

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНОЙ МАСКИ ПРИ ДЫХАНИИ ЧЕЛОВЕКА

Мухаметзанов И.Т., Зарипов Ш.Х., Гильфанов А.К.
Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия
E-mail: shamil.zaripov@kpfu.ru

Для защиты органов дыхания от аэрозолей, особенно инфекционной природы, широко используются различные лицевые маски, респираторы. Ношение защитных масок является обязательным для людей, работающих в области здравоохранения. Однако эффективность респиратора зависит не только от эффективности материала фильтра, а также от плотности прилегания к лицу. При неплотном облегании маски, образуются щели между уплотнителем маски и лицом, через которые проникают частицы и попадают в ротовое или носовое отверстие. Поток частиц через щель может на порядок превышать поток частиц прошедших через фильтрующий материал защитной маски (Grinshpun, 2009). Теоретическая оценка соотношения обоих потоков в настоящее время является актуальной для оптимизации параметров используемых защитных масок. Целью настоящей работы является создание математической модели для расчета эффективности защитной маски при дыхании человека с учетом двух путей проникания частиц: через фильтрующий материал и через щель между маской и лицом человека.

Постановка задачи

Рассматривается двумерное осесимметричное течение несжимаемого газа с взвешенными частицами аэрозоля при обтекании сферы с аспирирующим отверстием и фильтрующим слоем перед ним. В предположении малости концентраций частиц влиянием дисперсной фазы на газовое течение пренебрегается. Движение несущей среды в однородной и пористой областях в приближении ламинарного вязкого течения несжимаемого газа описывается едиными уравнениями

$$\nabla \cdot \bar{u} = 0 \quad (1)$$

$$\varepsilon^{-2} \bar{u} \cdot \nabla \bar{u} = -\nabla p + \frac{\mu}{\varepsilon} \Delta \bar{u} - b \frac{\mu}{k} \bar{u} \quad (2)$$

где \bar{u} – вектор скорости газа, μ и ρ – коэффициент динамической вязкости и плотность воздуха, p – давление, ε – пористость цилиндра, k – проницаемость пористой среды. Коэффициент b задается равным нулю вне пористого слоя и единице внутри него. Скорость газа \bar{u} , осредненная по объему порового пространства, связана со скоростью фильтрации \bar{u}_f соотношением $\bar{u} = \varepsilon \bar{u}_f$. В однородной области ($\varepsilon = 1, b = 0$) уравнения (1-2) переходят в уравнения Навье-Стокса несжимаемого газа. Внутри пористого тела (1-2) представляют собой расширенные уравнения Дарси-Бринкмана. Уравнения (1-2) решаются в CFD пакете Fluent. Расчет траекторий частиц проводится на основе численного интегрирования уравнений движения частиц в поле скоростей, найденном из решения уравнений движения несущей среды. Выбраны следующие граничные условия: постоянная скорость U_s внутри ротового отверстия, на сферической поверхности головы задаются условия прилипания $\bar{u} = 0$. Вдали от сферической поверхности на левой половине граничной окружности задается скорость ветра U_0 , а на правой избыточное давление принимается равным нулю.

Результаты расчетов

Пример траекторий частиц диаметром 20 мкм при проницаемости маски $k=2e-11$ м² дан на рис.1. При дыхании через защитную маску вдыхаемый воздух проходит через фильтрующий слой. Часть вдыхаемого воздуха устремляется в щель между маской и лицом, что приводит к попаданию частиц в ротовое отверстие мимо фильтрующего слоя. Для оценки доли частиц, проходящих через щель рассчитываются предельные траектории, разделяющие потоки частиц, попадающих на фильтрующий слой и в щель между маской и лицом. Пусть r_{R0} и r_{f0} – начальные ординаты

предельных траекторий, ограничивающих потоки частиц Q_R^p , захватываемых вдохом человека, и Q_F^p , попадающих на фильтровальную маску:

$$Q_R^p = pU_0 r_{R0}^2; \quad Q_F^p = pU_0 r_{F0}^2$$

Тогда поток частиц Q_L^p через щель выразится формулой

$$Q_L^p = Q_R^p - Q_F^p = pU_0 (r_{R0}^2 - r_{F0}^2)$$

Будем определять параметр P как отношение

$$P = Q_L^p / Q_F^p = (r_{R0}^2 - r_{F0}^2) / r_{F0}^2$$

В зависимости от проницаемости маски доля частиц, проходящих через щель, может быть значительной. По мере уменьшения проницаемости маски и увеличения размера отверстия доля частиц, проходящих через щель возрастает (рис.2).

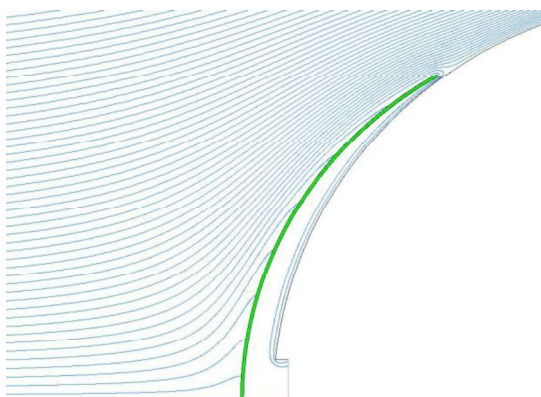


Рисунок 1. Траектории частиц диаметром 1 мкм при проницаемости маски $k=2e-11 \text{ м}^2$

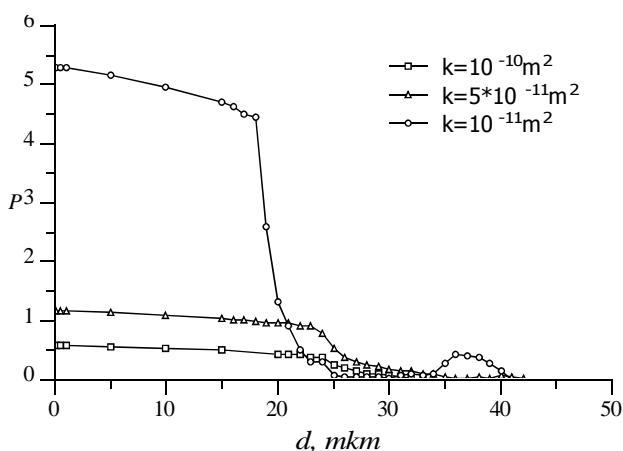


Рисунок 2. Зависимость отношения P потока частиц через щель к потоку частиц на пористый слой от диаметра частиц для различных проницаемостей

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты N 12-01-00333, 12-07-00007).

Литература

1. Grinshpun S.A., Haruta H., Eninger R.M., Reponen T., McKay R.T., Lee S. Performance of an N95 Filtering Facepiece Particulate Respirator and a Surgical Mask During Human Breathing: Two Pathways for Particle Penetration // Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 2009. №6. - С. 593–603.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАВОДКОВ В КИРОВО-ЧЕПЕЦКОЙ ПОЙМЕ Р. ВЯТКА

Рычков С.Л., Шатров А.В.

Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

E-mail: rychkov@list.ru, avshatrov1@yandex.ru

Постановка и решение данной задачи вызваны наличием серьезной экологической проблемы, порожденной техногенным прессингом на биосферу.

В нескольких километрах от города Кирова выше по реке Вятка в ее излучине расположена так называемая Кирово-Чепецкая пойма. В непосредственной близости от нее на-