

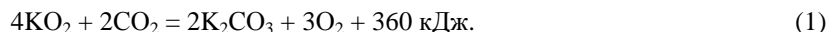
УДК 622.232

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
НА ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННОМ КИСЛОРОДЕ****д-р техн. наук, доц. С.Г. ЕХИЛЕВСКИЙ, С.А. ОЛЬШАННИКОВ
(Полоцкий государственный университет)**

Экспериментально подтвержден новый способ продления защитного действия изолирующего дыхательного аппарата на химически связанном кислороде. В его основе – уменьшение среднего диаметра гранул кислородсодержащего продукта в направлении фильтрации выдыхаемого воздуха, за счет чего в процесс регенерации включен ресурс мертвого слоя сорбента, равномерно распределены источники экзотермического тепла и смягчен температурный режим регенеративного патрона. Сформулирована концепция определения прироста защитного действия аппарата, основанная на интегральных характеристиках – общих количествах проскочивших и хемосорбированных молекул CO₂. В ее рамках критическое значение проскока – функционал его эволюции во времени. Полученные интервальные оценки дополнительного использования ресурса патрона позволяют обойтись без многочисленных и дорогостоящих натурных экспериментов.

Регенеративные патроны дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде снаряжены пористыми гранулами на основе супероксидов щелочных металлов (рис. 1). В процессе фильтрации выдыхаемого воздуха через слой таких гранул они поглощают CO₂ и выделяют необходимый для вдоха кислород. Требования физиологии накладывают ряд ограничений на процентный состав регенерируемой в аппарате атмосферы [1 – 3]. Человек при нормальных условиях вдыхает воздух с содержанием 21 % O₂ и 0,03 % CO₂, а выдыхает с содержанием 15,7 % O₂ и 3,8 % CO₂. Таким образом, выдыхаемый воздух содержит кислорода меньше на 5,3 %, а углекислого газа на 3,77 % больше.

Поскольку дыхательный аппарат должен обеспечивать восстановление кислорода примерно в 1,5 раза больше поглощения углекислого газа, то основная химическая реакция, происходящая в регенеративном патроне, должна соответствовать такой пропорции. По этой и другим причинам в отечественных аппаратах наибольшее распространение получил калиевый продукт:



Химический способ резервирования кислорода обладает рядом преимуществ. Твердые вещества в тысячу раз плотнее газов. А стальные баллоны выдерживают лишь 200...250 атмосфер. То есть плотность «упаковки» кислорода в регенеративном патроне в разы выше, чем в газовом баллоне. При этом баллон весит в шесть раз больше своего содержимого, а коробка регенеративного патрона выполнена из жести (рис. 1) и на порядок легче. Кроме того, в баллонном аппарате необходимо оборудование, снижающее давление кислорода и регулирующее его подачу в зависимости от физической нагрузки человека, а также отдельный поглотитель углекислого газа. Все это усложняет конструкцию баллонного аппарата, увеличивает его массу, габариты и снижает надежность.



Рис. 1. Непрореагировавший кислородсодержащий продукт

Сказанное позволяет главные перспективы развития индивидуальных средств защиты дыхания связать с химическим способом резервирования кислорода. Однако согласно оценкам, приведенным в [4], в существующих респираторах возможности химически связанного кислорода реализованы далеко не полно. К концу гарантированного срока защитного действия используется не более 50 % ресурса регенеративного патрона. В аппаратах с меньшим сроком защитного действия этот показатель еще хуже.

Чтобы существенно повысить эффективность использования химически связанного кислорода, необходимо задействовать ресурс мертвого слоя сорбента (до 13 % защитного ресурса) и оптимизировать температурный режим регенеративного патрона. Выделяющееся в процессе реакции экзотермическое тепло (1) приводит к перегреву и последовательному спеканию слоев кислородсодержащего продукта. Расколов образовавшиеся конгломераты (рис. 2), можно обнаружить непрореагировавшие желтые гранулы, отличающиеся от голубых, расположенных на поверхности и вступивших в реакцию. Таким образом, теряется около 37 % защитного ресурса патрона [4]. Изложенное особенно актуально для небольших аппаратов (самоспасателей), применяемых шахтерами для выхода на свежую струю. В них велика плотность источников экзотермического тепла и доля мертвого слоя в общем количестве сорбента.

