

УДК 614.89

doi: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-1-232-239>

С.И. Чеберячко
Ю.И. Чеберячко
Д.И. Радчук
О.В. Дерюгин

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАЩИТЫ ФИЛЬТРУЮЩЕГО РЕСПИРАТОРА С УЧЕТОМ ПОДСОСОВ ПО ПОЛОСЕ ОБТЮРАЦИИ

Цель. Обоснование зависимости коэффициента защиты фильтрующего респиратора, от величины утечек через зазоры по полосе обтюрации с учетом сопротивления фильтров.

Методы. Определение сопротивления дыханию производилось в соответствии с ДСТУ EN 13274-3:2005 на статическом воздушном потоке. измерение перепада давления на фильтрующем респираторе производили с помощью цифрового манометра «Testo 512», при расходах воздуха в диапазоне от 15-46 л/мин., который обеспечивали вакуумным насосом модели «2rs-4»; подсос воздуха обеспечивали регулируемым игольчатым краном. силу прижима оголовья задавали в диапазоне 1-8 Н с помощью динамометра марки «Nk-50» с ценой деления 0,25 Н.

Результаты. Получена зависимость коэффициента защиты фильтрующего респиратора от величины утечек через зазоры по полосе обтюрации с учетом сопротивления фильтра, которая позволяет определить изменение защитной эффективности исходя из разности сопротивлений между герметически закрепленной полумаски на манекене и с зазорами, что обусловлено прежде всего из-за несоответствия размеров полумаски параметрам лиц работников и неравномерности движения воздушных потоков в подмасочном пространстве. Установлено, что из-за меньшего сопротивления воздушному потоку фильтры второго класса защиты при использовании в одинаковых полумасках обеспечат защитную эффективность респиратора в целом на 30 % выше чем фильтры третьего класса защиты.

Научная новизна. На основе экспериментальных данных доказана зависимость между величиной объемного расхода воздуха через неплотности обтюлятора и величиной силы прижима полумаски фильтрующего респиратора к лицу.

Практическая значимость. Полученные зависимости величины объемного расхода воздуха через обтюратор позволяют использовать их для исследования и оптимизации конструкций обтюраторов, применяемых в разных типах фильтрующих респираторов. на основании характеристик изделий и рассчитанных зависимостей пользователь сможет смоделировать и оценить качество прилегания респиратора к лицу до начала выполнения работ в загрязненном рабочем пространстве.

Ключевые слова: фильтрующий респиратор, сопротивление дыхания, работоспособность, защитная эффективность, клапан выдоха, полоса обтюрации

Введение

Известно, что защитные свойства фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), в значительной степени зависят от плотности прилегания полумаски респиратора к лицу работника [1]. Не выполнение этого условия приводит к чрезмерному подсосу загрязненного воздуха по полосе обтюрации в подмасочное пространство и является причиной снижения его защитной эффективности [2]. Наибольшее количество зазоров образуется при несоответствии размеров полумаски антропометрическим параметрам лица работника. Также они появляются при смещении респиратора во время выполнения работы, ослаблении силы натяжения оголовья, дефектов клапанов выдоха. В большинстве случаев проникновение вредных веществ по полосе

обтюрации в подмасочное пространство происходит в области носа или подбородка, что требует проведения соответствующих исследований для поиска решения задачи по повышению защитных свойств фильтрующих респираторов.

Отметим, важность теоретического решения данной задачи, что способствует формированию представления о протекающих процессах при фильтрации загрязненного воздуха, это позволит еще на этапе проектирования обеспечить высокие изоляционные свойства обтюлятора при минимальных усилиях натяжения оголовья, что способствует в том числе и повышению комфорта использования СИЗОД.

Анализ публикаций.

