому засорению и последующей неэффективности устройства. Большая скорость воздухообмена не принесет положительного результата, так как твердые частицы имеют свойство проникать, накапливаясь до самоорганизации цепочек в любой электронной системе, действуя беспрепят-

ственно из-за малого размера и формы стержневого типа или пластин. Водная среда в устройствах [1, 2, 6] и других известных устройствах, улавливающая пыль микронного размера, не решает эту проблему для частиц наноразмеров. Такого размера пыль от использования вентиляционной системы в рабочей зоне только ускоряет свое проникновение в организм человека, как и всего живого, через кожный покров и дыхательные пути [4, 5]. В оборудовании, которое эксплуатируется в условиях проведения работ, в результате которых в помещении появляется пыль наноразмеров (например, механическая обработка, сварка композиционных материалов, содержащих волокнообразующие полимеры, электропроводный материал (например, графит, особенно терморасширенный графит и т.д.)), происходит быстрое накопление этой пыли до критической массы, далее следует пробой или ее возгорание. Оборудование или основная элементная база, как правило, выходит из строя, возникает простой, вплоть до остановки производства. Так, в последнее время отмечается массовый выход из строя электронных плат, микросхем программаторов на предприятиях, обеспеченных новым сложным оборудованием.

Объектом нашего исследования были электронные платы из одного и того же оборудования, массово вышедшие из строя по неизвестным причинам. Для исследования были предоставлены две вышедшие из строя электронные платы № 1 и № 2 управления технологическим оборудованием (рис. 1–4).