Имеются изобретения [5; 6], в которых поставленные задачи решаются за счет изменений в конструкции дыхательных аппаратов. Однако согласно [7] тех же целей можно достичь, варьируя размер гранул в направлении фильтрации воздуха. Лимитирующей стадией процесса хемосорбции является диффузия молекул CO_2 внутрь гранул продукта. Ее скорость обратно пропорциональна квадрату их диаметра [8]. Следовательно, увеличивая гранулы в лобовых слоях продукта и уменьшая в замыкающих, можно смягчить тепловой режим передних, наиболее нагруженных слоев сорбента и уменьшить ширину его мертвого слоя, сосредоточенного в основном в конце патрона.



Рис. 2. Конгломераты спекшихся гранул кислородсодержащего продукта

По техническим причинам плавно менять размер гранул невозможно. В связи с чем патрон следует разделить на две части по ходу течения воздуха, и на границе раздела скачком уменьшить диаметр гранул. Производимый и традиционно используемый продукт состоит из гранул неправильной формы диаметром от 2,5 до 5,5 мм.

Экспериментально установленный гранулометрический состав продукта таков: 34 % массовая доля гранул с диаметром более 5 мм; 30 % доля гранул с диаметром менее 3 мм; 36 % массовая доля гранул с диаметром около 4 мм. Для такого состава средневзвешенный размер гранул равен $0,34 \cdot 5 + 0,36 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 \approx 4$ мм. Поэтому для сопоставительного эксперимента один патрон снарядили однородно 4-миллиметровыми гранулами, второй – со скачком гранулометрического состава, для чего использовали гранулы со средним диаметром 5 и 3 мм соответственно по ходу движения воздуха.

Место скачка диаметра обосновано с помощью описанных в [7] численных экспериментов. Очевидно, во вторую часть патрона поступает переменная концентрация CO_2 , монотонно возрастающая по мере исчерпания ресурса первой. Поэтому в основу расчетов были положены результаты работы [9], в которой рассматривались переменные краевые условия в задаче динамики сорбции. Согласно [9] при постановке натуральных экспериментов долю первой части патрона целесообразно варьировать в пределах от 24,7 до 37,7 % всего патрона. Нижняя граница интервала получена из условия одинаковой мощности источников экзотермического тепла в начале первой и второй частей патрона. Верхняя – из условия сохранения теоретического (без учета спекания) срока защитного действия аппарата, что позволяет максимально смягчить температурный режим лобовых слоев продукта.

Испытания проводились в отделе средств защиты дыхания НИИГД на стенде-имитаторе дыхания, описанном в ГОСТе [10]. Общий вид стенда приведен на рисунке 3, а его схема – на рисунке 4.



Рис. 3. Общий вид стенда-имитатора дыхания

В экспериментах использовался патрон с габаритами $80 \times 55 \times 160$ мм, изготовленный для самоспасателя, совмещенного с аккумуляторной батареей от индивидуального осветительного прибора. Фильтрация воздуха осуществлялась вдоль длины $L = 80$ мм.

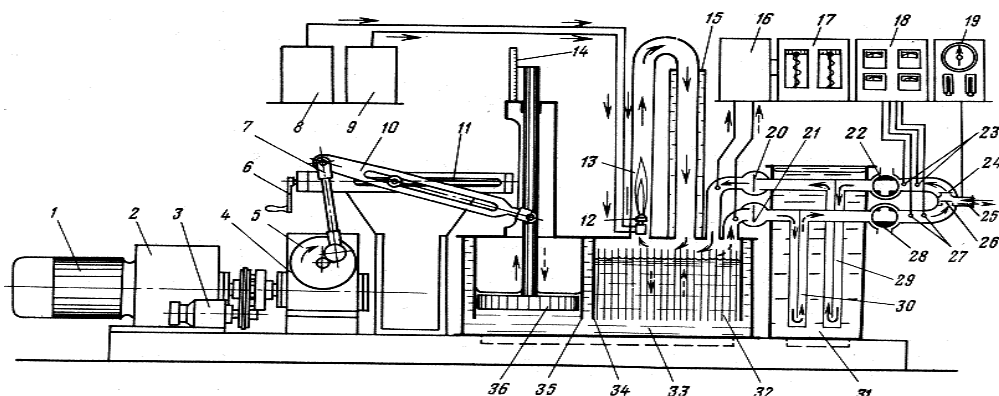


Рис. 4. Схема станда-имитатора дыхания:

- 1 – электродвигатель; 2 – муфта скольжения; 3 – регулятор частоты вращения; 4 – редуктор; 5 – кривошип;
 6 – регулятор объема дыхания; 7 – шатун; 8, 9 – дозаторы кислорода и метилового спирта;
 10 – коромысло; 11 – винт регулятора объема дыхания; 12 – горелка; 13 – камера сгорания;
 14 – шкала регулятора объема дыхания; 15 – холодильник; 16 – пробоотборник; 17 – газоанализатор;
 18 – электротермометры; 19 – мановакуумметр для определения сопротивления дыханию;
 20, 21 – первые клапаны вдоха и выдоха; 22 – двухходовый кран вдоха; 23 – сухие и влажные датчики определения влажности вдыхаемого воздуха; 24 – клапан вдоха; 25 – присоединительный штуцер; 26 – клапан выдоха;
 27 – сухие и влажные датчики определения влажности выдыхаемого воздуха; 28 – двухходовый кран выдоха;
 29, 30 – теплообменник; 31 – термостат; 32 – металлические пластины насадки; 33 – термостатическая ванна;
 34 – камера газообмена; 35 – цилиндр искусственных легких; 36 – поршень

Поскольку спекание продукта – главная причина неэффективного использования ресурса патрона, его температурный режим целесообразно смягчить по возможности максимально. Для этого координату скачка диаметра необходимо приблизить к правой границе оговоренного интервала. Заметим в этой связи, что теплораспределитель представлял собой набор из трех установленных друг за другом (в направлении фильтрации) пластинчатых элементов (рис. 5, 6), естественным образом разделяющих объем патрона на три равные части.



Рис. 5. Расположение элемента теплораспределителя в патроне

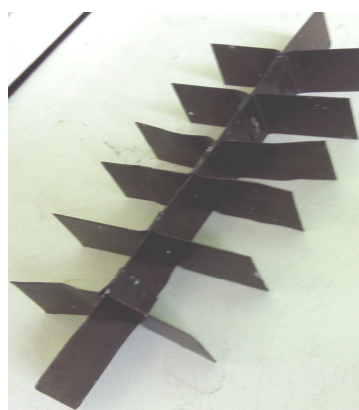


Рис. 6. Элемент теплораспределителя

Поскольку 33 % в первом приближении примерно равно 38 %, крупными гранулами была заполнена первая треть патрона, отделенная от второй части металлической сеткой (рис. 7). Если пренебречь пристеночными эффектами, плотность упаковки одинаковых гранул не зависит от их размера [11], поэтому массы однородно и неоднородно снаряженных патронов оказались одинаковыми. Для первого опыта использовано 450 г средних гранул, а для второго – 150 г крупных и 300 г мелких. Разделение гранул на фракции осуществлено с помощью комплекта сит (рис. 8). Была реализована открытая схема работы аппаратов, при которой проскок CO_2 не добавляется к воздушной смеси, поступающей на вход регенеративного патрона, поскольку этот эффект не учитывался при постановке численных экспериментов. Чтобы усредненно адекватно приблизить опыт к реальным условиям внутри работающего аппарата, концентрация CO_2 на выдохе увеличена против обычной на 0,5 %.

Воздух подавался импульсно (20 вдохов/выдохов в минуту), объем одного вдоха 1 л. Имитировался промежуточный (между 2 и 5-м) режим тяжести физической нагрузки. На вход патрона поступало 0,9 л углекислоты в минуту при легочной вентиляции 20 л/мин, что соответствует 4,5 % содержанию CO_2 в выдыхаемом человеком воздухе. Его температура поддерживалась равной $37 \pm 0,5$ °С, относительная влажность 96 ± 2 %. Атмосферное давление в момент испытаний равнялось 740 мм рт. ст.