Количество вредных веществ, поступающих в подмасочное пространство

фильтрующего респиратора, зависит от сопротивления фильтров и плотности прилегания полумаски к лицу работника, которая обеспечивается: во-первых, возможностью изменения геометрии обтюрации в зависимости от антропометрии лица и во-вторых, равномерным распределением прижимных усилий, зависящих от мест крепления и раменей оголовья на поверхности полумаски. Впервые зависимость защитных свойств от сопротивления фильтров теоретически проанализировал Д. Кэмпбэл (D. Campbell) [3]. Согласно его выводам, эффективность фильтрующего респиратора ухудшаются по мере роста перепада давления при прохождении воздуха через фильтрующий элемент. Этот вывод был экспериментально подтвержден работами Т. Нельсон (T. Nelson) и К. Колтон (C. Colton) [4, 5], которые зафиксировали возрастание просачивания загрязненного воздуха при росте сопротивления дыханию с 56 до 196 Па. В тоже время Клейтон (Clayton M.P) с коллегами на основе проведенных исследований утверждает, что указанная зависимость очень слабая и проявляется только в случаях несоответствия полумаски антропометрическим размерам лица испытуемого. Существуют исследования, которые показывают [6, 7], что на просачивание загрязненного воздуха в подмасочное пространство фильтрующего респиратора влияет тип нагрузки выполняемой работы. С ее увеличением возрастает скорость воздушного потока, что снижает эффективность некоторых механизмов фильтрации. Особенно – электростатического, который обеспечивает притяжение наэлектризованных частиц аэрозоля к поверхности фильтра. Имеются данные о влиянии изменения мимики лица на ухудшение защитных свойств из-за образования зазоров по полосе обтюрации и ослаблении прижимных усилий полумаски фильтрующего респиратора [8, 9]. Проведенный анализ научных исследований показал отсутствие упрощенной теоретической зависимости коэффициента защиты от величины подсоса по полосе обтюрации, с помощью которой можно быстро и эффективно оценить степень защиты работника.

Постановка задачи

Целью исследования является обоснование зависимости коэффициента защиты фильтрующего респиратора от величины утечек через зазоры по полосе обтюрации с учетом сопротивления фильтров.

Теоретические исследование.

Для расчета коэффициента защиты от величины коэффициентом проникания и подсоса с учетом расходов воздуха воспользуемся известной зависимостью, предложенной Бенджамином Лю (Liu Benjamin) [10]:

$$KЗ = \frac{Q_p}{(Q_p - Q_{об}) \cdot K_{нф} + Q_{об} \cdot K_{об}} = \left[K_{нф} + \frac{Q_{об}}{Q_p} \cdot (K_{об} - K_{нф}) \right]^{-1}, \quad (1)$$

где Q_p – суммарный расход воздуха через фильтр и зазоры, (дм³/мин.); $Q_{об}$ – расход воздуха через зазор, (дм³/мин.); $K_{нф}$ – коэффициент проникания аэрозоля через фильтр, (%); $K_{об}$ – коэффициент проникания через зазоры, (%).

Выражение (1) можно упростить, с учетом результатов исследований Л. Баррета и А. Руссо [11], предложивших пренебречь величиной коэффициента проникания аэрозоля через фильтр и зазор ввиду их незначительности по сравнению с расходами воздуха, особенно при загрязнении фильтра и уменьшения количества пор. В таком случае коэффициент защиты станет равным:

$$KЗ = \frac{Q_p}{Q_n}. \quad (2)$$

Неизвестным является расход воздуха через зазоры по полосе обтюрации. Проблема его определения осложняется тем, что величина зазоров не постоянна и зависит от многих факторов, которые сложно учесть: сползание маски во время работы, ослабления натяжения оголовья, неплотное прилегание клапана выдоха, изменение мимики лица и др.

Однако в первом приближении задачу можно решить исходя из фиксированной щели с постоянной величиной подсоса воздуха (рис. 1). Область исследования включает внешнюю и внутреннюю поверхности респиратора разделяемых фильтрующей поверхностью. Воздух, пройдя через филирующий элемент респиратора и

зазоры полосы обтюрации удаляется из подмасочного пространства через отводящий патрубков-сток. Воздух считаем несжимаемым, давления и скорости потоков, текущих через внешнюю и внутреннюю поверхности фильтрующего элемента и обтюлятора, постоянными и равными их средним величинам на этих поверхностях, течение воздуха в подмасочном пространстве фильтрующего респиратора – ламинарным [12]. В этом случае течение потоков воздуха сквозь щели обтюлятора не смешиваются в подмасочном пространстве.

