

DOI: 10.24000/0409-2961-2023-11-57-62

УДК 622.867.322

© С.Г. Ехилевский, О.В. Голубева, Е.П. Потапенко, 2023

Реверс воздушного потока в изолирующем самоспасателе на химически связанном кислороде



С.Г. Ехилевский,
д-р техн. наук, проф.,
ekhilevskiy@yandex.ru



О.В. Голубева,
канд. физ.-мат.
наук, доцент,
первый проректор



Е.П. Потапенко,
зам. начальника
техн. инспекции

ПГУ имени Евфросинии Полоцкой,
Новополоцк, Республика Беларусь

УП «Витебскоблгаз»,
Витебск, Республика
Беларусь

Предложен формализм, позволяющий моделировать регенерацию выдыхаемого воздуха в изолирующем самоспасателе на химически связанном

кислороде после реверса воздушного потока. Сформулированы рекомендации по выбору дыхательных аппаратов, в которых целесообразен реверс, и момента изменения направления фильтрации выдыхаемого воздуха через регенеративный патрон. Показано, что в результате реверса снижается градиент температуры в кислородсодержащем продукте. Это позволяет избежать нарушения микроструктуры его гранул под действием экзотермического тепла и повышает эффективность использования защитного ресурса химически связанного кислорода.

Ключевые слова: реверс воздушного потока, изолирующий самоспасатель, химически связанный кислород, регенерация выдыхаемого воздуха, регенеративный патрон, градиент температуры, экзотермическое тепло, надпероксид калия.

Для цитирования: Ехилевский С.Г., Голубева О.В., Потапенко Е.П. Реверс воздушного потока в изолирующем самоспасателе на химически связанном кислороде // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 11. С. 57–62. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-11-57-62

Reverse of the Air Flow in Isolating Self-rescuer on Chemically Bound Oxygen

S.G. Ekhilevskiy, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ekhilevskiy@yandex.ru, Polotsk State University, Novopolotsk, Republic of Belarus

O.V. Golubeva, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., First Dean, Polotsk State University, Novopolotsk, Republic of Belarus

E.P. Potapenko, Deputy Head of the Technical Inspectorate, Production republican unitary enterprise «Vitebskoblgaz», Vitebsk, Republic of Belarus

Abstract. The advantages of the chemical method of reserving oxygen in an insulating breathing apparatus are the high density of its packaging and the automatic feed rate determined by the stoichiometry of the binding reaction of exhaled carbon dioxide.

Nevertheless, according to the experimental data and theoretical estimates, the protective resource of the regenerative cartridge is not used efficiently enough. The reason is the uneven distribution of exothermic heat sources in the regenerative cartridge, which effects the pore structure of the chemisorbent and slows down the sorption kinetics. In addition, in devices with a short period of protective action, the proportion of the dead sorbent layer is large, unused by the time of the critical CO₂ slip through the regenerative cartridge. The integrated approach to eliminating these causes consists in moving the sources of exothermic heat into the dead layer of the sorbent, which is achieved by reversing the regenerated air flow.

The formalism is proposed that allows to simulate the operation of an insulating self-rescuer on chemically bound oxygen with a circular circuit of the air duct after the reverse of the air flow. Recommendations are formulated on the choice of breathing apparatus in which reverse is advisable, and the moment of changing the direction of filtration of exhaled air through the regenerative cartridge. It is shown that the reverse ensures a more uniform distribution of exothermic heat sources in the regenerative cartridge to prevent sintering of porous granules of an oxygen-containing product made on the basis of potassium peroxide. This increases the efficiency of using the protective resource of the breathing apparatus.

Keywords: reverse airflow, insulating self-rescuer, chemically bound oxygen, regeneration of exhaled air, regenerative cartridge, temperature gradient, exothermic heat, potassium superoxide.