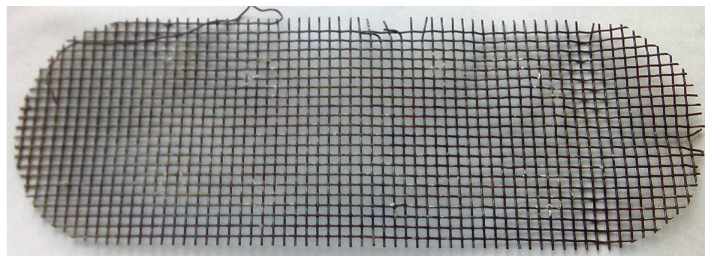


Рис. 7. Сетка, разделяющая патрон на отсеки с крупными и мелкими гранулами кислородсодержащего продукта

Содержание CO_2 как функция времени отслеживалось на выходе из патрона с помощью газового анализатора ГИАМ-5. Температура на корпусе патрона измерялась с помощью электронного термометра с длинным щупом (рис. 9). Показания снимались в пяти точках: в начале и середине первой (снаряженной крупными гранулами) части патрона, а также в начале, середине и конце второй части патрона. Вследствие инерции прибора на одно измерение уходило порядка десяти – пятнадцати секунд. Это позволяло повторять цикл каждые пять минут, не вступая в противоречие с моделью регенерации [9], трактуемой процесс как квазистационарный. Результаты измерений температуры как функции времени и координаты в опытах с однородным гранулометрическим составом и при наличии скачка диаметра представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.



Рис. 8. Сита для отсева гранул на фракции



Рис. 9. Измерение температуры работающего патрона

Таблица 1

Температура (°С) на стенке патрона с гранулами 4 мм

Координата, см \ Время, мин	0	1	2	4	6
5	69	70	63	47	39
10	88	91	92	85	59
15	93	104	108	108	92
20	96	108	115	120	117
25	93	103	119	132	131
30	92	102	114	120	116
35	87	96	109	119	117
40	80	91	100	106	104

Таблица 2

Температура (°C) на стенке патрона с гранулами 5 и 3 мм

Координата, см \ Время, мин	0	1	2	4	6
5	66	67	65	52	37
10	74	80	81	71	60
15	89	95	100	98	85
20	91	103	111	119	117
25	90	99	110	130	130
30	87	96	105	117	117
35	84	92	104	114	115
40	79	85	94	116	116

Заметим, что толщина поглощающего слоя в обоих опытах на 20 мм меньше длины патрона, так как 1 см в начале и конце патрона занимает подпружиненная перфорированная перегородка с металлической сеткой (рис. 10), уплотняющая кислородсодержащий продукт для предотвращения образования пристеночных пустот.

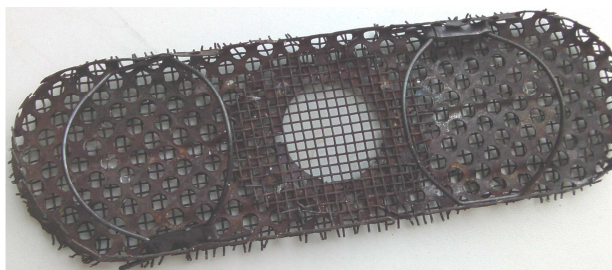
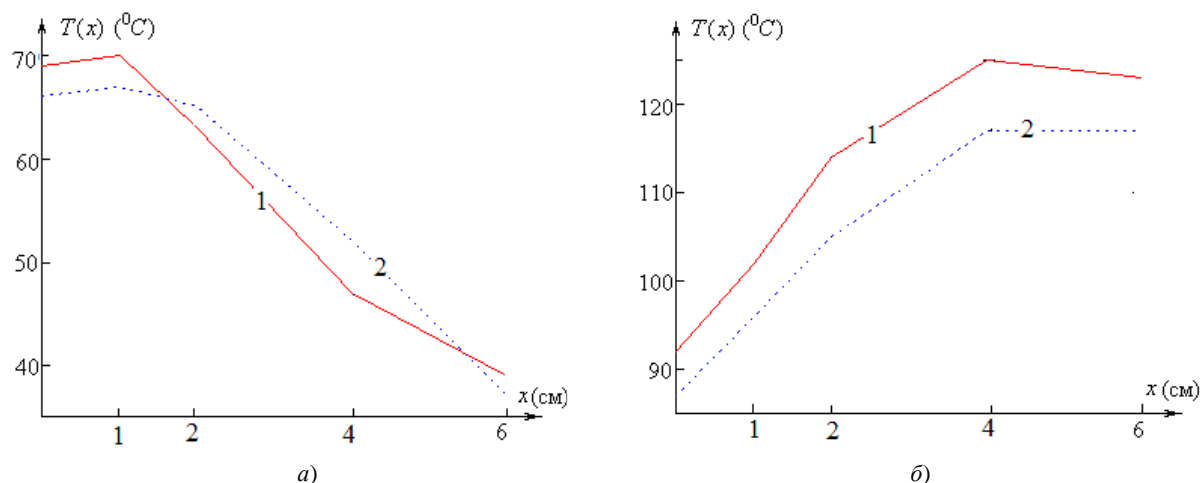