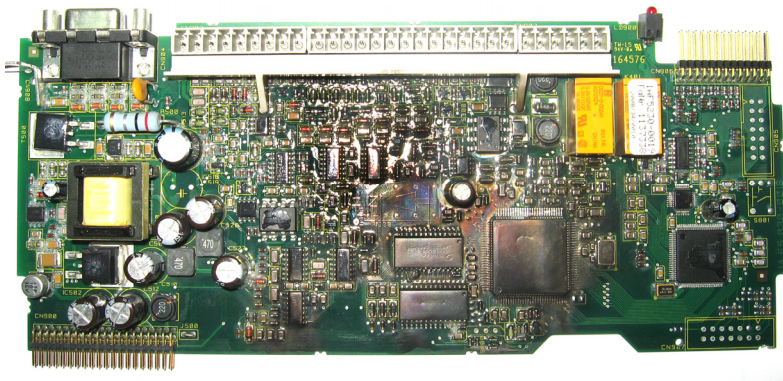


Рис. 1. Плата № 1, лицевая сторона. Общий вид

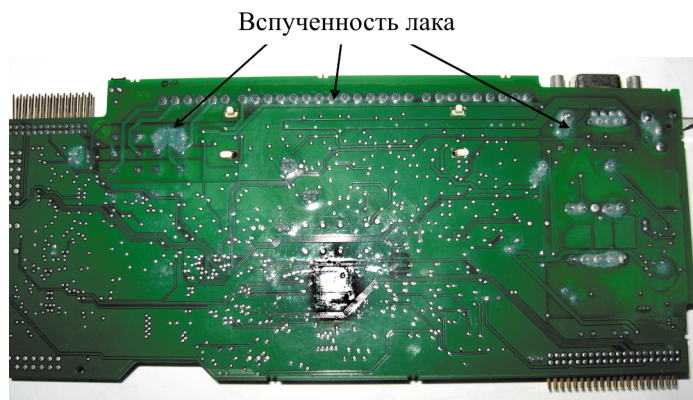


Рис. 2. Плата № 1, тыльная сторона



Рис. 3. Плата № 2, лицевая сторона

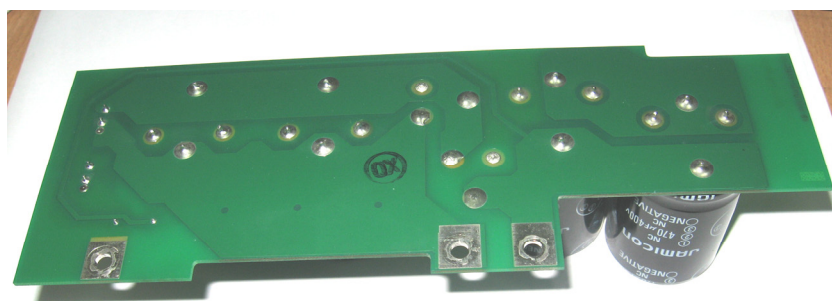


Рис. 4. Плата № 2, тыльная сторона

Для выяснения причин участвовавших сбоев и прекращения работы электронных плат, установленных в щитах управления, контроллерах-программаторах и др., расположенных непосредственно в зоне производства и обработки композиционных материалов, для выяснения возможного присутствия электропроводящей пыли был исследован материал после вынужденного прекращения его функционирования. Исследовались по секторам 4/681-4/743 тыльная и лицевая стороны платы № 1 и № 2 электронного управления иностранного производства.

Выяснение причины отказа проводилось с использованием металлографического неинвертированного цифрового микроскопа «Альтами-МЕТ5» при увеличении 50–1000 крат и более. Для увеличения контрастности изображения использовали фильтры и съемку при косом освещении в системе DF. В ходе изучения состояния поверхности лакового покрытия и элементов под ним выяснилось, что на тыльной стороне платы отчетливо проступают участки вспененного лака (см. рис. 2). Оказалось, что вспенивание соответствует тем участкам, где на лицевой стороне припаяны элементы, не покрытые лаком.

Съемка поверхности лака на тыльной и лицевой поверхности платы № 1 показала, что лак загрязнен частицами различной формы: присутствуют стержни, а также плоские, многослойные частицы, напоминающие чешуйки графита. Стержни обнаружены как на лаковом покрытии (рис. 5), так и внедренными в лак (рис. 6, 7), причем некоторые из них внедрены не полностью, а частично, что является свидетельством постепенного внедрения их в процессе эксплуатации платы. Чешуйки – производные другой технологии – явно занесены из внешней среды, например с загрязненным воздухом из производственных помещений.

В результате неполной вентиляции и отсутствия охлаждения плат наблюдаем действие температуры: присутствие на исследуемом материале концентрации пыли в кипящем слое лакового покрытия; пыли, которая попала под электромагнитное воздействие, наличие обосновавшихся в порах частиц сажи, которая является электропроводной (рис. 8).

Предполагаем, что пыль проникает также вследствие ускоренного старения защитных слоев и снижения качества лака. Наблюдаются также следы размягчения лака под действием нагрева. На открытых участках наблюдаем векторные следы от пыли.

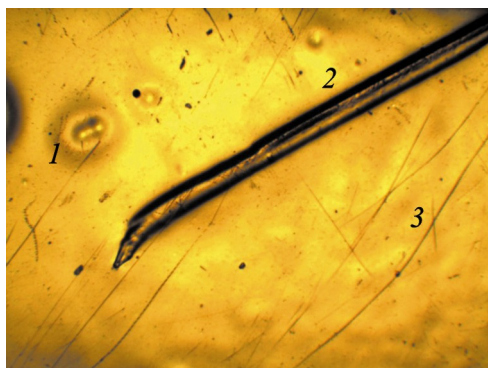


Рис. 5. Плата № 1: лаковое покрытие и пылевые дорожки, замыкающие элементы платы: 1 – окислы, выход сгоревшего элемента из-под лака; 2 – стержень пыли; 3 – дорожки пыли. × 500

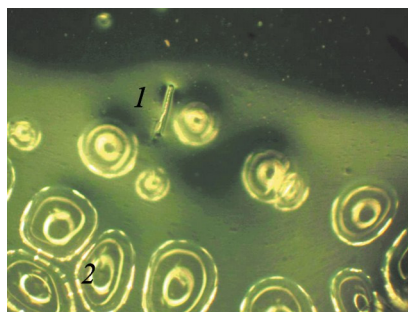


Рис. 6. Плата № 1: вспученная поверхность лака у элемента в плате: 1 – частица-стержень; 2 – воздушные полости. × 500