For citation: Ekhilevskiy S.G., Golubeva O.V., Potapenko E.P. Reverse of the Air Flow in Isolating Self-rescuer on Chemically Bound Oxygen. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2023. № 11. pp. 57–62. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2023-11-57-62

Введение

Изолирующие респираторы и самоспасатели с химическим способом резервирования кислорода используются для выхода работников из зоны чрезвычайной ситуации [1] и для оснащения сотрудников МЧС, устраняющих последствия аварии [2]. Регене-

рация атмосферы в таких средствах защиты дыхания осуществляется в процессе химической реакции выдыхаемого углекислого газа при его фильтрации через слой пористых гранул надпероксида калия, кДж:

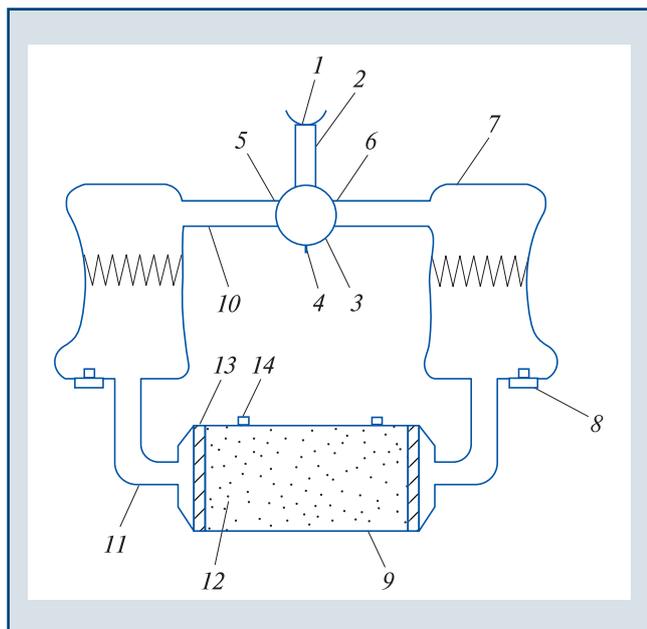


Выделяющийся при этом кислород необходим для нового вдоха. К достоинствам таких дыхательных аппаратов следует отнести высокую плотность упаковки кислорода и обусловленный стехиометрией реакции его автоматический расход в строгом соответствии с физической нагрузкой человека.

Тем не менее, согласно экспериментальным данным и теоретическим оценкам [3], защитный ресурс регенеративного патрона используется недостаточно эффективно. Причина — в неравномерном распределении источников экзотермического тепла в регенеративном патроне, что влияет на структуру пор хемосорбента и замедляет кинетику сорбции [4]. В частности, это увеличивает мертвый слой сорбента, сосредоточенный в конце регенеративного патрона. Комплексный подход к устранению названных причин состоит в перемещении источников экзотермического тепла из лобовых слоев хемосорбента в замыкающие слои. Для этого нужно изменить направление фильтрации воздуха на противоположное.

Конструктивные особенности улучшенного дыхательного аппарата

В связи с изложенным актуально построение математической модели самоспасателя (рис. 1) с круговой схемой воздухопроводной части после изменения направления фильтрации выдыхаемого воздуха [5]. Изображенный на рис. 1 самоспасатель работает следующим образом. Выдыхаемый через лицевую часть 1 и шланг 2 воздух поступает в сферический переключатель 3 направления фильтрации. С помощью рукоятки 4 он может менять положение клапанов вдоха 5 и выдоха 6, осуществляя таким образом реверс воздушного потока. Пусть клапан выдоха 6 находится в правой части переключателя 3. Тогда



▲ Рис. 1. Дыхательный аппарат с реверсом воздушного потока

▲ Fig. 1. Breathing apparatus with reverse airflow

через правый шланг 10 воздух поступает в мешок выдоха 7, создавая в нем повышенное давление, и через правый шланг 11 начинает фильтрацию через кислородсодержащий продукт 12 регенеративного патрона 9. Фильтры 13 очищают поток от взвешенных пылинок надпероксида калия. Далее через левый шланг 11 регенерированный воздух попадает в левый подпружиненный мешок вдоха 7 (оба мешка 7 снабжены клапаном избыточного давления 8). Затем воздух через левый шланг 10, клапан вдоха 5, переключатель 3 и шланг 2 возвращается в лицевую часть 1. После срабатывания левого (звукового) датчика углекислого газа 14 необходимо поворотом рукоятки 4 осуществить реверс воздушного потока. Это обеспечит перераспределение источников экзотермического тепла в противоположную часть регенеративного патрона [6], что предотвратит спекание гранул надпероксида калия и ликвидирует вредное пространство, из которого воздух в маятниковой схеме воздухопроводной части возвращается на вдох, не вступив в контакт со свежей частью кислородсодержащего продукта.

