

Оценка защитных свойств некоторых видов анатомических масок

А. Ю. Михеев, А. В. Авсеенко, В. Н. Морозов

Развитие промышленности сделало негативное влияние человека на экологию Земли определяющим. Одним из самых важных критериев благоприятной экологической обстановки является чистота воздуха. В отличие от продуктов питания или воды, чистоту воздуха простому потребителю контролировать гораздо сложнее.

По литературным данным, жители более промышленно развитого Северного Китая имеют в среднем на три года меньшую продолжительность жизни, чем жители аграрного Южного Китая. Исследователи связывают эту разницу с чистотой воздуха — в воздухе Северного Китая присутствует огромное количество взвешенных частиц, появившихся в результате заводских выбросов [1].

В России проблема загрязнения воздуха касается только крупных промышленных городов. По данным Росгидромета, в 12 из 35 крупнейших городов России загрязнение воздуха взвешенными частицами превышает предельно допустимые показатели, что, несомненно, сказывается на здоровье их жителей [2, 4, 6].

Еще одним критерием чистоты воздуха является наличие или отсутствие в нем опасного биологического аэрозоля — патогенных вирусов, бактерий и грибов. Как правило, в крупных городах проблема биологически грязного воздуха стоит наиболее остро, об этом свидетельствуют регулярно возникающие волны респираторных заболеваний [3].

В качестве средства индивидуальной защиты органов дыхания в повседневной жизни человека чаще всего выступают медицинские маски. В связи с этим целью данной работы стала сравнительная оценка защитных свойств четырех видов медицинских масок.

В качестве критериев оценки нами были выбраны следующие: оценка фильтрующих свойств материала масок, сопротивление материала масок потоку воздуха и плотность прилегания масок к лицу.

Материалы и методы исследования

Виды исследуемых анатомических масок

Были исследованы защитные свойства четырех медицинских масок, изображения которых представлены на рис. 1.



Рис. 1. Фотографии испытанных масок. А — белая маска; Б — розовая маска; В — черная маска; Г — синяя маска

Белая маска — маска анатомическая медицинская «Барьерный риф» в варианте исполнения SB без клапана, на резинках с носовым фиксатором, производства Hubei Xianmeng Health Protection Commodity Co., Ltd., PRC.

Розовая маска — маска анатомическая медицинская «Masker's» в варианте исполнения SL без клапана, на резинках с носовым фиксатором, производства Hubei Xianmeng Health Protection Commodity Co., Ltd., PRC.

Черная маска — маска анатомическая медицинская «Masker's» в варианте исполнения NF с клапаном, на резинках с носовым фиксатором, с клапаном выдоха, производства Hubei Xianmeng Health Protection Commodity Co., Ltd., PRC.

Синяя маска — медицинская маска трехслойная, на резинках с носовым фиксатором, производитель ООО

«Ньюфарм», Ивановская обл., г. Кинешма, Россия.

Измерения сопротивления потоку воздуха фильтрующего материала масок

Для измерения сопротивления потоку воздуха фильтрующего материала масок была задействована специальная установка.

Процедура оценки сопротивления потоку воздуха состояла в измерении падения давления на держателе при разных скоростях потока нагнетаемого воздуха. Сначала измеряли падение давления на держателе без закрепленного фильтра. Затем материал маски плотно зажимали в держателе и производили измерение давления при нескольких скоростях потока воздуха. Падение на фильтре рассчитывали по разности значений давления, полученных с фильтром, и значений, измеренных без фильтра.

Измерение прохождения аэрозольных частиц 0,3–5,0 микрон через материал масок

Для измерения прохождения аэрозольных частиц диаметром 0,3–5,0 микрон использовали лазерный счетчик аэрозольных частиц фирмы «Аэронанотех» (модель 4705). Прибор был откалиброван производителем в соответствии с требованиями Национального института стандартов и технологии США (National Institute of Standards and Technology, NIST).

Процедура измерения состояла в последовательном измерении концентрации аэрозольных частиц разного размера. Процент пропускания частиц каждого размера I рассчитывали по формуле (1) как отношение числа частиц каждого размера, прошедших через фильтр $C_{\text{ф}}$, к среднему значению концентрации соответствующего аэрозоля в комнате C_0 :

$$I = 100\%(C_{\text{ф}}/C_0) \quad (1)$$

Качество фильтровального материала K определяется отношением логарифма пропускания аэрозоля материалом фильтра к величине сопротивления потоку, которое в простейшем случае можно выразить падением давления ΔP на фильтрополотне:

$$K = -\lg(I)/\Delta P \quad (2)$$

Обычно производили 5 измерений в разных участках на каждом образце маски.

