

Таким образом, анализ показывает, что, поскольку основные типы дорог имеют неровности сравнительно небольшой длины, то с точки зрения уменьшения динамической нагруженности элементов шасси и надстройки при их движении по дорогам схема размещения мостов базовых шасси 1-2-1 является наиболее целесообразной. Так же на базовых шасси, предназначенных для монтажа спецоборудования, целесообразно использовать широкопрофильные или арочные шины соответствующей грузоподъемности с возможно меньшей жесткостью и повышенными демпфирующими качествами.

### **Литература**

1. Широухов А.В. Методика синтеза оптимальных систем защиты узлов и агрегатов пожарно-спасательных автомобилей от динамических перегрузок: дис. ... канд. наук. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 164 с.
2. Широухов А.В. Пути совершенствования конструкций элементов подвесок базовых шасси пожарно-спасательных автомобилей // Природные и техногенные риски (физико-математические прикладные аспекты). 2015. № 3. 78 с.
3. Афанасьев В.А., Васильев В.С., Ачатуров А.А. Спектральные характеристики поверхностей некоторых участков дорог. М., 1972. С. 120–183.
4. Проектирование полноприводных колесных машин: учеб. / под общ. ред. А.А. Полунгяна: в 2-х т. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. Т. 2. 640 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ КОМПОЗИЦИЙ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ**

**А.А. Боева;**

**А.В. Иванов, кандидат технических наук;**

**Г.Л. Шидловский, кандидат технических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлено исследование огнезащитных вспучивающихся композиций методом атомно-силовой микроскопии, модифицированных в условиях электрофизической и реагентной модификации.

*Ключевые слова:* огнезащитное вспучивающееся покрытие, атомно-силовая микроскопия, адгезия, переменный частотно-модулированный потенциал

## **INVESTIGATION OF COMPONENTS OF MODIFIED FIRE-PROTECTIVE RECOVERY COMPOSITION BY THE ATOM-FORCE MICROSCOPY METHOD**

A.A. Boyeva; A.V. Ivanov; G.L. Shidlovsky.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In this paper, a study is made of flame retardant intumescent compositions by atomic-force microscopy, modified under conditions of electrophysical and reagent modification.

*Keywords:* flame-retardant swelling coating, atom-force microscopy, adhesion, variable frequency-modulated potential

В условиях термического воздействия потоков горячих газов, при пиролизе, химическом и механическом уносе массы обугленного слоя сложно сохранить огнезащитное покрытие на поверхности защищаемого материала. Решение проблемы стабильности пенококса при термическом воздействии связано, главным образом, с защитой от нагревания металлических поверхностей, поскольку, исходя из любой из известных теорий адгезии, нагретые до определенных температур металлы не способны проявлять характерные для них исходные физико-химические свойства, изначальное проявление которых определяет те или иные величины адгезионных параметров. Очень важно продлить время сохранности карбонизированного слоя теплоизолирующего субстрата на максимально возможный срок, для чего пенококсу необходимо придать достаточную прочность (устойчивость к действию воздушногазовых потоков, неизбежных при пожаре) [1].

Модификация полимеров и лакокрасочных покрытий наноструктурами позволяет получать материалы с улучшенными технологическими, адгезионными и физико-механическими характеристиками [2].

Реагентная модификация (депонирование многослойных углеродных нанотрубок (MWCNT) в полимерные материалы значительно увеличивает их трещиностойкость, значения деформации разрушения [3], прочности при изгибе, модуля упругости [4], изменяет адгезионные характеристики полимерного покрытия в процессе формирования слоя огнезащитных вспучивающихся композиций (ОВК) [2]. От того, насколько хорошо смачивает ОВК подложку и растекается по ней, во многом зависят адгезионная прочность и защитная способность покрытий [5].

Целью настоящего исследования было установление зависимости распределения размера капель в распыле модифицированного ОВК от параметров распыла и концентраций наноконпонентов в полимерном материале.

Модификация огнезащитного состава проводилась с помощью депонирования функционализированных MWCNT [6] в растворитель (ксилол), основой для модифицированного огнезащитного состава применялась ОВК для стальных конструкций «Термобарьер», выпускаемая по ТУ 2313-001-30642285-2011. Были получены образцы ОВК с MWCNT в краске и грунте. Также отдельные компоненты ОВК подвергались электрофизическому воздействию с параметрами переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП) 56 В, 50 Гц.

В работе [7] приведены результаты исследования адгезионной прочности модифицированных ОВК по ГОСТ 32299-2013. Для каждого образца проводилось не менее трех испытаний. Полученные данные в целом свидетельствуют об увеличении адгезионной прочности до 20 % модифицированных образцов ОВК, что обеспечивает высокую устойчивость покрытия.

На рис. 1 представлена зависимость времени начала интенсивного роста температуры металла от адгезионной прочности покрытия. Можно отметить, что при увеличении адгезионной прочности модифицированных ОВК происходит более медленное разрушение защитного слоя, что приводит к более медленному росту температуры. Кроме того, некоторая зависимость максимальной температуры металла в течение периода испытания от адгезионной прочности уменьшает адгезионную прочность модифицированных ОВК на 10–20 % при концентрации MWCNT в огнезащитном составе от 0 до 0,5 об. %, при увеличении концентрации до 1,25 об. % адгезионная прочность модифицированных ОВК в несколько раз выше по сравнению с базовым составом ОВК.

При электрофизическом воздействии (ПЧМП) модифицированное ОВК имеет улучшенные эксплуатационные характеристики на технологических стадиях подготовки, формирования полимерного покрытия, наблюдается изменение значений давления насыщенного пара и поверхностного натяжения компонентов растворителя; при этом происходит переориентация углеродных наночастиц в структуре полимеров, снижается агрегация наночастиц в окрашиваемом слое.

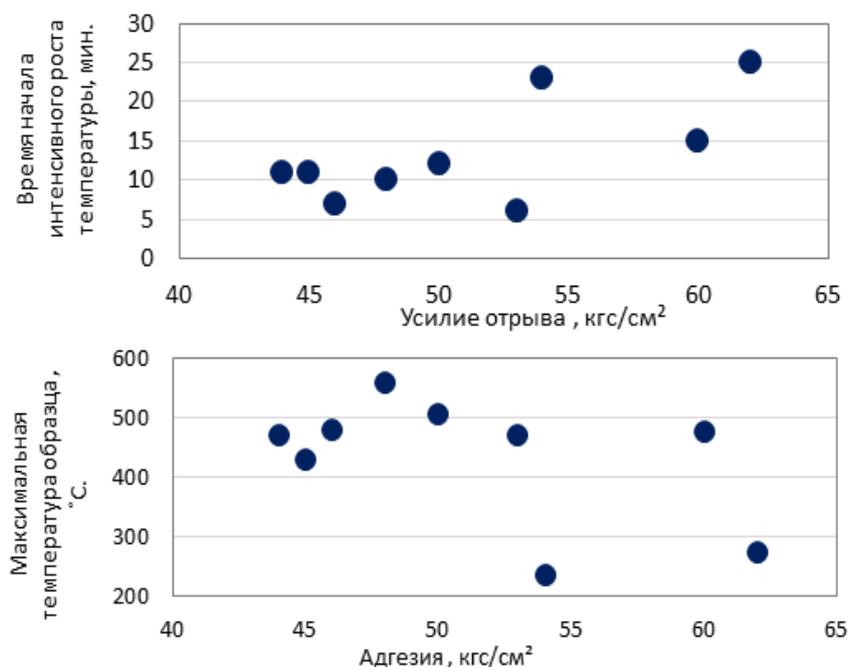


Рис. 1. Зависимость максимальной температуры металла на 25 мин воздействия пламени от адгезионной прочности ОБК

Напряженность электрического поля при нанесении огнезащитного состава измерялась электростатическим вольтметром «SF 156» на расстоянии 50 мм от поверхности. Полученные результаты свидетельствуют о снижении электризации при распыле модифицированного состава с MWCNT в условиях электрофизического воздействия (рис. 2).

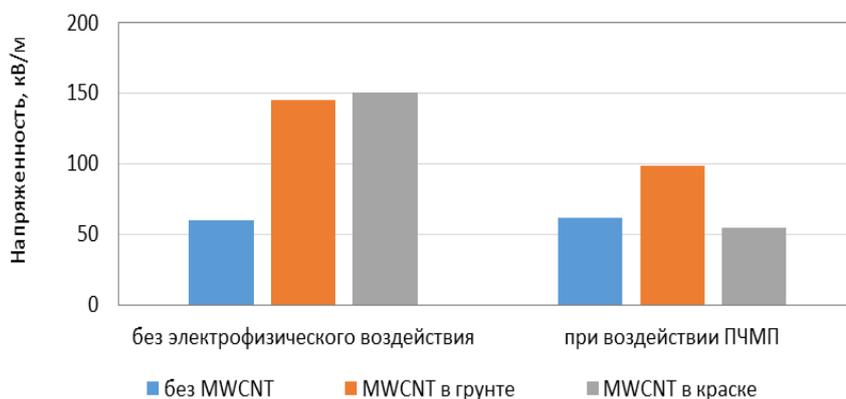
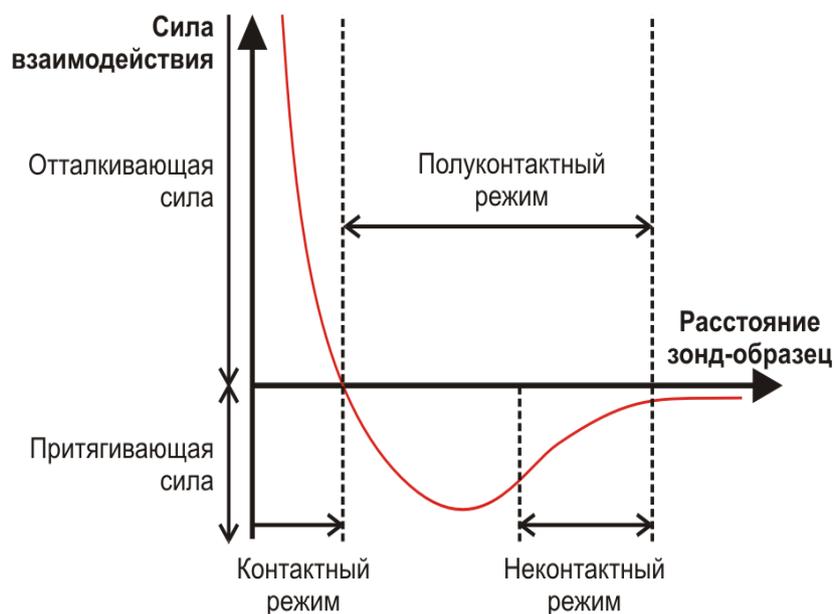


Рис. 2. Напряженность электрического поля при нанесении состава: 1 – ОБК; 2 – модифицированного MWCNT (1,0 об. %) грунта; 3 – модифицированного ОБК MWCNT

Исследование зависимости размера капель ОБК от условий параметров нанесения и модификации проводилось методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на установке NTEGRA-SPECTRA с помощью сканирующего зондового микроскопа высокого разрешения. Метод АСМ основан на регистрации силового взаимодействия иглы кантиливера (зонда) с поверхностью исследуемого образца, что позволяет получать изображения высокого разрешения безотносительно к физико-химическим свойствам материала поверхности [8].

В основе работы АСМ лежит использование различных видов силового взаимодействия зонда с поверхностью. На больших расстояниях между острием и образцом действуют силы притяжения, на малых – из-за электростатического взаимодействия электронных облаков атомов – силы отталкивания (рис. 3). Эти силы уравниваются при расстоянии порядка двух ангстрем [8].



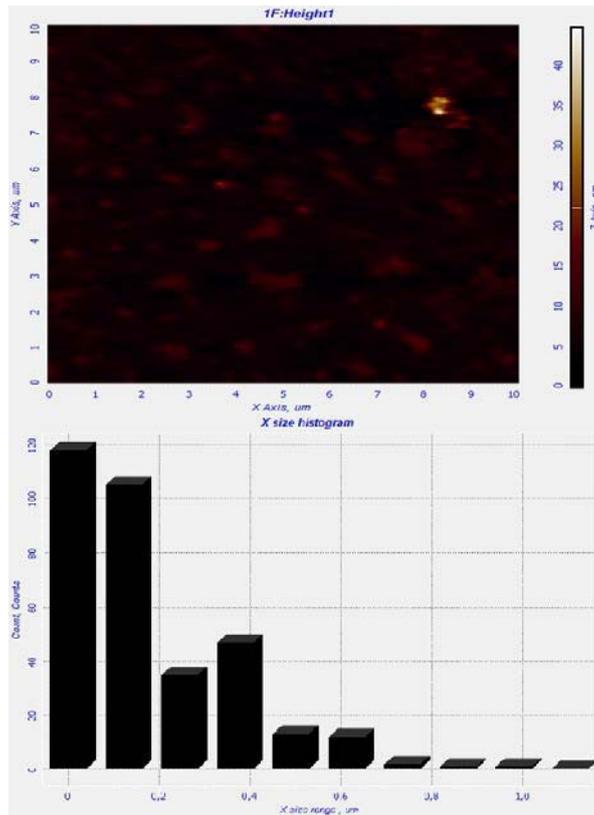
**Рис. 3. Зависимость силы взаимодействия острия зонда и образца от расстояния и основные режимы работы**

В ходе исследования полученные образцы ОВК (немодифицированные ОВК, модифицированные ОВК с концентрацией MWCNT 1,0 об. %; модифицированный грунт – ГФ-021 с концентрацией MWCNT 1,0 об. %), расплылись на предметные стекла, обладающие наименьшей кривизной среди подложек в своем классе. Далее проводилось исследование модифицированных поверхностей [9].

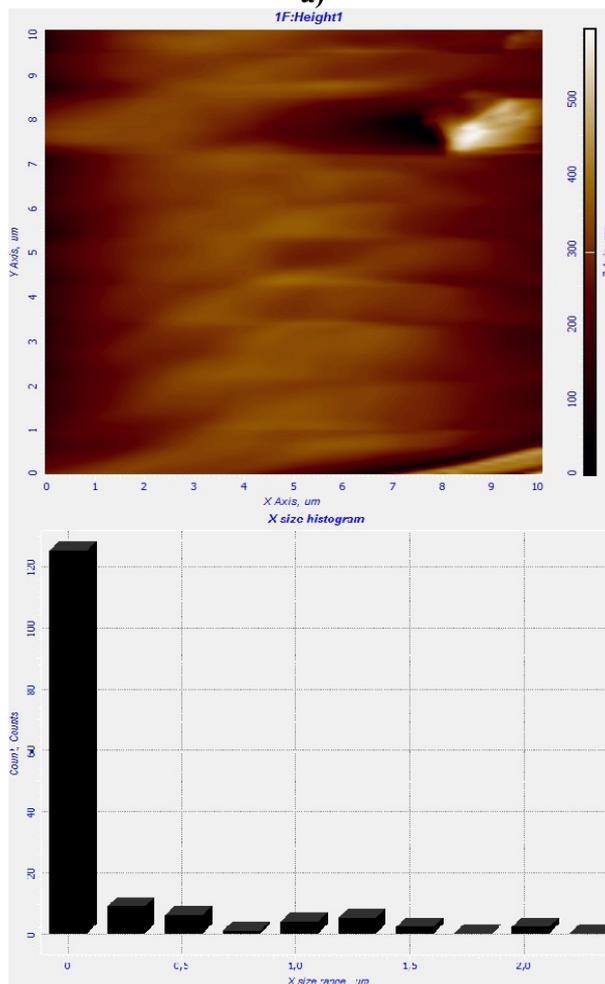
На данной подложке из этого материала можно наиболее четко увидеть результаты нанесения ультрадисперсных частиц [10]. Результаты исследования модифицированных ОВК методом АСМ представлены на рис. 4–6, где показана топография подложек с ОВК и гистограмм с распределением по размерам капельной фазы.

Представлены результаты АСМ и гистограмма распределения размеров расплывшихся частиц ОВК. При распыле ОВК без электрофизического воздействия наблюдаются локальные вкрапления частиц полимера, преимущественно размерами (0,1...0,6 мкм) на подложке, при электрофизическом воздействии размер объектов исследования на подложке составляет (0,1...0,3 мкм). Полученные данные свидетельствуют, что для образца (рис. 4 б), полученного при электрофизическом воздействии, характерно образование большого количества капель с меньшим линейным размером по сравнению с контрольным образцом (рис. 4 а).

На рис. 5 представлены результаты АСМ и гистограмма распределения размера частиц ОВК с концентрацией MWCNT 1,0 об. %. При распыле модифицированного ОВК MWCNT (1,0 об. %) без воздействия ПЧМП размер капель составляет 0,1...0,5 мкм, а при электрофизическом воздействии наблюдаются капли с размерами порядка 0,1...0,2 мкм. Можно сказать, что без электрофизического воздействия наблюдается большее количество капель сферической формы при больших линейных размерах (рис. 5 а), по сравнению с меньшими каплями образца, полученными при электрофизическом воздействии (рис. 5 б).

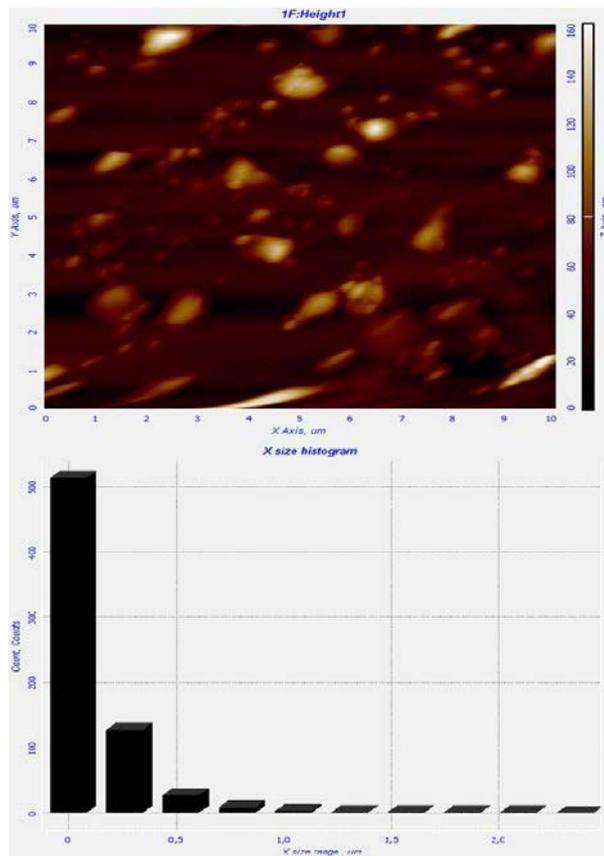


a)

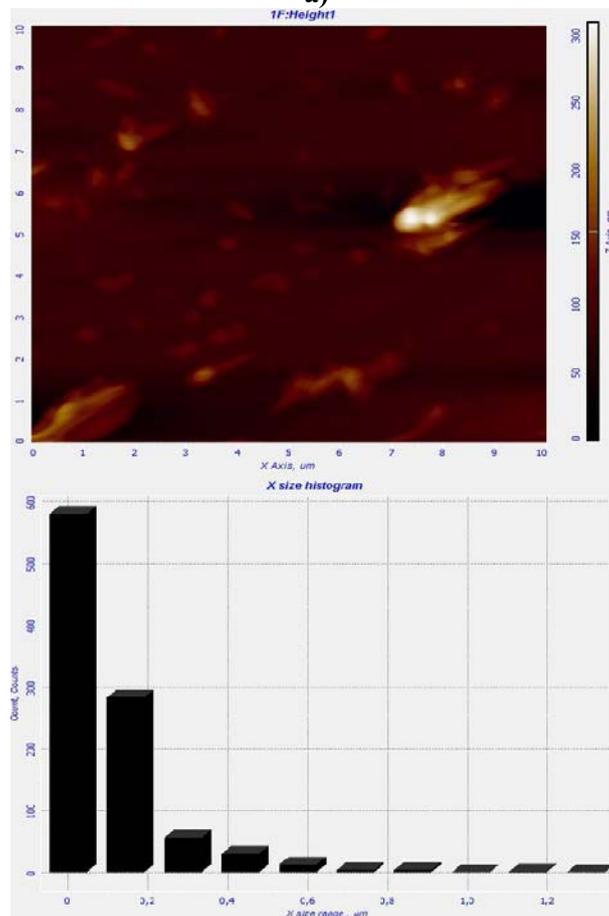


b)

Рис. 4. Результаты АСМ и распределение распыла частиц ОВК на подложке: а) без воздействия ПЧМП; б) при воздействии ПЧМП

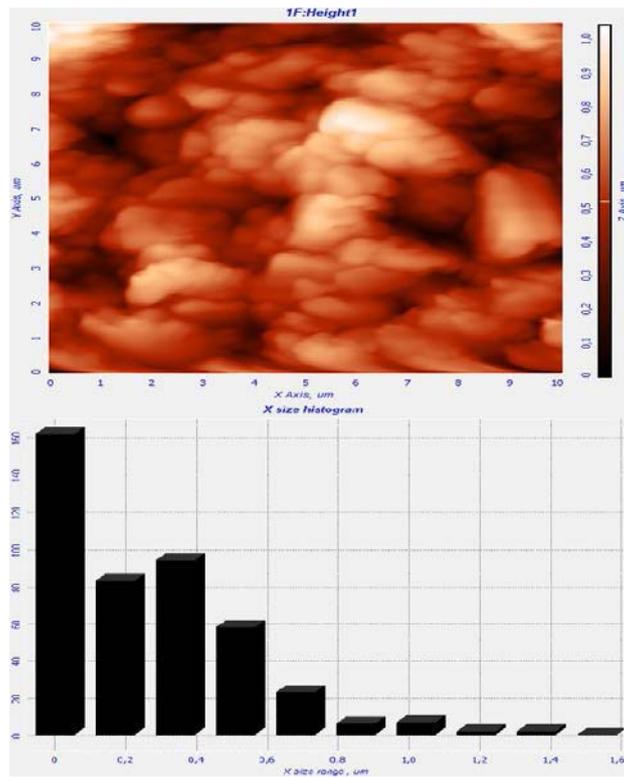


a)

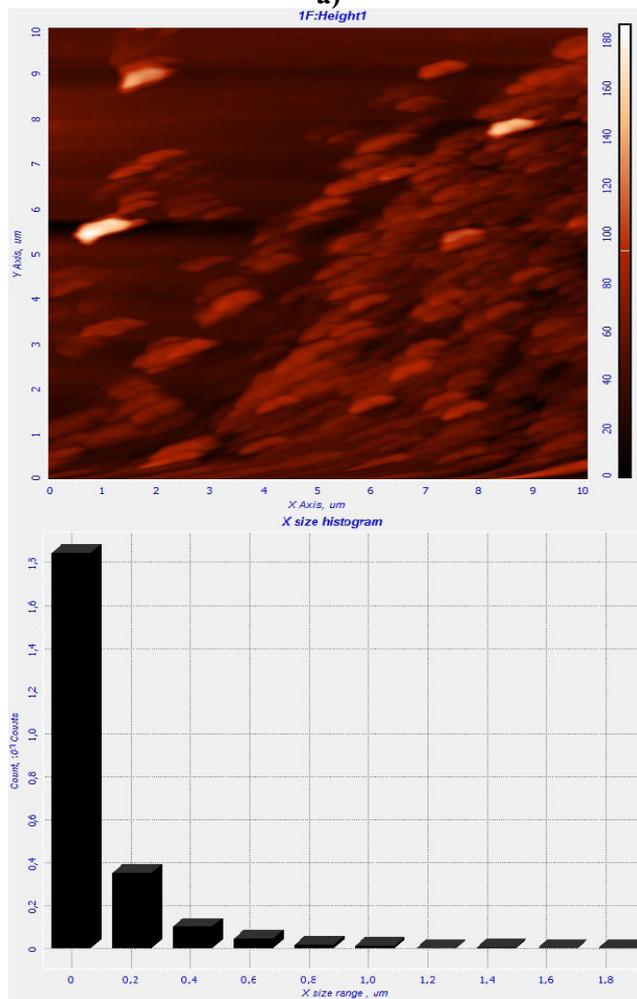


б)

Рис. 5. Результаты АСМ и распределение распыла частиц модифицированного ОВК МWCNT (1,0 об. %): а) без воздействия ПЧМП; б) при воздействии ПЧМП



a)



b)

Рис. 6. Результаты АСМ и распределение распыла частиц модифицированного грунта ГФ-021 с концентрацией MWCNT (1,0 об. %): а) без воздействия ПЧМП; б) при воздействии ПЧМП

На рис. 6. представлены результаты АСМ и гистограмма распределение размера частиц модифицированного грунта ГФ-021 с концентрацией MWCNT 1,0 об. %. При распыле модифицированного грунта MWCNT (1,0 об. %) без электрофизического воздействия наблюдаются вкрапления частиц полимера, с преимущественными размерами 0,1...0,8 мкм на подложке. Формируемые капли при электрофизическом воздействии имеют меньшие размеры (около 0,1...0,4 мкм). Также для капель, полученных при воздействии ПЧМП, характерна вытянутая форма, причем капли ориентированы в одном направлении относительно друг друга.

Таким образом, применение ПЧМП в качестве безреагентного способа стабилизации наночастиц в растворителе позволяет снизить электризацию процессов окраски гидравлическим способом. Исследование методом АСМ показало, что при электрофизическом воздействии уменьшается размер капель при распыле, что обеспечивает равномерное распределение модифицированного состава и позволяет улучшить адгезионные и прочностные характеристики ОВК [5]. Это позволяет сделать вывод о возможности создания технологии получения и нанесения модифицированных ОВК для повышения эффективности огнезащиты на объектах нефтегазового комплекса в условиях углеводородного горения.

### **Литература**

1. Зыбина О.А. Теоретические принципы и технология огнезащитных вспучивающихся материалов: дис ... д-ра техн. наук. СПб., 2015. 260 с.
2. Новые грунтовочные лакокрасочные материалы, содержащие углеродные нанотрубки / А.В. Николайчик [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2010. Т. 1. № 4.
3. Effect of loading and surface modification of MWCNTs on the fracture behavior of epoxy nanocomposites / S. Ganguli [et al.] // Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2006. Т. 25. № 2. С. 175–188.
4. Использование углеродных нанотрубок для увеличения теплостойкости эпоксидных связующих / С.В. Кондрашов [и др.] // Перспективные материалы. 2013. № 2. С. 17–23.
5. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: учеб. пособие для вузов. 4-е изд., исп. СПб.: Химиздат, 2010. 448 с.
6. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К., Медведева Л.В. Методы управления свойствами углеводородных жидкостей в задачах обеспечения пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 26. № 9. С. 30–37.
7. Боева А.А., Пророк В.Я., Трофимец В.Я. Исследование эксплуатационных характеристик модифицированных вспучивающихся огнезащитных составов в условиях горения углеводородов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 2 (42). С. 96–103.
8. Специальные методы измерения физических величин: учеб. пособие / А.В. Федоров [и др.]. СПб.: НИУ ИТМО, 2014. 127 с.
9. Формирование капельной фазы при воздействии мощного ионного пучка на структуру «тонкая металлическая пленка диэлектрическая подложка» / В.С. Ковивчак [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2007. № 7. С. 95–97.
10. Герасимов М.А. Математическая обработка результатов сканирования поверхности. СПб.: СПбГЭТУ УНЛ «Импульсные электротехнологии», 2016. С. 80.