Рис. 10. Подпружиненная уплотняющая перегородка

Зависимость температуры корпуса патрона от координаты, построенная на основе табличных данных для различных опытов в одинаковые моменты времени, представлена в графической форме на рисунках 11, а и 11, б.



Зависимость температуры корпуса патрона от координаты:
 а – температура патрона на 5-й минуте работы; б – температура патрона на 30-й минуте работы;
 1 – одинаковые гранулы; 2 – со скачком диаметра

Видно, что наличие скачка гранулометрического состава привело к более равномерному распределению температуры (рис. 11, а) по слоям продукта, что является следствием более равномерного распределения в патроне связанного углерода, а значит, и источников экзотермического тепла. Это увеличивает поверхность теплопередачи и интенсивность ее процесса. По этой причине при более поздних временах средняя по координате температура корпуса неоднородно снаряженного патрона оказывается ниже (рис. 11, б), чем в патроне с одинаковым гранулометрическим составом. И это несмотря на большее

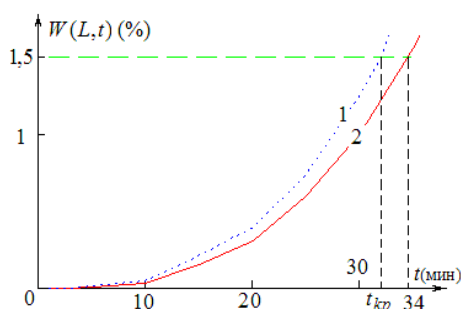


Рис. 12. Проскок CO_2 через регенеративный патрон: 1 – с однородным гранулометрическим составом; 2 – при наличии скачка диаметра гранул



Рис. 13. Отработанные гранулы в случае неоднородно снаряженного патрона

Фрагмент одной из них в среде пакета MathCAD приведен на рисунке 14. Входом в программу является обезразмеренная длина патрона η , место скачка диаметра ζ и его величина, характеризуемая параметрами $\alpha = (4/5)^2$ и $\beta = (4/3)^2$. С помощью имеющейся в [12] таблицы для данного количества продукта (450 г) и реализованного в опыте объемного расхода воздуха 20 л/мин получим $\eta = 450 \cdot 30 \cdot 6 / 915 \cdot 20 = 4,426$. Здесь 6 – обезразмеренная длина 915-граммового патрона в 5-м режиме эксплуатации, которому отвечает объемный расход воздуха 30 л/мин. Соответственно $\zeta = 1,475$ как отделяющая третью часть патрона. Выполненные с такими входными параметрами расчеты дают 4,1 % прирост теоретического срока защитного действия. Следовательно, примерно треть прироста (6 % – 4,1 % = 1,9 %) связана с более мягким температурным режимом патрона. В пользу этого говорит и то обстоятельство, что согласно экспериментальным данным в начале работы патрона температуры на входе в первую и во вторую части патрона ($x = 2$) примерно равны и заметно ниже, чем на входе однородно снаряженного патрона (см. рис. 11, а). Из последнего графика программы (рис. 14) видно, что наклоны кривых роста загрязненности (скорости поглощения CO_2) в начале первой и второй части патрона примерно равны и ниже соответствующего показателя на входе в неразрезанный патрон.

Следует заметить, что критическое значение проскока CO_2 является в значительной мере условным показателем, означающим, что снижение работоспособности, начинающееся при значительно меньших концентрациях CO_2 , поступающих на вдох, постепенно накапливаясь, сводит на нет защитные функции аппарата примерно к моменту критического проскока $t_{кр}$. Очевидно, однако, что работоспособность иссякнет гораздо раньше, если в течение всего этого времени подавать на вдох чуть менее 1,5 % CO_2 . И наоборот, если почти до самого конца проскок практически отсутствовал, человек какое-то время будет выдерживать на вдохе сверхкритические концентрации углекислого газа. То есть само критическое значение проскока увеличится. Иными словами, оно является функцией (правильнее функционалом) способа его достижения. По этой причине прирост защитного действия корректнее оценивать интегрально.

