ПРИБЛИЖЕННЫЕ ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА С РЕСПИРАТОРОМ

Зарипов Ш.Х. [1], Мухаметзанов И.Т. [1], Гриншпун С.А.[2], Фатхутдинова Л.М. [3]

[1]*Казанский Федеральный Университет, Казань, Россия,*

shamil.zaripov@kpfu.ru

[2]*Университет Цинциннати, Цинциннати, США*

[3]*Казанский государственный медицинский университет», Казань, Россия*

Аннотация: Предложена математическая модель и проведены исследования осаждения аэрозольных частиц в различных отделах дыхательного тракта человека при свободном дыхании и дыхании через герметично и негерметично закрепленные респираторы.

1. Введение

В условиях запыленной воздушной среды применяются различные средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), что позволяет значительно уменьшить вдыхаемую фракцию пылевых частиц. В работе развита приближенная математическая модель дыхания человека с учетом респиратора на основе модели сферического пробоотборника с пористым слоем. Предложен метод оценки количества оседающей полидисперсной взвеси в отделах дыхательного тракта человека при использовании герметично и негерметично закрепленного СИЗОД.

2. Постановка задачи и результаты

Рассматривается стационарное двумерное осесимметричное течение газа с взвешенными частицами при обтекании сферы с аспирирующим отверстием и фильтрующим слоем перед ним. Движение воздушной среды в приближении ламинарного вязкого течения газа описывается уравнениями Навье-Стокса в однородной области и расширенными уравнениями Бринкмана внутри пористого слоя. На основе численного решения в среде программы ANSYS/Fluent (www.ansys.com) рассчитывается величина *TIL* (Total Inward Leakage), характеризующее отношение концентрации частиц внутри дыхательных путей к концентрации аэрозольных частиц вдали от головы человека (Mukhametzanov et al, 2016).

Для расчета количественной дозы $D_i(d_p)$ частиц (число частиц), оседающих в i–ом отделе дыхательного тракта человека в запыленной воздушной среде, используется формула вида (Oravisjärvi et al, 2014):

$$D_i(d_p) = C_0(d_p) \times F_i(d_p) \times V \times TIL(d_p)$$

где d_p – диаметр частицы, $C_0(d_p)$ – распределение числовой концентрации частиц вдыхаемой взвеси по размерам на рабочем месте, $F_i(d_p)$ –фракция частиц, оседающих в i–ом отделе дыхательного тракта человека, V – объем вдыхаемого воздуха. Коэффициент пропуска фильтра соответствует респиратору класса N95. Для расчета $F_i(d_p)$ используется программа MPPD (http://www.ara.com/products/mppd.htm). Рассчитываются количественные дозы D_1, D_2, D_3 оседающих в течение 8 часов частиц диоксида титана TiO_2 (Yang et al, 2012) в трех областях соответственно: верхние дыхательные пути (носовая полость, носоглотка, носоглоточные пути), нижние дыхательные пути (трахея, бронхи, бронхиолы), альвеолярная зона, а также суммарное количество $D=D_1+D_2+,D_3$. При использовании герметично закрепленного респиратора число частиц, оседающих в верхних дыхательных путях, падает примерно на два порядка (рис. 1а). При наличии зазора, площадь S_l которого составляет 0.1% от площади S_f внутренней поверхности респиратора, кривая $D_1(d_p)$ по форме повторяет

кривую осаждения при свободном дыхании и оказывается между кривыми, полученными для дыхания без респиратора и дыхания через герметично закрепленный респиратор (рис. 1.б–г).

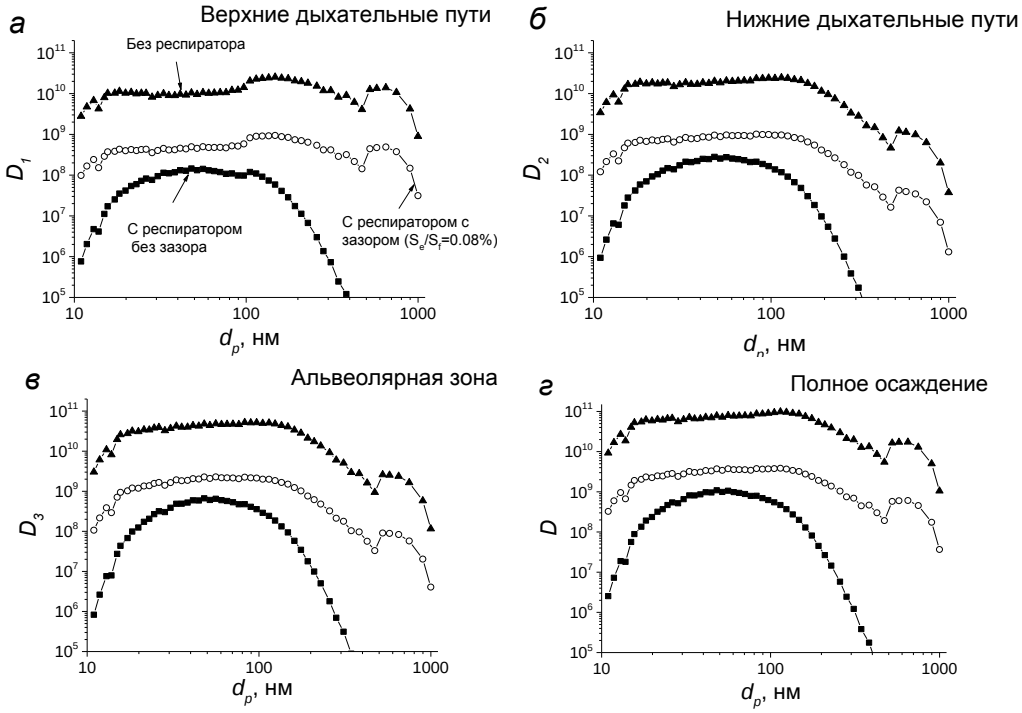

Рисунок 1. Зависимости доз D_1, D_2, D_3, D от диаметра частиц

3. Выводы

Предложена математическая модель и проведены параметрические исследования коэффициента защиты аэрозольного респиратора при различных значениях проницаемости материала фильтра и размеров щели между респиратором и лицом. Предложен метод оценки числа частиц, оседающих в различных отделах дыхательного тракта человека, для неоднородного распределения концентрации по размерам. Рассчитано осаждение частиц диоксида титана при свободном дыхании и дыхании через герметично и негерметично закрепленные респираторы. Показано, что зазоры между респиратором и лицом относительной площадью ~0.1% приводят к уменьшению коэффициента защиты в 3.5 раза для высокодисперсных и почти в 48 раз для частиц с размерами выше 100 нм частиц.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 15–01–06135, 16–51–10024 и Программы повышения конкурентоспособности Казанского Федерального Университета.

Литература

Oravisjärvi K., Pietikäinen M., Ruuskanen J., Niemi S., Laurén M., Voutilainen A., Keiski R. L., Rautio A. Diesel particle composition after exhaust after-treatment of an off-road diesel engine and modeling of deposition into the human lung // J. Aerosol Sci. 2014. V. 69. P.32–47.

Mukhametzanov I.T., Grinshpun S.A., Zaripov S.K., Gilfanov A.K. Assessing the Protection Provided by Facepiece Filtering Respirator: New Model Involving Spherical Porous Layer with Annular Peripheral Opening // Aerosol Air Qual. Res. 2016. V.16. P. 2428–2437.

Yang Y., Mao P., Wang Z., Zhang J. Distribution of Nanoparticle Number Concentrations at a Nano-TiO_2 Plant // Aerosol Air Qual. Res. 2012. V.12. P. 934–940.