Измерение прохождения больших аэрозольных частиц на примере ликоподия (споры плауна булавовидного, *Lycopodium clavatum*) через материал масок

При исследовании проницаемости материала масок для крупных аэрозольных частиц были использованы споры плауна, *Lycopodium clavatum*, с размерами около 30 микрон. Эти споры доступны коммерчески под именем ликоподий. Они используются в медицине в качестве детской присыпки, для обсыпки пилюль и в народной медицине для заживления ран.

Для измерений была задействована специальная установка. При этом последовательно с исследуемым образцом материала маски соединяли нанофильтр, изготовленный в лаборатории из капроновых нановолокон методом электропрядения, как описано в работе [5].

Число частиц, прошедших через образец, определяли прямым подсчетом частиц на капроновом нанофилт্রে, который оптически прозрачен, поэтому частицы ликоподия легко различимы на фильтре при небольшом увеличении микроскопа.

Оценка плотности прилегания анатомических масок к лицу

При небольших изменениях давления при плотном и неплотном прилегании маски к лицу доброволец не меняет режим дыхания, и поток воздуха из легких остается одинаковым в обоих случаях. Поэтому:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{н}} + Q' \quad (3)$$

Поток воздуха при плотном прилегании равен отношению падения давления на маске при плотном прилегании к сопротивлению маски, а при неплотном — отношению падения давления на маске при неплотном прилегании к тому же сопротивлению маски:

$$Q_{\text{п}} = \Delta P_{\text{п}}/R_{\text{м}} \quad (4)$$

$$Q_{\text{н}} = \Delta P_{\text{н}}/R_{\text{м}} \quad (5)$$

Отсюда плотность прилегания маски к лицу равна отношению падения давления на маске при неплотном

прилегании к падению давления на маске при плотном прилегании:

$$J = 100\%(Q_H/Q_P) = 100\%(\Delta P_H/\Delta P_P) \quad (6)$$

$$J = 100\%Q_HQ_P\Delta P_P\Delta P_H$$

Если измерить падение давления на маске при плотном и неплотном прилегании, можно оценить плотность прилегания маски к лицу.

Для измерения падения давления на маске при дыхании была задействована специальная установка.

Результаты и обсуждение

Зависимость падения давления на фильтрополотне от скорости потока

Как видно, несмотря на усреднение по пяти измерениям для каждого значения скорости потока, фильтрополотно белых и розовых масок («Барьерный риф» SB и «Masker's» SL соответственно) показывает значительный разброс, что свидетельствует о неоднородности материала.

Материалы черной («Masker's» NF) и обычной синей масок показывают практически идентичные значения сопротивления потоку, как видно из малого разброса значений давления для каждой скорости потока.

Коэффициент, характеризующий наклон прямой зависимости давления от скорости потока, усреднен для каждого типа масок и представлен в табл. 1.

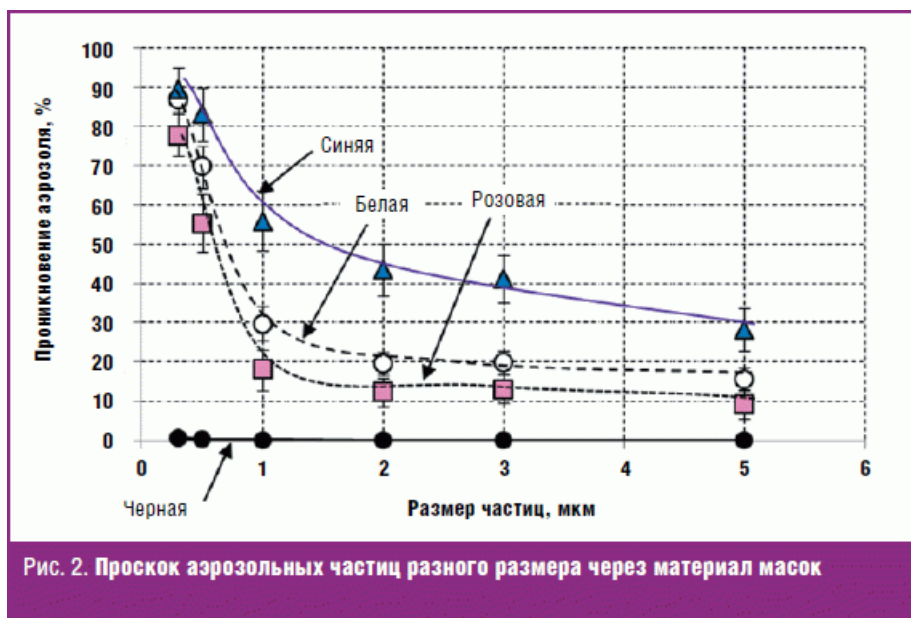


Таблица 1				
Сопротивление потоку для фильтрующего материала разных масок				
Маска	Белая «Барьерный риф» SB	Розовая «Masker's» SL	Черная «Masker's» NF	Синяя обычная
ΔP при $V = 1$ см/сек, Па	14,2	16,1	17,3	11,5
Стандартное отклонение	1,2	1,0	0,4	0,1

Как видно из таблицы, наименьшее сопротивление потоку воздуха оказывают обычные синие маски. Затем по возрастающей идут белые «Барьерный риф» SB, розовые «Masker's» SL и черные «Masker's» NF маски.

Проскок аэрозольных частиц с размерами в интервале 0,3–5,0 микрон и оценка фильтрующих качеств материалов масок

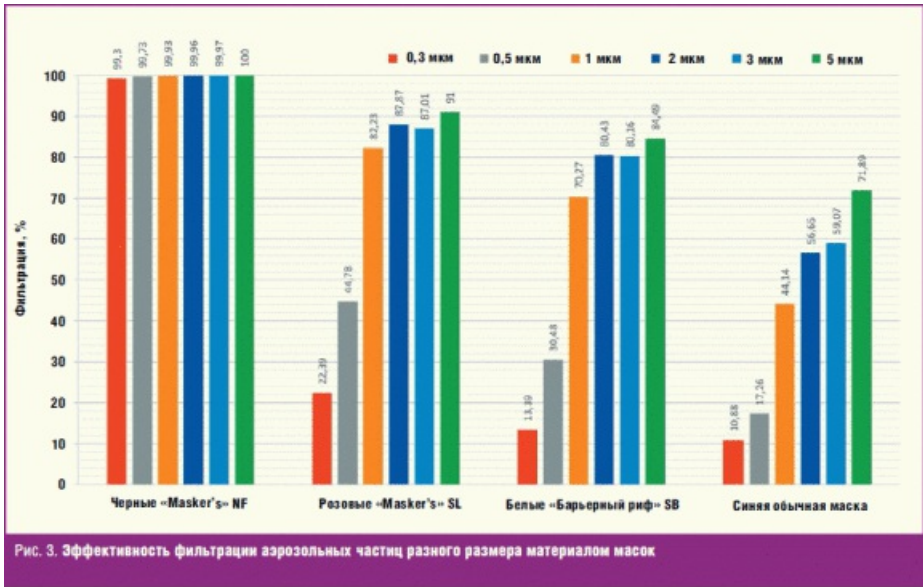
Как видно из представленных данных на рис. 2 и в табл. 2, черные анатомические маски «Masker's» NF обладают наименьшим проскоком для всех размеров аэрозольных частиц.

Проскок через материал обычных трехслойных синих масок — наибольший среди исследованных материалов.

Розовые анатомические маски «Masker's» SL и белые анатомические маски «Барьерный риф» SB немного уступают черным маскам «Masker's» NF, но значительно превосходят обычные трехслойные синие маски.

Наиболее наглядно различия в эффективности фильтрования масок можно увидеть получив значения, обратные

проскоку: эффективность фильтрации. Значения фильтрации показаны на рис. 3.



Коэффициент проскока нанозеролевых частиц разного размера в интервале 0,3–5,0 микрон								Таблица 2
Маска	Черная «Masker's» NF		Розовая «Masker's» SL		Белая «Барьерный риф» SB		Синяя обычная	
Размер частиц, мкм	Среднее, %	Стандартное отклонение	Среднее, %	Стандартное отклонение	Среднее, %	Стандартное отклонение	Среднее, %	Стандартное отклонение
0,3	0,70	0,09	77,61	5,31	86,61	3,55	89,12	5,54
0,5	0,27	0,08	55,22	7,36	69,52	5,54	82,74	6,75
1	0,07	0,04	17,77	5,17	29,73	4,42	55,86	7,56
2	0,04	0,03	12,13	3,63	19,57	2,87	43,35	6,63
3	0,03	0,03	12,99	3,73	19,84	2,82	40,93	6,07
5	0,00	0,00	9,00	3,47	15,51	2,70	28,11	5,36

Качество фильтрующего материала определяется степенью проскока частиц, отнесенной к падению давления при фиксированной скорости потока воздуха через материал. Удобно количественно характеризовать качество как отношение отрицательного логарифма степени проскока к падению давления при фиксированной скорости потока в соответствии с формулой (2).