Имеющиеся многочисленные экспериментальные данные, которые показывают, что практически любая зависимость перепада давления от расхода воздуха носит нелинейный характер. Очевидной причиной является особенности геометрической формы полумасок, которая способствует сужению потока воздуха, который проходит через фильтрующую поверхность полумаски. При этом значительно возрастает влияние сил инерции и противодействия, возникающих при деформации струи.

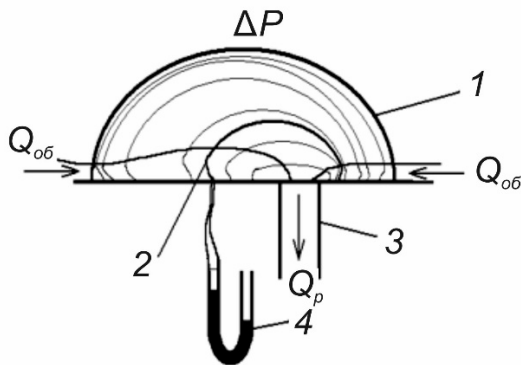


Рис. 1. Расчетная схема фильтрующей полумаски: 1 – полумаска; 2 – изобары; 3 – отводящий патрубков-сток; 4 – манометр

При установившемся течении воздуха через фильтрующий респиратор, весь поток разделяется поверхностями изобар на слои. Предполагается, что изобара, на которой давление равно атмосферному, совпадает с внешней поверхностью корпуса полумаски. Через поверхность любой изобары в подмасочном пространстве текут потоки, проходящие через фильтрующую поверхность и неплотности полосы обтюрации. При пересечении потоками поверхности изобары в подмасочном пространстве, давления в этих

потоках равны и определяются давлением на рассматриваемой изобаре. Перепад давления измеряется между величиной атмосферного давления (на изобаре, совпадающей с внешней поверхностью полумаски) и давления на изобаре, расположенной в подмасочном пространстве респиратора. Отсюда становится очевидным, что перепады давления в потоках, текущих через фильтрующую поверхность и обтюратор, равны между собой.

При этом, очевидно, что при одинаковом расходе воздуха на герметически закрепленной полумаске перепад давления будет больше, чем на полумаске с существующими зазорами по полосе обтюрации (рис. 2):

$$\Delta p_{p \text{ гермет}} = A_1 \cdot Q_p > \Delta p_{p \text{ подсос}} = A_2 \cdot Q_p, \quad (3)$$

где $\Delta p_{p \text{ гермет}}$, $\Delta p_{p \text{ подсос}}$ – перепады давлений на герметически закрепленном фильтрующем респираторе и с зазорами по полосе обтюрации соответственно, (Па); A_1 , A_2 – коэффициенты сопротивления герметически закрепленного респиратора и с зазорами по полосе обтюрации, (Н·с/м⁵).

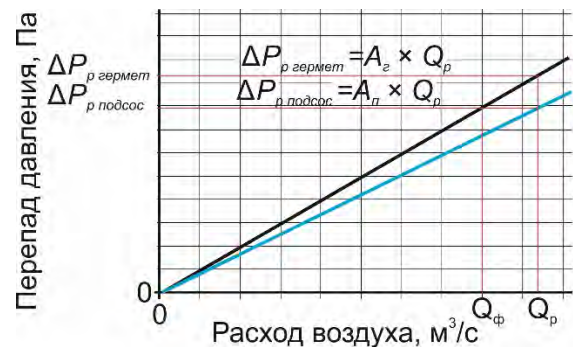


Рис. 2. Зависимость перепада давления от расхода воздуха на герметически закрепленной полумаске и с зазорами по полосе обтюрации

Учитывая, уравнение баланса объемных расходов, которое справедливо для несжимаемой жидкости $Q_p = Q_\phi + Q_n$, можно записать следующие равенство:

$$\Delta p_{p \text{ гермет}} = A_г \cdot Q_\phi = \Delta p_{p \text{ подсос}} = A_n \cdot Q_p. \quad (4)$$