Например, количеством связанных

$$\int_0^{\eta} u(\xi, \tau_1(\eta)) d\xi \Big/ \int_0^{\eta} u_3(\xi, \tau(\eta)) d\xi,$$

или проскочивших молекул CO_2 ,

$$\int_0^{\tau(\eta)} \omega_3(\eta, \tau) d\tau = \int_0^{\Delta} \omega(\eta, \tau) d\tau,$$

где u и u_3 – приведенные концентрации связанного, ω и ω_3 – проскочившего углерода соответственно при наличии и без скачка диаметра гранул; τ , ξ и η – обезразмеренные время, координата и длина патрона; $\tau(\eta)$ и $\tau_1(\eta)$ – время наступления критического проскока CO_2 в однородном патроне и при наличии скачка

количество поглощенных молекул CO_2 , так как их проскок в рассматриваемый момент времени на 20 % меньше (рис. 12). Представленные на нем зависимости построены на основе данных, полученных в ходе эксперимента.

Следует подчеркнуть, что температура внутри патрона в несколько раз выше, чем на его корпусе. Соответственно, значительнее и отличие температур продукта в первом и втором опытах. Это позволило предотвратить спекание гранул (рис. 13) и дополнительно отсрочить время (см. рис. 12) наступления критического проскока CO_2 . Физиология человека такова, что отравление углекислым газом начинается после полутора процентов его содержания на вдохе, что произошло на 34 минуте. В итоге общий прирост срока защитного действия оказался равен 6 %.

Напомним, что в рассматриваемом опыте доля первой части патрона (33 %) заметно меньше своего максимального значения (38 %), полученного из условия уменьшения теоретического срока защитного действия [7]. Это значит, что часть прироста $t_{кр}$ обеспечена увеличением динамической сорбционной активности за счет ресурса мертвого слоя сорбента.

Чтобы оценить вклад в 6 %-ный прирост предотвращенного спекания продукта, определим, какая часть из этих 6 % достигнута за счет ресурса мертвого слоя сорбента. Для этого воспользуемся развитым в [7; 9] формализмом и написанным на его основе комплектом программ.

$$\zeta := 1.5 \quad \eta := 4.5 \quad N_{\text{max}} := 30 \quad \alpha := \frac{16}{25} \quad \beta := \frac{16}{9} \quad \zeta_{\eta} = 0.333$$

$$\omega 1(\xi, \tau) := e^{-\alpha \cdot \xi} \left[1 + \sum_{n=1}^N \left[\frac{(\alpha \cdot \xi)^n}{n!} \left[1 - e^{-\alpha \cdot \tau} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\alpha \cdot \tau)^k}{k!} \right] \right] \right]$$

$$\omega 3(\xi, \tau) := e^{-\xi} \left[1 + \sum_{n=1}^N \left[\frac{\xi^n}{n!} \left(1 - e^{-\tau} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\tau^k}{k!} \right) \right] \right]$$

$$u 1(\xi, \tau) := 1 - e^{-\alpha \cdot \tau} \left[1 + e^{-\alpha \cdot \xi} \sum_{n=1}^N \left[\frac{(\alpha \cdot \xi)^n}{n!} \sum_{k=1}^n \frac{(\alpha \cdot \tau)^k}{k!} \right] \right]$$

$$f 0(\tau) := \omega 1(\zeta, \tau) \cdot e^{-\beta \cdot \tau} \quad N 1 := 80 \quad k := 0..N 1 \quad x_{\tau} := 0.05 \cdot k$$

$$y 1_k := \beta \cdot \int_0^{x_k} f 0(\tau) \, d\tau \quad S 1 := \text{cspline}(x, y 1) \quad f 1(\tau) := \text{interp}(S 1, x, y 1, \tau)$$

$$y 2_k := \beta \cdot \int_0^{x_k} f 1(\tau) \, d\tau \quad S 2 := \text{cspline}(x, y 2) \quad f 2(\tau) := \text{interp}(S 2, x, y 2, \tau)$$