Как видно из табл. 3, наивысшим фильтрующим качеством материала обладают черные анатомические маски «Masker's» в варианте исполнения NF, которые для частиц минимального размера (0,3 микрона) в 20–30 (!) раз превосходят обычные синие медицинские маски.

Качество материала разных масок									Таблица 3
Маска ΔP, Па (при 1 см/сек)	Черная «Masker's» NF 17,3		Розовая «Masker's» SL 16,1		Белая «Барьерный риф» SB 14,2		Синяя обычная медицинская 11,5		
Размер частиц, мкм	Проскок, %	K	Проскок, %	K	Проскок, %	K	Проскок, %	K	
0,3	0,70	0,12	77,61	0,007	86,61	0,004	89,12	0,004	
0,5	0,27	0,15	55,22	0,017	69,52	0,011	82,74	0,007	
1	0,07	0,18	17,77	0,046	29,73	0,037	55,86	0,022	
2	0,04	0,20	12,13	0,057	19,57	0,05	43,35	0,032	
3	0,03	0,20	12,99	0,055	19,84	0,05	40,93	0,034	
5	0,00	—	9,00	0,065	15,51	0,057	28,11	0,048	

Для частиц размером 30 мкм (частицы ликоподия) разница в фильтрующих свойствах между масками не столь велика. В разных опытах масса осевшего на поверхности образца ликоподия варьировала от 1,2 до 32 мг. При этом количество прошедших через образцы частиц ликоподия составляло всего несколько частиц. Для каждого типа маски были проведено три независимых измерения. Результаты эксперимента суммированы в табл. 4.

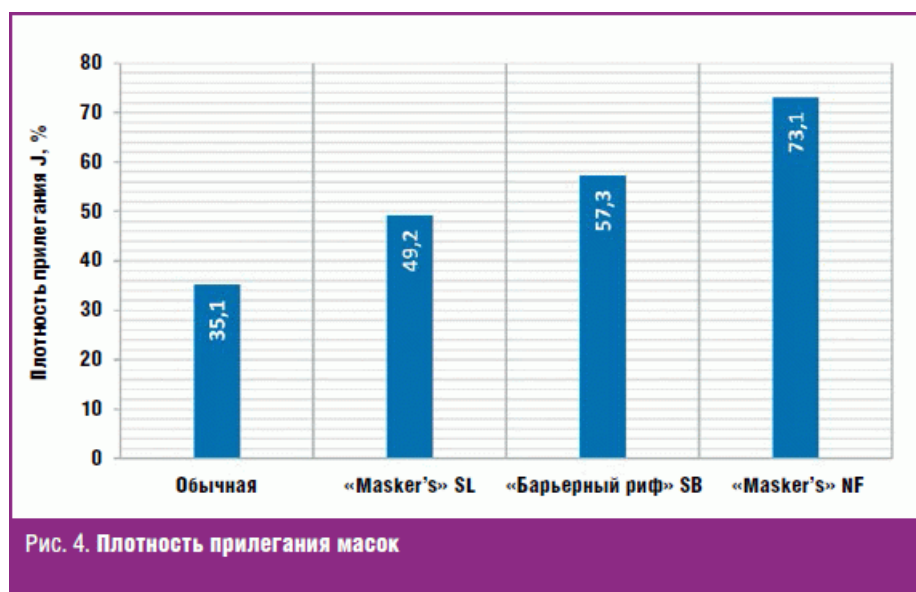
Как видно из таблицы, материал всех исследованных масок пропускает крайне малое количество частиц ликоподия, составляющее $(2\text{--}58) \times 10^{-6}$ от числа задержанных на материале.

Результаты по прохождению крупных аэрозольных частиц 30 мкм через материал масок					Таблица 4
Маска	Белая «Барьерный риф» SB	Черная «Masker's» NF	Розовая «Masker's» SL	Синяя медицинская	
Проскок частиц, %	0,0002	0,002	0,0006	0,006	
Стандартное отклонение	0,0003	0,003	0,0007	0,004	

Плотность прилегания масок к лицу					Таблица 5
Маска	Синяя обычная	Розовая «Masker's» SL	Белая «Барьерный риф» SB	Черная «Masker's» NF	
Плотность прилегания J, %	35,1	49,2	57,3	73,1	
Стандартное отклонение	4,2	17,0	17,1	7,9	
Плотность прилегания относительно синей		+40%	+63%	+108%	

Оценка плотности прилегания масок к лицу

В табл. 5 представлены данные по плотности прилегания масок к лицу, рассчитанные по падению давления на масках по методу, описанному выше по формуле (6). Видно, что наименьшую плотность прилегания к лицу имеют синие медицинские маски фирмы «Ньюфарм» (35%, две трети воздуха проходит мимо маски и не очищается), а наибольшую плотность прилегания (более 73%) имеют черные маски «Masker's» NF. Маски белая «Барьерный риф» SB и розовая «Masker's» SL немного уступают черной маске «Masker's» NF. Результаты отражены на рис. 4.



Из полученных данных следует, что при оценке эффективности масок большое значение имеют не только фильтрующие свойства материала, но и такой показатель, как прилегание к лицу.

Заключение

Сравнительное испытание защитных свойств протестированных медицинских масок позволило сделать следующие выводы.

По количественному параметру качества материала (отношение логарифма проскока к сопротивлению потока) для аэрозольных частиц 0,3–5,0 мкм черная маска «Masker's» NF в 7–30 раз превосходит стандартную синюю медицинскую маску. Белые маски «Барьерный риф» SB и розовые маски «Masker's» SL в интервале аэрозольных части 0,3–5,0 мкм в 2–4 раза превосходят обычные синие. Для аэрозольных частиц 30 мкм статистически достоверного отличия в проскоке для всех четырех исследованных масок не обнаружено. Все они обладают очень малым проскоком.

Лучшее прилегание к лицу, а следовательно, и качество фильтрования (более 73%, что на 108% лучше обычной синей медицинской маски) имеют черные маски «Masker's» NF. Меньшее прилегание показали белые маски «Барьерный риф» SB и розовые маски «Masker's» SL, что на 63% и 40% соответственно лучше обычной синей медицинской маски.

Результаты сравнительных испытаний защитных свойств протестированных медицинских масок полностью подтверждают обоснованность скорейшего перехода на анатомические медицинские маски («Барьерный риф» SB, «Masker's» SL и «Masker's» NF) и дальнейшее их совершенствование.

Литература

1. Chen Y., Ebenstein A., Greenstone M., Li H. Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River policy // PNAS. 2013. V. 110, № 32, p. 12936–12941.

2. Безуглая Э. Ю. и др. Аналитический обзор: качество воздуха в крупнейших городах России за десять лет (1997–2007). СПб: ГУ «ГГО», Росгидромет, 2009.
 3. Dalziel B. D. et al. Urbanization and humidity shape the intensity of influenza epidemics in U. S. cities // Science. 2018. V. 362, I. 6410, p. 75–79.
 4. http://www.plantsystematics.org/imgs/robbin/r/Lycopodiaceae_Lycopodium_clavatum_15711.html.
 5. Mikheev A. Y., Shlyapnikov Y. M., Kanev I. L., Avseenko A. V., Morozov V. N. Filtering and optical properties of free standing electrospun nanomats from nylon-4,6 // European Polymer Journal. 2016, 75, 317–328.
 6. Eckhoff R. K. Dust Explosions in the Process Industries. Gulf Professional Publishing. 2003, 719 с.
-

А. Ю. Михеев*¹, кандидат физико-математических наук

А. В. Авсеенко

В. Н. Морозов*, доктор физико-математических наук

* **ФГБУН ИТЭБ РАН**, Пущино

¹ Контактная информация: 2miheev@gmail.com

Оценка защитных свойств некоторых видов анатомических масок/ А. Ю. Михеев, А. В. Авсеенко, В. Н. Морозов

Для цитирования: Лечащий врач № 12/2018; Номера страниц в выпуске: 59-64

Теги: дыхательные пути, фильтрация воздуха, прилегание к лицу

© «Открытые системы», 1992-2018. Все права защищены.