Из которого можно получить:

$$A_г \cdot Q_\phi = A_n \cdot (Q_\phi + Q_n). \quad (5)$$

Данное уравнение (5) после соответствующих преобразований позволяет установить зависимость для расчета величины коэффициента защиты из уравнения (2):

$$KЗ = \frac{Q_p}{Q_n} = \frac{A_z}{A_z + A_{\Pi}} \quad (6)$$

где A_{Γ} – коэффициент фильтрующего слоя; A_{Π} – коэффициент сопротивления респиратора з зазорами полосе обтюрации.

Очевидно, что коэффициент сопротивления респиратора з зазорами полосе обтюрации (A_{Π}) будет зависит от величины силы прижима полумаски фильтрующего респиратора к лицу работника, которая задается величиной силы натяжения оголовья. В случае достаточной величины последней, этот коэффициент будет равен коэффициенту сопротивления фильтрующего респиратора, расположенного на лице работника без зазоров. Его можно определить экспериментально, исходя из величины перепада давления на респираторе и заданного расхода воздуха.

Величина перепада давления фильтрующего респиратора з возможными зазорами по полосе обтюрации подвержена значительным изменениям при деформации полумаски. Эта деформация изменяет пористую структуру обтюратора (для проникаемого обтюратора) и области его контакта с поверхностью лица работника тем самым либо увеличивая, либо уменьшая величину коэффициента A_{Π} .

Экспериментальные исследования.

Для расчета коэффициентов A_{Γ} и A_{Π} использовались экспериментально определенные перепады давления, полученные при продувании воздуха через фильтрующий респиратор с объемными расходами в диапазоне 15-46 л/мин. Определение перепадов давления проводилось для силы натяжения оголовья в интервале 1-8 Н.

В экспериментальной установке (рис. 3) для измерения перепада давления на фильтрующем респираторе, который устанавливался на голову манекена, использовались следующие составные части: цифровой манометр «Testo 512», диапазон измерения 0-200 Па, время реакции 0,2 сек (изготовитель «Testo AG», Германия);

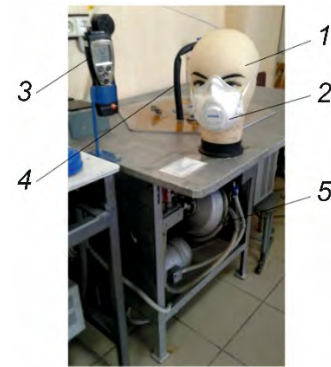


Рис. 3. Определение просачивания через зазоры по полосе обтюрации: 1 – манекен головы; 2 – респиратор; 3 – электронный дифференциальный манометр; 4 – воздуховод; 5 – поршневой насос

программное обеспечение «Microsoft Office Excel»; поршневой насос «2RS-4» с расходом воздуха 2,5 дм³/цикл для моделирования процесса дыхания и регулируемого игольчатого крана (изготовитель «Самozzi», Италия) под маской создавалось разрежение, идентичное процессу вдоха. Силу прижима полумаски к лицу определяли с помощью динамометра марки «NK-50» с ценой деления 0,25 Н (изготовитель «Digital», Китай).

Последовательность испытаний на первом этапе:

1. Полумаску устанавливали на голову манекена.
2. Полосу обтюрации уплотняли жидким силиконом.
3. Подключив манометр к трубке 3 и включив поршневой насос 4, измеряли перепад давления при вдохе для разных расходов воздуха, изменяя количество циклов поршневого насоса.

На втором этапе:

1. Полумаску устанавливали на манекены головы.
2. Измеряли силу натяжения полумаски к манекену динамометром.
3. Измеряли перепад давления на полумаске при различных расходах воздуха, процедуру повторяли для каждой величины силы натяжения.

По полученным данным строили зависимость между величиной перепада давления Δp и расхода воздуха Q .

Статистический анализ полученных результатов проводился с помощью t-критерия Стьюдента, при вероятности $P > 0.95$ [13].

Результаты исследования.

На рис. 4 приведена зависимость перепада давления от расхода воздуха для герметически закрепленной полумаски (верхняя линия) и при различной силе натяжения оголовья (выборочно).

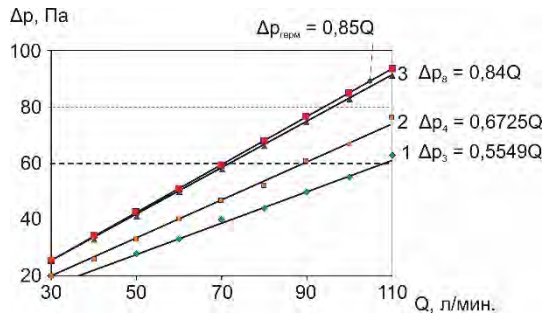


Рис. 4. Зависимость перепада давления на респираторе Лепесток от расхода воздуха при различной силе натяжения оголовья: 1 - 2 Н; 2 - 4 Н; 3 - 8 Н

В результате обработки полученных экспериментальных данных получены величины коэффициентов сопротивления полумаски фильтрующего респиратора при различных значениях натяжения оголовья (рис. 4). Результаты расчета величины коэффициента защиты для различных сил натяжения оголовья фильтрующего респиратора приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты эксперимента

Сила натяжения F, Н	A_z	A_n	K_z
1	0,85	0,16	1,41
3		0,55	2,81
4		0,67	4,73
5		0,79	14,2
7		0,83	42,5
8		0,84	85,0

Из представленной таблицы можно сделать вывод, как коэффициент сопротивления щели по полосе обтюрации фильтрующего респиратора A_n , резко изменяется, от величины силы натяжения, что связано с уменьшением размеров зазора между полосой обтюрации и поверхностью лица манекена. С другой стороны, коэффициент сопротивления фильтрующего слоя A_z прижимных усилий, а только от сопротивления фильтрующего слоя.

Похожие результаты получил Д. Кэмпбэла (D. Campbell) [3], который сравнивал коэффициенты защиты полумасок

с фильтрами малой эффективности и низким сопротивлением с фильтрами повышенной эффективности, но высоким сопротивлением. Выяснилось, что в первом случае показатели были лучше. Так, фильтр с коэффициентом проникания 0.001 и сопротивлением, оцениваемым перепадом давления в 25 Па и фильтр с прониканием 0.05 и сопротивлением 10 Па обеспечивают коэффициент защиты респиратора 70 и 106, соответственно, что на 30 % выше чем у респираторов с фильтрами третьего класса защиты. Характерно, что у фильтров второго класса, по сравнению с фильтрами третьего класса, – больше проникание, но меньше сопротивление, что позволяет уменьшить подсос не фильтрованного воздуха через зазоры полосы обтюрации и тем самым уменьшить разницу в классах защиты.

Выводы.

1. Представлен и обоснован способ расчета величины объемного расхода воздуха, текущего через обтюратор фильтрующего респиратора произвольной конструкции.

2. Получена зависимость коэффициента защиты фильтрующего респиратора от величины утечек через зазоры по полосе обтюрации с учетом сопротивления фильтра, которая позволяет определить изменение защитной эффективности исходя из разности сопротивлений между герметически закрепленной полумаски на манекене и с зазорами, что обусловлено прежде всего из-за несоответствия размеров полумаски параметрам лиц работников и неравномерности движения воздушных потоков в подмасочном пространстве

3. На основе экспериментальных данных доказана зависимость между величиной объемного расхода воздуха через обтюратор и величиной силы прижима корпуса фильтрующего респиратора к лицу.

4. Установлено, что из-за меньшего сопротивления воздушному потоку фильтры второго класса защиты при использовании в одинаковых полумасках обеспечат защитную эффективность респиратора в целом на 30 % выше чем фильтры третьего класса защиты

5. Общность полученной зависимости величины объемного расхода через обтюратор позволяет использовать ее для исследования и оптимизации конструкции и структуры обтюраторов, используемых в разных конструкциях фильтрующих респираторов.

Список литературы

1. Капцов В.А., Чиркин А.В. Об оценке эффективности средств индивидуальной защиты органов дыхания. *Безопасность в техносфере*. 2015. №5. С. 7-14.
2. Zhuang Z. and Bradtmiller B. Head-and-Face anthropometric survey of U.S. respirator users. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2005. No. 2. P. 567-576.
3. Campbell D.L. The theoretical effect of filter resistance and filter penetration on respirator protection factors. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*. 1984. No. 2. P. 198-204.
4. Nelson T.J. and Colton C.E. The effect of inhalation resistance on facepiece leakage. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 2000. No. 61. P. 102-105.
5. Janssen L.L., Bidwell J.O., Cuta K. and Nelson T.J. Workplace Performance of a Hood-Style Supplied-Air Respirator. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2008. No. 5(7). P. 438-443.
6. Shevchenko V.G. Research on the influence of miners' energy expenditure on coal mining efficiency. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2017. No. 3. P.140-146.
7. Clayton M.P., Bancroft B. and Rajan B.A. Review of Assigned Protection Factors of Various Types and Classes of Respiratory Protective Equipment with Reference their Measured Breathing Resistances. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2002. No. 46(6). P. 537-547.
8. Nicas M. and Neuhaus J. Variability in respiratory protection and the assigned protection factor. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2004. No. 1. P. 99-109.
9. Эннан А.А., Шнейдер В.Г., Байденко В.И., Миронов Л.А. Взаимосвязь защитной эффективности и общего давления респираторов. *Безопасность труда в промышленности*. 1994. №11. С. 11-12.
10. Benjamin Y., Liu H., Lee J.-K., Mullins H. and Danisch S.G. Respirator Leak Detection by Ultrafine Aerosols: A Predictive Model and Experimental Study. *Aerosol Science and Technology*. 1993. No. 19(1). P. 15-26.
11. Barret L.W. and Rousseau A.D. Aerosol Loading Performance of Electrets' Filter Media. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 1998. No. 59, 8. P. 532-539.
12. Oestenstad R.K., Dillion H.K. and Perkins L.L. Distribution of face seal leak sites in a half-mask respirator and their association with facial dimensions. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 1990. No. 51. P. 285-290.
13. ЩигOLEV Б.М. Математическая обработка наблюдений. Москва: Наука, 1969. 344 с.

References

1. Kaptsov V.A. and Chirkin A.V. (2015). "On the assessment of the effectiveness of personal respiratory protection", [Ob otsenke effektivnosti sredstv individual'noy zashchity organov dykhaniya]. *Bezopasnost' v tekhnosfere*, No 5, 7-14. (In Russian).
2. Zhuang Z. and Bradtmiller B. (2005). Head-and-Face anthropometric survey of U.S. respirator users. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2, 567-576.
3. Campbell D.L. (1984). The theoretical effect of filter resistance and filter penetration on respirator protection factors. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 2, 198-204.
4. Nelson T.J. and Colton C.E. (2000). The effect of inhalation resistance on facepiece leakage. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 61, 102-105.
5. Janssen L.L., Bidwell J.O., Cuta K., and Nelson T.J. (2008). Workplace Performance of a Hood-Style Supplied-Air Respirator. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5(7), 438-443.
6. Shevchenko V.G. (2017). Research on the influence of miners' energy expenditure on coal mining efficiency. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3, 140-146.
7. Clayton M.P., Bancroft B. and Rajan B.A. (2002). Review of Assigned Protection Factors of Various Types and Classes of Respiratory Protective Equipment with Reference their Measured Breathing Resistances. *The Annals of Occupational Hygiene*, 46(6), 537-547.
8. Nicas M. and Neuhaus J. (2004). Variability in respiratory protection and the assigned protection factor. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1, 99-109.
9. Ennan A.A., Shneider V.G., Baidenko N.I. and Mironov A.A. (1994). "Interrelation between the protective efficiency and the general pressure of respirators", [Vzaimosvyaz' zashchitnoy effektivnosti i obshchego davleniya respiratorov]. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*, No 11, 11-12. (In Russian).
10. Benjamin Y., Liu H., Lee J.-K., Mullins H. and Danisch S.G. (1993). Respirator Leak Detection by Ultrafine Aerosols: A Predictive Model and Experimental Study. *Aerosol Science and Technology*, 19(1), 15-26.
11. Barret L.W., and Rousseau A.D. (1998). Aerosol Loading Performance of Electrets' Filter Media. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 59(8), 532-539.
12. Oestenstad R.K., Dillion H.K., and Perkins L.L. (1990). Distribution of face seal leak sites in a half-mask respirator and their association with facial dimensions. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 51, 285-290.
13. Schigolev B.M. (1969). Mathematical processing of observations, [Matematicheskaya obrabotka nablyudeniya]. Moscow: Nauka. (In Russian).