Динамика сорбции углекислого газа при наличии начальной отработки защитного ресурса регенеративного патрона

Обычно при моделировании динамики сорбции ограничиваются случаем нулевой начальной загрязненности фильтра [7–11]. Очевидно, что после реверса воздушного потока хемосорбция CO_2 продолжается при начальной частичной отработке поглотительного ресурса. Поэтому даже при одинаковом размере и пористости гранул возникает неоднородная задача динамики сорбции [12]:

$$\begin{aligned} & [\omega'_\xi(\xi, \tau) + \omega(\xi, \tau)] e^\tau = \\ & = u(\xi, 0) + \int_0^\tau e^\tau \omega(\xi, \tau) d\tau; \end{aligned} \quad (1)$$

$$u(\xi, \tau) e^\tau - u(\xi, 0) = \int_0^\tau e^\tau \omega(\xi, \tau) d\tau; \quad (2)$$

$$\xi = \beta x / v; \quad \tau = \beta \gamma t, \quad (3)$$

где $\omega(\xi, \tau)$ — приведенная концентрация CO_2 ; $u(\xi, \tau)$ — использованная доля поглотительного ресурса кислородсодержащего продукта; ξ и τ — безразмерные координата и время, в которых x — расстояние рассматриваемого слоя хемосорбента от входа в регенеративный патрон; v — скорость фильтрации воздушного потока; t — продолжительность работы аппарата; β, γ — феноменологические постоянные [13], количественно характеризующие соответственно скорость и ресурс вышеприведенной химической реакции. Фигурирующая в (2) величина $u(\xi, 0)$ — начальная (после реверса) загрязненность регенеративного патрона, влияние которой на динамику сорбции и является целью настоящего исследования.

С учетом вида уравнения (1) его решение разложим в ряд по степеням обезразмеренной координаты ξ :

$$\omega(\xi, \tau) e^{\tau} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f_n(\tau)}{n!} \xi^n. \quad (4)$$

Чтобы найти неизвестные функции обезразмеренного времени $f_n(\tau)$, подставим (4) и разложение $u(\xi, 0)$ по степеням ξ :

$$u(\xi, 0) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\xi^n}{n!} u_{\xi}^{(n)}(0, 0)$$

в уравнение (1) и приравняем слева и справа коэффициенты при ξ^n :

$$f_{n+1}(\tau) + f_n(\tau) = u_{\xi}^{(n)}(0, 0) + \int_0^{\tau} f_n(\tau) d\tau \quad (5)$$

$(n = 0, 1, 2, \dots).$

С помощью (5) в рамках рекуррентной процедуры по известному

$$f_0(\tau) = e^{\tau} \omega(0, \tau) \quad (6)$$

(см. (4) можно вычислить любую $f_n(\tau)$. Это позволит с требуемой точностью решить неоднородную и нестационарную задачу динамики сорбции.

Например, при нулевой начальной загрязненности фильтра $u(\xi, 0) = 0$ из (2), (1) следует:

$$u(\xi, \tau) e^{\tau} = \int_0^{\tau} e^{\tau} \omega(\xi, \tau) d\tau; \quad (7)$$

$$[\omega'_{\xi}(\xi, \tau) + \omega(\xi, \tau)] e^{\tau} = \int_0^{\tau} e^{\tau} \omega(\xi, \tau) d\tau. \quad (8)$$

Или после интегрирования по частям:

$$\omega'_{\xi}(\xi, \tau) e^{\tau} + \omega(\xi, 0) = -\int_0^{\tau} e^{\tau} d_{\tau} \omega(\xi, \tau). \quad (9)$$

Положив в (9) $\tau = 0$, получим:

$$\omega(\xi, 0) e^{\xi} = \omega(0, 0), \quad (10)$$

что позволяет вместо (4) записать:

$$\omega(\xi, \tau) e^{\tau+\xi} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f_n(\tau)}{n!} \xi^n, \quad (11)$$

благодаря чему упрощается рекуррентное соотношение (5):

$$f_{n+1}(\tau) = \int_0^{\tau} f_n(\tau) d\tau. \quad (12)$$

Согласно (6) при постоянном граничном условии $\omega(0, \tau) = 1$ старт рекуррентной процедуре (12) дает

$$f_0(\tau) = e^{\tau}. \quad (13)$$

Решением (12), (13) является:

$$f_n(\tau) = e^{\tau} - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\tau^k}{k!} \quad (n = 1, 2, \dots). \quad (14)$$

С учетом (13), (14), (11) получим эволюцию приведенной концентрации углекислого газа в регенеративном патроне до реверса воздушного потока:

$$\omega_1(\xi, \tau) = e^{-\xi} \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\xi^n}{n!} \left(1 - e^{-\tau} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\tau^k}{k!} \right) \right] \quad (15)$$

и соответствующую ей (см. (7) приведенную загрязненность регенеративного патрона:

$$u_1(\xi, \tau) = 1 - e^{-\tau} \left(1 + e^{-\xi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\xi^n}{n!} \sum_{k=1}^n \frac{\tau^k}{k!} \right). \quad (16)$$

Моделирование хемосорбции CO_2 в изолирующем самоспасателе с реверсом воздушного потока

Обозначим τ_p момент осуществления реверса. Если после этого величина скорости фильтрации v остается неизменной, возникает неоднородное начальное условие

$$u(\xi, 0) = u_1(\eta - \xi, \tau_p), \quad (17)$$

в котором η — длина патрона, обезразмеренная с помощью формулы (3).

Чтобы вычислить фигурирующие в (5) производные $u_{\xi}^{(m)}(0, 0)$, подставим найденную до реверса загрязненность (16) в формулу (17):

$$[1 - u(\xi, 0)] e^{\tau_p} = 1 + e^{-\eta+\xi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\eta - \xi)^n}{n!} \sum_{k=1}^n \frac{\tau_p^k}{k!}. \quad (18)$$

В результате поэтапно получим:

$$u_{\xi}^{(m)}(\xi, 0) e^{\tau_p+\eta} = e^{\xi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\tau_p^{n+1}}{n!} \frac{(\eta - \xi)^n}{n!} h(m, \tau_p, n), \quad (19)$$

$(m = 1, 2, \dots),$

где

$$h(1, \tau_p, n) = 1/(n+1);$$

$$h(2, \tau_p, n) = \frac{1}{n+1} - \frac{\tau_p}{(n+1)(n+2)};$$

$$h(3, \tau_p, n) = \frac{1}{n+1} - \frac{2\tau_p}{(n+1)(n+2)} + \frac{\tau_p^2}{(n+1)(n+2)(n+3)};$$

$$h(4, \tau_p, n) = \frac{1}{n+1} - \frac{3\tau_p}{(n+1)(n+2)} + \frac{3\tau_p^2}{(n+1)(n+2)(n+3)} - \frac{\tau_p^3}{(n+1)(n+2)(n+3)(n+4)},$$

что позволяет, заметив биномиальность числителей складываемых дробей, обобщить полученные результаты:

$$h(m, \tau_p, n) = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(-\tau_p)^i C_{m-1}^i}{(n+1)(n+2)\dots(n+1+i)} \quad (20)$$

с помощью чисел сочетаний C_i^m из l объектов по i .

С помощью формул (18)–(20) при $\xi = 0$ для $m = 1, 2, \dots$ получим:

$$u_{\xi}^{(m)}(0, 0) e^{\tau_p + \eta} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\eta^n}{n!} \frac{\tau_p^{n+1}}{n!} h(m, \tau_p, n) \quad (21)$$

и

$$[1 - u(0, 0)] e^{-\tau_p} = 1 + e^{-\eta} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\eta^n}{n!} \sum_{k=1}^n \frac{\tau_p^k}{k!} \quad (22)$$

Формулы (20)–(22), (2), (4)–(6) при стационарном граничном условии $\omega(0, \tau) = 1$ использовались в численных расчетах процесса хемосорбции CO_2 в изолирующем самоспасателе на химически связанном кислороде после изменения направления фильтрации выдыхаемого воздуха на противоположное.

Численный эксперимент

Приведенные в [13] результаты выполненных на стенде-имитаторе дыхания натуральных экспериментов по определению числовых значений фигурирующих в (3) феноменологических постоянных позволяют определить интервал $3 \leq \eta \leq 60$ обезразмеренных длин регенеративных патронов существующих дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде (от 925 до 3700 г надпероксида калия) в различных режимах их эксплуатации (от 12 до 60 л воздуха в мин).

В выдыхаемом человеком воздухе содержится 4 % углекислого газа. Отравление начинается при возвращении на вдох 1,5 %. То есть срок защитного действия самоспасателя τ_k определяется из условия критического проскока CO_2 через регенеративный патрон:

$$\omega(\eta, \tau_k) = 1,5/4 = 0,375. \quad (23)$$

Поглотительный ресурс регенеративного патрона к этому моменту не выработан (иначе проскок был бы равен 4 %). Неиспользованный ресурс сосредоточен преимущественно в конце патрона, образуя мертвый слой хемосорбента. Его доля особенно велика в дыхательных аппаратах с небольшим сроком защит-

ного действия (малым η). В частности, при $\eta < 1$ весь слой кислородсодержащего продукта оказывается мертвым. По этой причине численный эксперимент проведен с $\eta = 4$ (когда наличие не более 2,5 кг кислородсодержащего продукта сочетается с тяжелой физической нагрузкой работника).

Изложенное подтверждает актуальность смягчения температурного режима регенеративного патрона, чтобы дополнительно не снижать использование его поглотительного ресурса.

В соответствии с (23) и (15) $\eta = 4$ отвечает $\tau_k = 2,664$. Если с помощью (3) вернуться к размерным переменным ($\beta\gamma = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ [11]), получим 55,5 мин работы самоспасателя до наступления критического проскока CO_2 .

Наибольшему тепловому воздействию подвергаются лобовые слои кислородсодержащего продукта. В них в начале работы самоспасателя максимальна скорость экзотермической хемосорбции. Это нарушает пористую структуру гранул надпероксида калия и затрудняет проникновение в них молекул CO_2 . В итоге (в зависимости от физической нагрузки человека) срок защитного действия дыхательного аппарата снижается на 37–67 % [13]. По этой причине обезразмеренный момент переключения направления фильтрации τ_p следует определять из уравнения:

$$u_1(0, \tau_p) = 1/3, \quad (24)$$

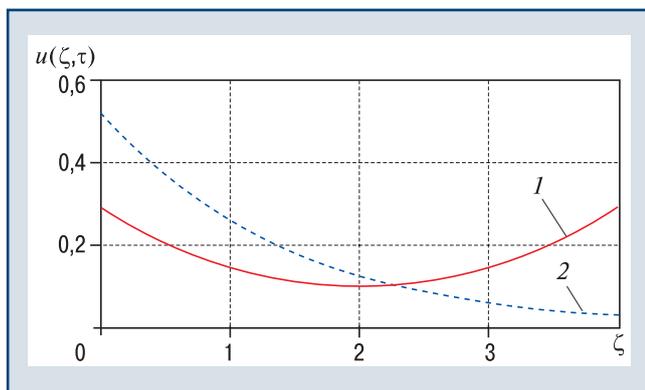
когда поглотительный ресурс лобовых слоев выработан лишь на 33 % (спекание гранул хемосорбента еще не произошло). С помощью (24) и (16) определено значение $\tau_p = 0,4$, которому в реальном (не обезразмеренном) времени соответствуют 8,3 мин работы самоспасателя. Исходя из этого (см. (15) установлено пороговое значение проскока CO_2 , %, для срабатывания левого датчика 14 на рис. 1:

$$\omega_1(\eta, \tau_p) \cdot 4 = 0,053 \cdot 4 \approx 0,2. \quad (25)$$

Обоснованные количественные параметры ($\eta = 4$ и $\tau_p = 0,4$) были использованы при компьютерном моделировании рабочего процесса самоспасателя на химически связанном кислороде с реверсом воздушного потока. Его результаты представлены на рис. 2, 3.

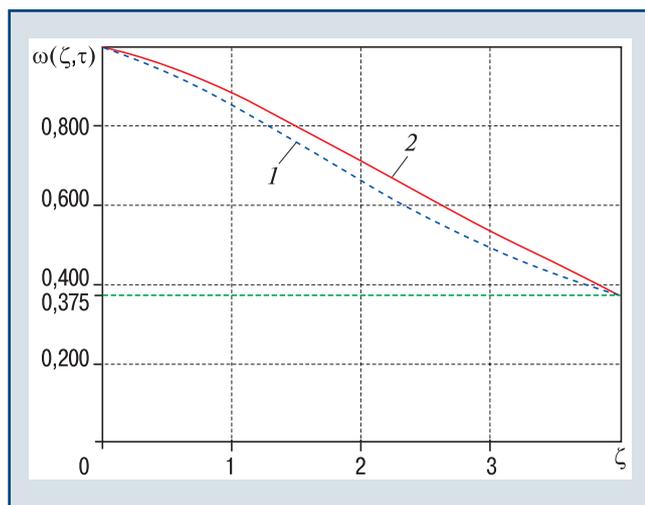
В результате реверса степень обработки лобовых и замыкающих слоев кислородсодержащего продукта выравнивается (см. рис. 2, здесь 1 — при наличии реверса ($\tau_p = 0,4$); 2 — в отсутствие реверса воздушного потока) и в момент времени $\tau = \tau_p + 0,335 = 0,735$ вдвое ниже значения, достигаемого в лобовом слое в отсутствие реверса. То есть локальная тепловая нагрузка регенеративного патрона существенно снижается, что предотвращает послышное спекание гранул надпероксида калия.

При этом важно (см. рис. 3, здесь 1, 2 — то же, что на рис. 2), что перераспределение источников



▲ Рис. 2. Обработка защитного ресурса самоспасателя в момент времени ($\tau = 0,735$)

▲ Fig. 2. Working out the protective resource of the self-rescuer at a time ($\tau = 0,735$)



▲ Рис. 3. Критический проскок CO_2 через регенеративный патрон ($\tau_k = 2,664$)

▲ Fig. 3. Critical slip of CO_2 through the regenerative cartridge ($\tau_k = 2,664$)

экзотермического тепла не снизило теоретический срок защитного действия самоспасателя $\tau_k = 2,664$, определенный ранее с помощью формул (23) и (15), а теперь с помощью (4), (5), (20)–(23).

Более равномерная обработка слоев кислородсодержащего продукта означает постепенное снижение концентрации молекул CO_2 в процессе их фильтрации через регенеративный патрон. Этим объясняется меньшая выпуклость кривой 1 (см. рис. 3), что еще раз подтверждает перераспределение источников экзотермического тепла и предотвращение спекания гранул. Значит, фактическое время наступления критического проскока CO_2 в результате реверса возрастает.

Заключение

Предложен формализм, позволяющий моделировать работу изолирующего самоспасателя на химически связанном кислороде с круговой схемой воздухопроводной части после реверса воздушного потока.

Сформулированы рекомендации по выбору дыхательных аппаратов (не более 2,5 кг кислородсодержащего продукта при тяжелой физической нагрузке работника), в которых целесообразен реверс, и момента изменения направления фильтрации выдыхаемого воздуха через регенеративный патрон (при срабатывании датчика углекислого газа, настроенного на концентрацию 0,2 % в возвращающемся на вдох воздухе).

Показано, что в результате реверса снижается градиент температуры в кислородсодержащем продукте. Это позволяет избежать нарушения микроструктуры его гранул под действием экзотермического тепла и продлевает защитное действие самоспасателя при том же количестве химически связанного кислорода, поскольку теоретическое (без учета спекания гранул) время наступления критического проскока CO_2 в результате реверса не меняется.

Список литературы

1. *Изолирующий самоспасатель для эвакуации людей при пожаре*/ Л.А. Зборщик, Р.С. Плетенецкий, В.В. Говеев, В.И. Францев// Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2017. № 1 (54). С. 102–109.
2. *Кирьян А.П.* Респиратор с химически связанным кислородом для защиты спасателей при ликвидации пожаров и аварий// Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2019. № 1 (2). С. 132–138.
3. *Мамаев В.В., Кирьян А.П., Толкачев О.Э.* Оценка возможности увеличения времени защитного действия регенеративного патрона респиратора// Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2018. № 4 (55). С. 99–107.
4. *Исследование поверхности, пористости и сорбционной емкости активных углеродных адсорбентов из полимерного сырья*/ Ю.А. Суворова, В.Г. Матвейкин, В.Д. Самарин и др.// Безопасность жизнедеятельности. 2021. № 1. С. 9–13.
5. *Пат. 24003* Республики Беларусь. Регенеративный дыхательный аппарат/ С.Г. Ехилевский, Е.П. Потапенко; опубл. 30.04.2023, Бюл. № 2.
6. *Welty J.R., Rohrer G.L., Foster D.G.* Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer. Wiley, 2015. 757 p.
7. *Мамаев В.В., Кирьян А.П.* Математическое моделирование процессов в регенеративном патроне респиратора с химически связанным кислородом// Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2020. № 1 (57). С. 18–24.
8. *A Method for the Development of Self-Contained Breathing Apparatus Using Computer Modeling*/ V.G. Matveikin, E.N. Tugolukov, S.Yu. Alekseyev, A.Yu. Zakharov// International Journal of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7. Iss. 3. P. 481–486. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.14.17046
9. *Майстренко А.В., Майстренко Н.В., Ерохин О.И.* Моделирование изолирующих дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде// Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 2014. № 1 (172). Вып. 29/1. С. 81–87.
10. *Origin of radial breathing mode in multiwall carbon nanotubes synthesized by catalytic chemical vapor deposition*/ R. Gupta, V.P. Singh, V.N. Singh et al.// Carbon. 2014. Vol. 66. P. 724–726. DOI: 10.1016/j.carbon.2013.08.057

11. Albo S.E., Broadbelt L.J., Snurr R.Q. Multiscale modeling of transport and residence times in nanostructured membranes// *AIChE Journal*. 2006. Vol. 52. Iss. 11. P. 3679–3687.

12. Ехилевский С.Г., Потепенко Е.П., Голубева О.В. Влияние начальной загрязненности регенеративного патрона на работу шахтного респиратора на химически связанном кислороде// *Известия вузов. Горный журнал*. 2014. № 8. С. 37–43.

13. Ехилевский С.Г. Повышение ресурса дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Днепропетровск, 2002. 36 с.

References

1. Zborshchik L.A., Pletenetskiy R.S., Govzheev V.V., Frantsev V.I. Self-contained self-rescuer for evacuation of the people by a fire. *Nauchnyy vestnik NIIGD «Respirator» = Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work «Respirator»*. 2017. № 1 (54). pp. 102–109. (In Russ.).

2. Kiryan A.P. Respirator with chemically related oxygen for the protection of rescuers while eliminating fires and accidents. *Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost: problemy i puti sovershenstvovaniya = Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement*. 2019. № 1 (2). pp. 132–138. (In Russ.).

3. Mamaev V.V., Kiryan A.P., Tolkachev O.E. Estimate of possibility of duration increase of a breathing apparatus regenerative cartridge. *Nauchnyy vestnik NIIGD «Respirator» = Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work «Respirator»*. 2018. № 4 (55). pp. 99–107. (In Russ.).

4. Suvorova Yu.A., Matveykin V.G., Samarin V.D., Khrobak A.V., Ulyanova T.P. Researches of Area, Porosity and Sorption Capacities of Active Carbon Adsorbents from Polymer Raw Materials. *Bezopasnost zhiznedejatelnosti = Life safety*. 2021. № 1. pp. 9–13. (In Russ.).