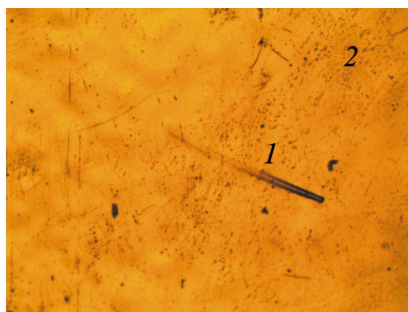


Рис. 7. Плата № 1: лак загрязнен частицами наноразмера и более крупными. Стержни проникли в лак: 1 – частица-стержень; 2 – нанопыль. × 2000

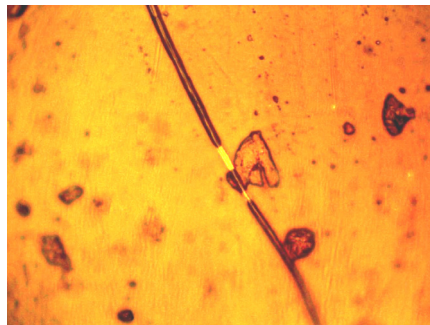
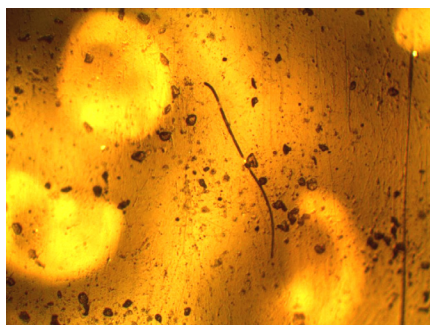


Рис. 8. Плата № 1: на лаке присутствуют частицы в виде чешуек многослойных и стержневой формы, которые выстроены в одном направлении, что подтверждает вывод о поступлении пыли извне в процессе эксплуатации оборудования. × 500

На плате № 2 обнаружено скопление частиц пыли, попавших извне в плату, внутрь защитных слоев лака, следы реакции, обрывы цепи с оголением контактов и отсутствие лака в этом месте, частицы стержневого типа – все это произвело замыкание и возгорание плат.

На вопрос о причинах массового сбоя в ЭСУ машиностроительного предприятия можно дать следующий ответ: причина – замыкание контактов под действием концентрации разных видов пыли, обнаружены даже участки цепи связи, замкнутые под лаком (рис. 9) и с выходом на поверхность лака (рис. 10). На лицевой поверхности платы № 2 видны участки вспененного лакового покрытия, просматривается зона высокотемпературного воздействия на детали электронной платы. При этом отчетливо видны дорожки, проделанные летящими частицами, и сами частицы. Некоторые частицы имеют заостренную форму, получаемую, возможно, в процессе обработки деталей, в результате процесса механического дробления, который проводится в том же помещении, где эксплуатируется электроника.

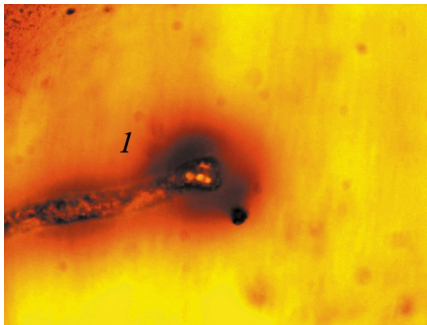


Рис. 9. Плата № 1: замыкание контактов под лаком и обрыв контакта:
1 – торец, вышедший из лакового покрытия. × 50

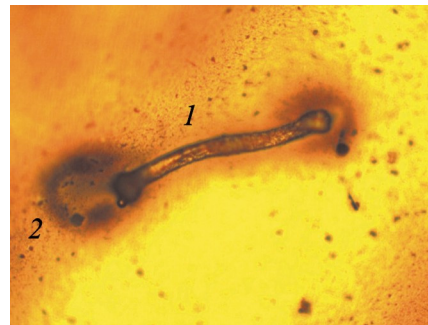


Рис. 10. Плата № 1: замыкание контактов и обрыв с выходом на поверхность:
1 – контакты; 2 – окислы на лаке после нагрева. × 50

На плате № 2 габаритные размеры одного конденсатора типа С6 имеют отклонение в геометрии в верхней части, что свидетельствует в данном случае об ускоренном тепловом старении.

Таким образом, имеется документальная фотофиксация – подтверждение отрицательного влияния внешней технизированной среды на эксплуатационные свойства исследуемых плат управления.

Для того чтобы избежать повторения выхода из строя дорогостоящего оборудования, и конкретно – электроники в нем, при исследовании

причин вывода из строя элементов электроники было обращено внимание на производителя, который поставляет элементы с плохим качеством покрытия, с точки зрения защиты от пыли. Этим производителем оказался Китай.

Также очевидно, что, пока иностранные и российские фирмы серьезно не озабочены поставкой качественной продукции дорогостоящих технологий (с защитой от нанопыли), необходимо перед началом эксплуатации оборудования (особенно иностранного производства) осуществлять контроль качества, с регламентной заменой.

Другая причина выхода из строя электрооборудования – размещение оборудования в помещении, не обеспеченном изоляцией от проникновения пылевидных наноразмерных частиц, особенно электропроводных. Для решения данной проблемы, безусловно, необходимо: организовать защиту путем перевода оборудования в категорию взрывоопасного класса, выполнять операции по обработке, изготовлению пылящих материалов, особенно с частицами наноразмеров, в другом помещении, а в производственном помещении эксплуатируемое оборудование оградить от возможного возгорания, от попадания пыли любого размера, в том числе наноразмерной, путем установки универсальной системы активного пылеулавливания «Эковеста»¹, о функциональных возможностях которой подробно сообщалось в работах [9, 10].

Акцентируя внимание на принципах функционирования системы «Эковеста», следует подчеркнуть, что для создания требуемых климатических параметров воздуха, необходимых для эффективного функционирования ЭСУ, имеется достаточно большое количество защитного оборудования, в том числе целый класс фильтров, но наиболее универсальной по эффективности улавливания и постоянству, по производительности (до 30 000 м³/ч) и степени очистки (до 99,3 %), надежной в эксплуатации и дешевой является установка «Эковеста». Данное утверждение подтверждено на практике – статистикой за 10 лет и результатом – ни одного отказа, ни одного возгорания. За эти годы установка «Эковеста» как активная экологическая вентиляционная система нашла широкое применение в различных отраслях производства.

¹ Пат. № 128835 от 18 февраля 2013 г. «Гидрофильтр для очистки воздуха от пыли», пат. № 2377052 от 16 июня 2008 г. «Способ мокрой очистки воздуха», пат. № 2417820 от 21 августа 2008 г. «Устройство по очистке воздуха», пат. № 80452 от 14 октября 2008 г. «Улавливатель», пат. № 81905 от 30 октября 2008 г. «Устройство для мокрой очистки газа», пат. № 81954 от 10 ноября 2008 г. «Устройство для очистки цианосодержащих сред».

В связи с проблемой улавливания наноразмерных частиц система «Эковеста» усовершенствована в плане изучения функционирования водной среды. Обнаружено, что при увеличении скорости перемешивания загрязнений в воде «Эковеста», или без них, вода и воздух коренным образом перестраиваются сами и перестраивают свои связи. Для этого вода подвергалась обработке в камере с помощью элемента вращения. В качестве элемента вращения была использована металлическая лента с односторонней поверхностью типа ленты Мебиуса с правой и левой закруткой. Частота вращения ротора 4500 об/мин. Время экспозиции 10, 20, 45 мин. Так, вода вначале (через 10 мин вращения со скоростью 7,1 м/с) частично ориентирует элементы (рис. 11, а), выстраивает в определенный порядок, а полностью элементы выстраиваются в одном направлении через 20 мин (рис. 11, б).

В ходе дальнейшего перемешивания с той же скоростью водные элементы после 45 мин превращаются в густую массу волокнистого строения (рис. 12), похоже, полимерного происхождения (происходит как бы сшивка полимера). При этом воздушные полости прочно скрепляются друг с другом. Элементы скрепления напоминают заклепки с двумя головками, развальцованными или уплотненными внутри скрепляемых воздушных полостей (рис. 13). Таким образом, впервые обнаружены новые типы связи вода – воздух. За счет образования этих связей установка «Эковеста» более эффективно улавливает и наноразмерные частицы.

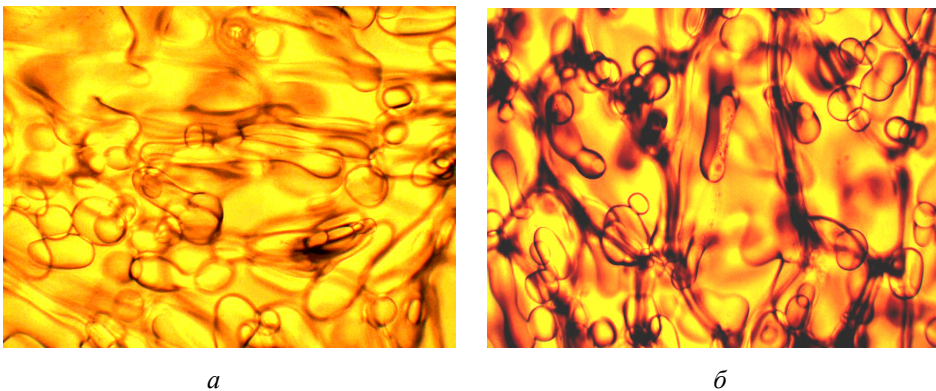


Рис. 11. Ориентация элементов воды:
а – частичная; б – завершение ориентации. $\times 200$

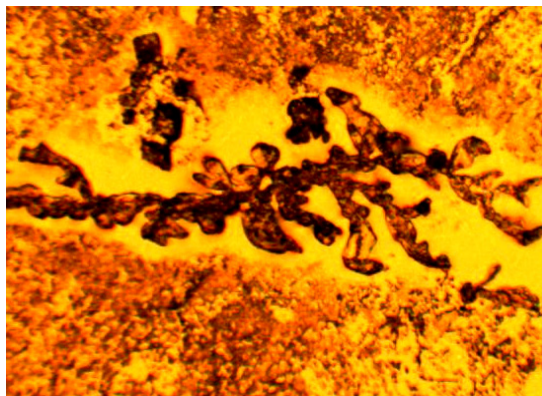


Рис. 12. Перестройка структурных элементов
в плотные полимерные образования. $\times 500$

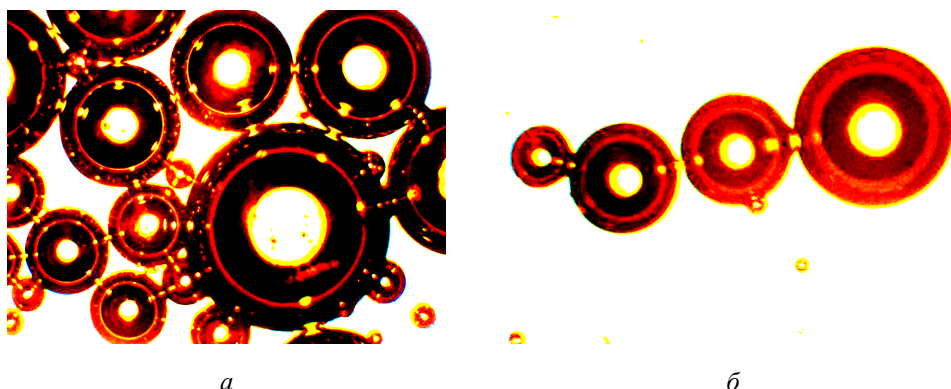


Рис. 13. Скрепление воздушных полостей:
а – в большую группу; *б* – в малую группу. $\times 200$

Таким образом, взамен стремления уменьшить и удешевить тем самым системные объекты следует прогнозировать их устойчивую связь с окружающей средой так, чтобы оказывалось возможным контролировать их восстановление и самоочистку, наблюдаемые в природе [11]. Удорожание электронных механизмов, подключенных к активному воздухо- и водообмену, несомненно, оправдает себя.

Таким образом, предприятиям, заинтересованным в очистке воздуха от техногенной пыли наноразмеров, можно дать следующие рекомендации.

Улучшить экологическую обстановку при проведении механических работ типа резания, а также сварки и других операций, в резуль-

тате которых появляется всепроникающая пыль, особенно наноразмерная, возможно за счет организации контроля качества элементов электрооборудования, качества воздуха, поступающего из окружающей среды с приточной вентиляцией или с мест скопления пыли, соседствующего с электрооборудованием, путем удаления оборудования на безопасное расстояние и установления «Эковесты» – универсальной активной защиты от проникновения частиц в любую среду.

Местное охлаждение с помощью вентилятора решает проблемы быстрого старения защитного покрытия, вызванного высокими температурами, однако работа вентилятора ведет к росту количества частиц пыли. Возможно применение систем сухой очистки от пыли, а также щадящего воздушного охлаждения с наличием сигнальных датчиков, но опыт свидетельствует, что рано или поздно происходит засорение фильтров или ломается улавливатель электропроводящих частиц. Не исключается и попадание большого количества пыли, например, при расположении в зоне работы устройств без активной защиты – как правило, в этом случае смена электронной системы управления технологическим оборудованием.

Эксплуатацию, регламентные работы при обслуживании электронного оборудования необходимо проводить в отсутствие электропроводящих частиц в воздухе типа стержней, волокон, чешуек графита или композиционного углеродсодержащего материала, также следует не допускать скопления сажи. Эти факторы в совокупности могут быстро привести к неожиданному замыканию цепи, пробоем и прекращению работы изделия, в частности электронных плат.

Следует локализовать производственные участки с пылевыделением в отдельном помещении с установкой фильтровального оборудования, где в качестве одного из активного типа фильтров используют воду или водную среду.

Желательно отказаться по возможности от плат иностранного производства, определяя качество изделий любого производителя при входном контроле.

До выхода из строя оборудования, особенно электронного, на участках изготовления и обработки композиционных материалов прежде всего необходимо обеспечить вывод или нейтрализацию техногенной пыли из внешней окружающей среды или с загрязненным воздухом из производственного помещения. Мы рекомендуем применять

универсальную систему очистки воздуха «Эковеста», которая способна дополнительно увеличивать влажность до требуемой в помещении, если это предусмотрено регламентом производственного процесса.

Список литературы

1. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности/основы энвайронменталистики. – 3-е изд., перераб. и доп. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с.

2. Систер В.Г., Муштаев В.И., Тимонин А.С. Экология и техника сушки дисперсных материалов. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 1999. – 670 с.

3. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. – Калуга, 2003. – 1023 с.

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

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

6. Trushkov Y.Y., Okonskaya N.K. “Dust in the Eyes”. Converging Technologies // Middle East Journal of Scientific Research. – 2014. – Vol. 21, no. 1. – P. 76–83.

7. 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.

8. Перри Дж. Справочник инженера-химика: в 2 т. – Л.: Химия, 1969. – Т. 2. – 504 с.

9. 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.

10. 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.

11. Оконская Н.К. Технизация человека в энергетическом аспекте // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Культура. История. Философия. Право. – 2013. – № 8 (47). – С. 72–82.

Получено 10.11.2014

Макарова Луиза Евгеньевна (Пермь, Россия) – ведущий инженер кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: kmcm@yandex.ru

Гусин Дмитрий Николаевич (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Гидравлика и гидравлические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: kmcm@yandex.ru

Квашнин Александр Иванович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидравлика и гидравлические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: kmcm@yandex.ru

Трушков Алексей Юрьевич (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: kmcm@yandex.ru

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

Каменских Алексей Павлович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, технический директор ЗАО «Вентмонтаж»; e-mail: kmcm@yandex.ru

Шевченко Александр Федорович (Пермь, Россия) – сотрудник ЗАО «Вентмонтаж»; e-mail: kmcm@yandex.ru

Пересветов Иван Иванович (Пермь, Россия) – конструктор ЗАО «Вентмонтаж»; e-mail: kmcm@yandex.ru

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

Gusin Dmitrii (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department “Hydraulics and Hydraulic Machines”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: kmcm@yandex.ru

Kvashnin Alexander (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Department “Hydraulics and Hydraulic Machines”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: kmcm@yandex.ru

Trushkov Aleksei (Perm, Russian Federation) – Graduate Student, Department “Environmental Protection”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: kmcm@yandex.ru

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

Kamenskikh Aleksei (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Technical Director, ZAO “Ventmontazh”; e-mail: kmcm@yandex.ru

Shevchenko Alexander (Perm, Russian Federation) – ZAO “Ventmontazh”; e-mail: kmcm@yandex.ru

Peresvetov Ivan (Perm, Russian Federation) – Constructor, ZAO “Ventmontazh”; e-mail: kmcm@yandex.ru