Надійшла до редакції 19.03.2020

Рецензент д-р техн. наук, проф. В.І. Голінько.

Чеберячко Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры охраны труда и гражданской безопасности, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», (49005, г. Днепр, пр. Д. Яворницкого, 19, Украина).

E-mail: sicheb@ukr.net, тел.: +380678741511.

Чеберячко Юрий Иванович, доктор технических наук, доцент кафедры охраны труда и гражданской безопасности, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», (49005, г. Днепр, пр. Д. Яворницкого, 19, Украина).

E-mail: cheberiachkoyi@ukr.net, тел. +380665620542.

Радчук Дмитрій Ігоревич, кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони труда и гражданской безопасности, Национальный технический университет «Днепровская политехника», (49005, г. Днепр, пр. Д. Яворницького, 19, Украина).

E-mail: radchuk.dm@gmail.com, тел. +380665620542.

Дерюгин Олег Валентинович, кандидат технических наук, доцент кафедры управления на транспорте, Национальный технический университет «Днепровская политехника», (49005, г. Днепр, пр. Д. Яворницького, 19, Украина).

E-mail: oleg.kot@meta.ua, тел. +380668284984.

РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТА ЗАХИСТУ ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО РЕСПІРАТОРА З ВРАХУВАННЯМ ПІДСОСІВ ПО СМУЗИ ОБТЮРАЦІЇ

Мета. Аналіз причин виникнення підсмоктування забрудненого повітря по смузі обтюрації фільтруючого респіратора і розробці заходів щодо усунення даного негативного фактору.

Методи. Визначення опору диханню вироблялося відповідно до ДСТУ EN 13274-3: 2005 метод 1 на статичному повітряному потоці. Вимірювання перепаду тиску на засобах індивідуального захисту органів дихання вимірювали за допомогою електронного мікромановакууметра «Testo 512». За допомогою вакуумного насоса моделі «2RS-4» і регульованого голчастого крана під маскою створювалося розрідження, ідентичне процесу вдиху. Силу притиску напівмаски фільтруючого респіратора до обличчя визначали за допомогою динамометра марки «NK-50» з ціною поділки 0,25 Н.

Результати. Виведено формули, що дозволяють визначати величину об'ємної витрати повітря, що проходить через обтюратор фільтруючого респіратора. Змодельоване протікання повітряного потоку через фільтруючий респірактор у вигляді ізобар. Дані ізобари наочно дозволяють побачити нерівномірність руху повітряних потоків. Встановлено, що через менший опору повітряному потоку фільтри другого класу захисту при використанні в однакових напівмасках забезпечать захисну ефективність респіратора в цілому на 30% вище ніж фільтри третього класу захисту.

Наукова новизна. На основі експериментальних даних доведено залежність між величиною об'ємної витрати повітря через обтюратор і величиною сили притиску корпусу фільтруючого респіратора до обличчя.

Практична значимість. Отримані залежності величини об'ємної витрати повітря через обтюратор дозволяють використовувати їх для дослідження і оптимізації конструкцій і характеристик обтюраторів, що застосовуються в різних типах конструкцій фільтруючих респіраторів. На підставі характеристик виробів і розрахованих залежностей користувач зможе змодельовати і оцінити якість прилягання фільтруючого респіратора до його особи до початку виконання робіт в забрудненому повітрі робочому просторі.

Ключові слова: фільтруючий респірактор, опір дихання, працездатність, захисна ефективність, клапан видиху, смуга обтюрації

Чеберячко Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (пр. Д. Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро, Україна).

E-mail: sicheb@ukr.net, тел.: +380678741511.

Чеберячко Юрій Іванович, доктор технічних наук, доцент кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (пр. Д. Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро, Україна).

E-mail: cheberiachkoyi@ukr.net, тел. +380665620542.

Радчук Дмитро Ігоревич, кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (пр. Д. Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро, Україна).

E-mail: radchuk.dm@gmail.com, тел. +380665620542.

Дерюгин Олег Валентинович, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління на транспорті, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (пр. Д. Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро, Україна).

E-mail: oleg.kot@meta.ua, тел. +380668284984.

CALCULATION OF THE PROTECTION FACTOR TAKING INTO CONSIDERATION LEAKS BETWEEN THE FACE AND THE HALF-MASK OF THE FILTER RESPIRATOR

Purpose is to analyze the causes of contaminated air leakage along the obturation band of the filter respirator and the development of measures to eliminate this negative factor.

Methods. Determination of breathing resistance was carried out in accordance with DSTU EN 13274-3: 2005 method 1 within a static air flow. Measurement of the differential pressure on personal protective equipment for respiratory organs was measured using a digital pressure gauge "Testo 512" in terms of 15-46 l/min air consumption with the help of "2rs-4" vacuum pump. Air inflow was provided by means of a fine control needle valve. Pressing force of a headband was predetermined ranging from 1 to 8 N through the use of a dynamometer of "Nk-50" type with 0.25 N sensitivity.

Results. Dependence of protection coefficient of a filter respirator upon a value of leakage through gaps along obturation band has been derived. The dependence involves a filter resistance coefficient helping determine changes in the protective efficiency relying upon resistance difference between a hermetic half-mask put on a manikin, and nonhermetic one (i.e. with gaps) has been obtained. First of all, the abovementioned is stipulated by mismatch between the half-mask size and parameters of an employee face as well as by irregularity of air flows within undermask space. It has been established that due to

the lower resistance to air flow, filters of the second protection class when used in identical half masks will provide the protective efficiency of the respirator as a whole by 30% higher than filters of the third protection class.

Scientific novelty. *The experimental data have helped prove the dependence between air-flow rate through obturator compactness and force of the filter respirator pressing it to a face.*

Practical value. *The obtained dependences of the air-flow rate through the obturator allow using them to analyze and optimize designs and characteristics of obturators being applied for different types of filter respirators. Basing upon the product characteristics as well as upon the calculated dependencies, the user will be able to simulate and evaluate pressurizing force of the filter respirator before operating within the polluted working environment.*

Keywords: *filter respirator, respiratory resistance, working capacity, protective efficiency, exhalation valve, obturation band.*

Cheberiyachko Serhii Ivanovych, Doctor of Technical Science, Professor, Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology (19, Dmitry Yavornitsky av., Dnipro, 49005, Ukraine).

E-mail: sicheb@ukr.net, tel.: +380678741511.

Cheberiyachko Yuriy Ivanovych, Doctor of Technical Science, associate Professor, Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology (19, Dmitry Yavornitsky av., Dnipro, 49005, Ukraine).

E-mail: cheberiyachkoyi@ukr.net, tel.: +380665620542.

Radchuk Dmytro Igorevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate professor, Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology (19, Dmitry Yavornitsky av., Dnipro, 49005, Ukraine).

E-mail: radchuk.dm@gmail.com, tel.: +380665620542.

Deryugin Oleg Valentynovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate professor, Department of Transportation Management, Dnipro University of Technology (19, Dmitry Yavornitsky av., Dnipro, 49005, Ukraine).

E-mail: oleg.kot@meta.ua, tel.: +380668284984.