5. Ekhilevskiy S.G., Potapenko E.P. Regenerative breathing apparatus. Patent № 24003. RB. Published: April 30, 2023. Bulletin № 2. (In Russ.).

6. Welty J.R., Rorrer G.L., Foster D.G. Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer. Wiley, 2015. 757 p.

7. Mamaev V.V., Kiryan A.P. Modeling of processes in a regenerative cartridge of a breathing apparatus, chemical oxygen type. *Nauchnyy vestnik NIIGD «Respirator» = Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work «Respirator»*. 2020. № 1 (57). pp. 18–24. (In Russ.).

8. Matveikin V.G., Tugolukov E.N., Alekseyev S.Yu., Zakharov A.Yu. A Method for the Development of Self-Contained Breathing Apparatus Using Computer Modeling. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7. Iss. 3. pp. 481–486. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.14.17046

9. Maystrenko A.V., Maystrenko N.V., Erokhin O.I. Modeling contained breathing chemical oxygen. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istoriya. Politologiya. Ekonomika. Informatika = Scientific bulletins of Belarusian State University. Series. History. Political science. Economy. Computer science*. 2014. № 1 (172). Iss. 29/1. pp. 81–87. (In Russ.).

10. Gupta R., Singh B.P., Singh V.N., Gupta T.K., Mathur P.B. Origin of radial breathing mode in multiwall carbon nanotubes synthesized by catalytic chemical vapor deposition. *Carbon*. 2014. Vol. 66. pp. 724–726. DOI: 10.1016/j.carbon.2013.08.057

11. Albo S.E., Broadbelt L.J., Snurr R.Q. Multiscale modeling of transport and residence times in nanostructured membranes. *AIChE Journal*. 2006. Vol. 52. Iss. 11. pp. 3679–3687.

12. Ekhilevskiy S.G., Potapenko E.P., Golubeva O.V. Impact of initial contamination of the regenerative cartridge on the work of mine respirator on chemical oxygen. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2014. № 8. pp. 37–43. (In Russ.).

13. Ekhilevskiy S.G. Increasing the service life of breathing apparatus using chemically bound oxygen: abstract of the thesis ... Doctor of Technical Sciences. Dnepropetrovsk, 2002. 36 p.

E-mail: ekhilevskiy@yandex.ru

Материал поступил в редакцию/Received 01.06.2023

После рецензирования/Revised 22.09.2023

Принят к публикации/Accepted 09.10.2023

Пожарная безопасность (научно-технический журнал)

Защита пожарных от воздействия опасных факторов лесных верховых пожаров/ Н.П. Копылов, Е.Ю. Сушкина, Д.В. Федоткин, В.И. Новикова. 2023. № 3 (112). С. 16–23.

Рассмотрены вопросы защиты людей, занятых на тушении лесных пожаров, от воздействия опасных факторов лесного пожара. Сделаны оценки по числовым значениям этих опасных факторов. Приведены статистические данные по США и России о гибели пожарных, попавших в ловушки при верховых лесных пожарах. Рассмотрены варианты защиты людей в виде укрытий легкого и тяжелого класса. Проанализированы нормативные документы, в частности стандарты, на предмет их применимости для сертификации укры-

тий. Предложены способы оценки эффективности защитных сооружений (укрытий), попавших в зону действия верхового лесного пожара.

Расширение функциональных возможностей устройств эксплуатационного контроля тепловых пожарных извещателей/ П.С. Глушук, Г.Г. Зырянов, В.В. Матвиенко, А.А. Эков. 2023. № 3 (112). С. 54–62.

Рассмотрены устройства эксплуатационного контроля работоспособности тепловых пожарных извещателей. Выявлены недостатки этих устройств, касающиеся ограниченности их функциональных возможностей. Показано модернизированное устройство контроля извещателей SOLO с разработанным и апробированным адаптером, который расширяет функциональность тепловых тестеров «SOLO» без их переоборудования и обеспечивает повышение температуры нагрева воздуха в рабочем пространстве тестера до 105 °С.