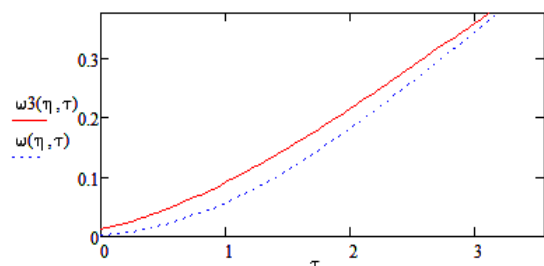
.....

$$y 35_k := \beta \cdot \int_0^{x_k} f 34(\tau) \, d\tau \quad S 35 := \text{cspline}(x, y 35) \quad f 35(\tau) := \text{interp}(S 35, x, y 35, \tau)$$

$$\omega 5(\xi, \tau) := e^{-\beta \cdot (\xi + \tau)} \left[f 0(\tau) + f 1(\tau) \cdot \beta \cdot \xi + f 2(\tau) \cdot \frac{(\beta \cdot \xi)^2}{2!} + \dots + f 35(\tau) \cdot \frac{(\beta \cdot \xi)^{35}}{35!} \right]$$

$$\omega(\xi, \tau) := \omega 1(\xi, \tau) \cdot \Phi(\zeta - \xi + 0.001) + \omega 5(\xi - \zeta, \tau) \cdot \Phi(\xi - \zeta - 0.001)$$

$$\tau := 0, 0.05 \cdot \eta + 1$$



$$\tau := \eta \quad \tau(\eta) := \text{root}(\omega 3(\eta, \tau) - 0.375, \tau) \quad \tau(\eta) = 3.111 \quad \frac{\tau 1(\eta) - \tau(\eta)}{\tau(\eta)} = 0.025$$

$$t := \eta \quad \tau 1(\eta) := \text{root}(\omega(\eta, t) - 0.375, t) \quad \tau 1(\eta) = 3.19$$

$$u 2(\xi, \tau) := e^{-\beta \cdot \tau} \cdot \beta \cdot \int_0^{\tau} e^{\beta \cdot t} \cdot \omega 5(\xi, t) \, dt \quad u 3(\xi, \tau) := e^{-\tau} \cdot \int_0^{\tau} e^t \cdot \omega 3(\xi, t) \, dt$$

$$u(\xi, \tau) := u 1(\xi, \tau) \cdot \Phi(\zeta - \xi + 0.001) + u 2(\xi - \zeta, \tau) \cdot \Phi(\xi - \zeta - 0.001)$$

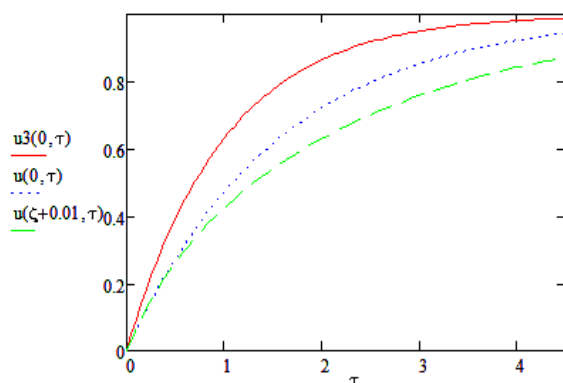


Рис. 14. Программа расчета проскока CO₂ и загрязненности регенеративного патрона

диаметра гранул; Δ – новое время суммарного проскока прежнего количества углекислого газа, проиллюстрированное на рисунке 15, из которого видно, что само критическое значение приведенного проскока возросло от 0,333 до 0,354.

С помощью упомянутых программ (см. рис. 14) получено, что Δ/τ(η) = 1,086. В действительности прирост должен оказаться еще выше, так как за большее время Δ организм может вывести не то же, а несколько большее количество CO₂.

Поскольку Δ > τ(η), патрон успеет поглотить дополнительное количество молекул CO₂

$$\int_0^{\eta} u(\xi, \Delta) d\xi / \int_0^{\eta} u 3(\xi, \tau(\eta)) d\xi = 1,101,$$

$$\int_0^{\eta} u(\xi, \tau 1(\eta)) d\xi / \int_0^{\eta} u 3(\xi, \tau(\eta)) d\xi = 1,067$$

В итоге для данных η, ζ, α и β прирост эффективности использования защитного ресурса патрона составит от 6,7 до 10,1 %. При эксплуатации в том же режиме (20 литров воздуха в минуту, содержание CO₂ на входе в патрон 4,5 %) из условия равных пиков «загрязненности» продукта в начале первой и второй части патрона (подробнее см. [7]) получим минимальную долю первой части патрона 20,6 %. Ей отвечает ζ = 0,91 и 9,2 % прирост теоретического срока наступления 1,5 % проскока CO₂. Возрастание данного показателя с 4,1 до 9,2 % объясняется увеличением доли динамически более активной второй части патрона и происходит за счет ресурса мертвого слоя сорбента. При этом полученная на основе интегральных критериев интервальная оценка прироста эффективности дает от 12,9 до 16,7 % дополнительного использования ресурса патрона.

Если перейти от промежуточного к 5-му режиму эксплуатации (объемный расход воздуха 30 л/мин) при той же координате скачка и его величине, получим: η = 2,951, τ1(η)/τ(η) = 1,10, Δ/τ(η) = 1,144 и от 14,2 до 17,8 % дополнительного использования ресурса патрона. Кроме того, остается эффект смягчения температурного режима, так как чуть более высокий второй пик в рассматриваемом случае остается существенно (на 8,4 %) ниже, чем в начале однородно снаряженного патрона. Значит, к упомянутым процентам в тяжелом температурном режиме в соответствии с ранее

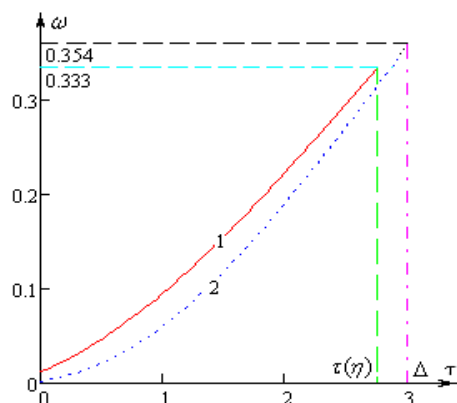


Рис. 15. Эволюция проскока CO_2 и время накопления его допустимой дозы:
1 – однородный состав гранул;
2 – при наличии скачка их диаметра

изложенным добавится еще примерно треть, обусловленная меньшим спеканием продукта в неоднородно снаряженном патроне. В итоге суммарный прирост защитного действия, обусловленный неоднородностью гранулометрического состава, должен находиться в пределах от 19 до 25 %.

Заключение. Полученные оценки позволяют обойтись без многочисленных и дорогостоящих серий экспериментов на людях. В этих сериях реальный прирост защитного действия определяется на основе системы специальных тестов, дозирующих физическую нагрузку человека и варьирующих ее виды. Тем не менее получаемые таким образом результаты весьма субъективны, ибо непонятно, как учитывать физиологические особенности, психологическое и функциональное состояние включенных в аппарат, их волевые качества, мотивированность на выполнение задания и способность преодолеть стресс и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брандис, С.А. Очерки по физиологии и гигиене труда горноспасателей / С.А. Брандис. – М.: Медицина, 1970. – 232 с.
2. Леман, Г. Практическая физиология труда / Г. Леман. – М.: Медицина, 1967. – 335 с.
3. Физиолого-гигиенические требования к изолирующим средствам индивидуальной защиты: утв. Минздравом СССР 23.06.80. – М.: Медицина, 1981. – 27 с.
4. Ехилевский, С.Г. Повышение ресурса дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С.Г. Ехилевский. – Днепропетровск, 2002. – 36 с.
5. Изолирующий дыхательный аппарат: пат. 23426 Украина, А 62 В 7/08. / С.Г. Ехилевский, В.В. Пак, Э.Г. Ильинский (Украина). – № 96072701; заявл. 08.07.96; опубл. 08.07.98 // Бюл. № 4. – С. 3.
6. Регенеративный патрон дыхательного аппарата с химически связанным кислородом: пат. 23427 Украина, А 62 В 19/00 / С.Г. Ехилевский, В.В. Пак, Э.Г. Ильинский (Украина). – № 96072700; заявл. 08.07.96; опубл. 08.07.98 // Бюл. № 4. – С. 3.
7. Ехилевский, С.Г. Оптимизация теплового режима шахтного самоспасателя на химически связанном кислороде / С.Г. Ехилевский, С.А. