

УДК 534.29:551.594.25

**Н.Н. Чернов, М.А. Тимошенко, М.В. Рубашкина**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДИФФУЗИИ СУБМИКРОННЫХ  
И НАНОЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ**

*Экспериментально оцениваются диффузионные потоки субмикронных и наночастиц через пограничный слой и их дисперсное распределение для двух видов сигарет.  
Диффузия; пограничный слой; аэрозольные частицы; табачный дым.*

**N.N. Chernov, M.A. Timoshenko, M.V. Rubashkina**

**THE DIFFUSION OF SUBMICRONIC PARTICLES AT BLAST THROUGH  
HYDRODYNAMIC AND ACOUSTIC BOUNDARY LAYERS**

*The diffusion flux of submicron & nano- particles through boundary layer and the disperse structure of two kind of cigarettes were estimated by experiment.  
Diffusion; boundary layer; aerosol particles; tobacco smoke.*

В дыхательном тракте человека (и в ряде технологических процессов в промышленности) осаждение нано- и субмикронных частиц, например, табачного дыма при пассивном и активном курении происходит через пограничный слой. Нами предпринята попытка экспериментального исследования осаждения таких частиц. При движении воздуха со взвешенными в нем субмикронными и наночастицами в узком канале (например, при активном и пассивном курении, а также в ряде промышленных технологических процессах, связанных с осаждением аэрозолей), происходит осаждение в гидродинамическом потоке с преодолением пограничного слоя за счет диффузии [1].

Ранее нами производились теоретические расчеты, касающиеся диффузионного потока от источника [2,3]. В данной работе приводится описание проведенного нами экспериментального исследования потока субмикронных аэрозольных частиц через гидродинамический слой.

Экспериментальная оценка диффузионного потока субмикронных и наночастиц через пограничный слой базируется на предположении, что все (или практически все) аэрозоли, отклонившиеся в перпендикулярном направлении (по оси  $y$ ) от горизонтального потока (оси  $x$ ) в канале, шириной  $h$ , прилипнут на горизонтальную подложку. Эти частицы можно рассмотреть в атомно-силовом микроскопе, их можно сосчитать и оценить их дисперсное распределение. Высказанное предположение подкрепляется тем обстоятельством, что диффузионный поток  $\Pi_y(x)$  через пограничный слой в направлении оси  $y$  невелик по сравнению с основным  $\Pi_x(x)$ . Слипимость субмикронных, тем более наночастиц, проникших с помощью диффузионного потока через пограничный слой, обеспечивает сцепление с поверхностью силатовой подложки за счет сил Ван-дер-Ваальса.

При названных предположениях диффузионный поток субмикронных и наночастиц  $\Pi_y(x)$  рассчитывается путем подсчета на снимках в атомно-силовом микроскопе числа осажденных аэрозольных частиц на горизонтальную силатовую подложку известной площади за известное время. При этом фиксируется скорость горизонтального потока, температура, а также параметры среды и аэрозоля.

Измерения проводились следующим образом: в трубе коагуляционной камеры, шириной  $h = 10$  см и длиной  $l = 110$  см, вдоль оси  $x$  протягивался воздух со взвешенными в нем частицами дыма, при этом создавался аэрозольный поток  $\Pi_x(x)$ . От него, в силу диффузии, ответвляется поток частиц в направлении, пер-

пендикулярном оси  $x$ ,  $\Pi_y(y)$ . В это время в коагуляционную камеру помещались подложки ситала для отбора проб дыма. Пробы отбирались в двух точках в течение времени  $t = 5$  с. Подложки располагались горизонтально на оси камеры, при этом отверстия для забора проб закрывались. Затем ситаловые подложки с осажденными на них частицами дыма, помещались в зондовый микроскоп, где методом атомно-силовой микроскопии в бесконтактном режиме исследовались рельеф, структура, поверхностная концентрация частиц. Измерения проводились для двух типов аэрозолей: «махорка» и «Мальборо».

Измерения проводили на установке, схема которой изображена на рис. 1. Основной частью является горизонтальная труба 1, длиной 110 см, в левой части расположен акустический излучатель 2. Справа – вентилятор 5, обеспечивающий горизонтальный поток аэрозоля. В диффузоре 4 имеется отверстие для подключения генератора дыма. В трубе 1 имеются отверстия для взятия проб на ситаловые подложки, располагающиеся горизонтально на фиксированных расстояниях  $x_1 = 20$  см,  $x_2 = 40$  см от источника аэрозоля.

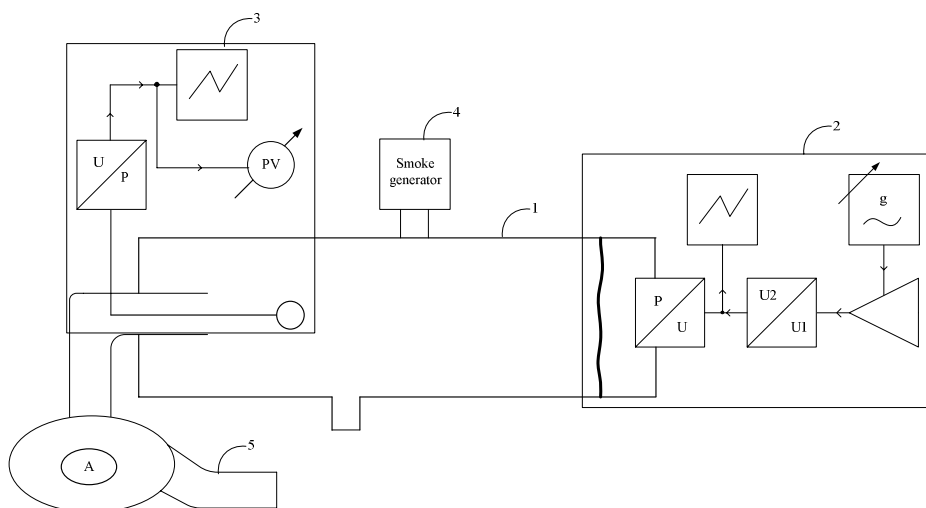


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования процессов взаимодействия аэрозолей

В представляемой серии экспериментов измерения проводились с аэрозольными частицами двух типов сигарет тонкодисперсными «Мальборо» и грубодисперсными «махорка». На рис. 2 приведен фазовый портрет осажденных на ситаловую подложку частиц сигарет «Мальборо» при  $x_1 = 20$  см. На микрофотографии отдельные частицы сигаретного дыма, средним размером порядка 100 нм. Размер скана равен 50x50 мкм. Конфигурация и общий вид частиц во многом совпадает с наблюдаемыми нами ранее частицами выдыхаемого курильщиками дыма. На ситаловой подложке, помещенной в наномикроскоп, можно насчитать много сканов, на которых видны для измерений размеры и соответствующее число частиц для подсчета счетной концентрации, диффузионного потока  $\Pi_y(x)$  и дисперсного распределения.

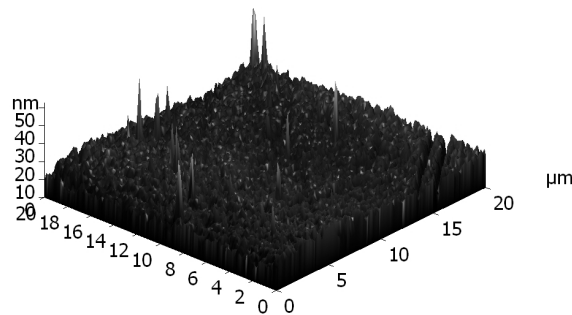


Рис. 2. Фазовая нанофотография частиц сигарет «Мальборо» при  $x_1 = 20$  см

На рис. 3 приведена нанофотография осажденных при  $x_1 = 20$  см на ситаловую подложку частиц сигарет типа махорка. Из сравнения микрофотографий видно, что размеры частиц сигарет типа махорка существенно больше сигарет «Мальборо». Общая их конфигурация сходная, так как в основе лежат смолы никотина.

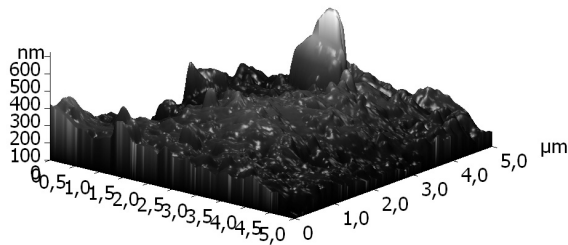


Рис. 3. Фазовая нанофотография частиц сигарет «Махорка» при  $x_2 = 20$  см

Из сравнения нанофотографий следует, что медианный размер частиц сигарет «Мальборо» меньше аэрозолей дыма сигарет типа махорка.

На рис. 4 и 5 приведены трехмерные микрофотографии осажденных через пограничный слой на ситаловые подложки частиц соответственно тех же сигарет «Мальборо» и махорка в токе  $x_2 = 40$  см. Результаты сравнения рис. 4 и 5 приблизительно такие же, как и рис. 2,3. По результатам подсчета различных сканов ситаловых подложек в точке 2 нами получены количественные характеристики диффузионных потоков субмикронных и наночастиц через пограничный слой. Скорость горизонтального потока удерживалась постоянной.

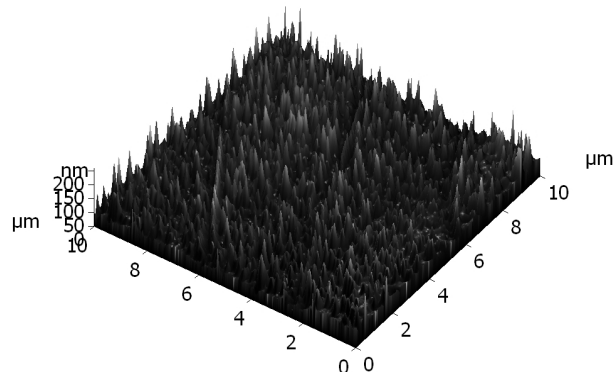


Рис. 4. Фазовая нанофотография частиц сигарет «Мальборо» при  $x_1 = 40$  см

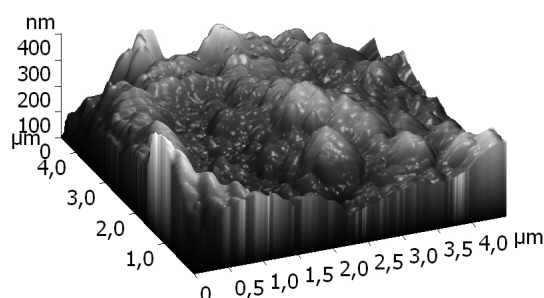


Рис. 5. Фазовая нанофотография частиц сигарет «Махорка» при  $x_2 = 40$  см

Сравнение подсчитанных из экспериментальных данных из рис. 2-5 диффузионных потоков показывает некоторую убыль, предсказанную теорией.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимошенко В.И., Чернов Н.Н. Осаждение и осадконакопление промышленных дымов. – Ростов-на-Дону: «Ростиздат», 2004. – 224 с.
2. Тимошенко М.А. Решение задачи о диффузионном изменении счетной концентрации наночастиц методом операционного исчисления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 6 (95). – С. 186-193.
3. Тимошенко М.А., Чернов Н.Н. Модель осаждения частиц сигаретного дыма на поверхность в звуковом поле с учетом квазистационарности среды // Нелинейные акустические системы. Сборник статей, май, 2008. – Ростов-на-Дону: ЗАО «Ростиздат». – С. 206-213.
4. Тимошенко В.И., Чернов Н.Н. Взаимодействие и диффузия частиц в звуковом поле. – Ростов-на-Дону: «Ростиздат», 2003. – 304 с.
5. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. – М.: Изд-во «Академии наук», 1955. – 351 с.

#### **Чернов Николай Николаевич**

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: nik-chernov@yandex.ru.

347930, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2.

Тел.: 88634 371795.

#### **Тимошенко Мария Алексеевна**

E-mail: ega@tsure.ru.

#### **Рубашкина Марина Владимировна**

E-mail: tmina@fep.tsure.ru.

#### **Chernov Nikolay Nikolaevich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: nik-chernov@yandex.ru.

2, Shevchenko street, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634 371795

#### **Timoshenko Maria Alekseevna**

E-mail: ega@tsure.ru.

#### **Rubashkina Marina Vladimirovna**

E-mail: tmina@fep.tsure.ru.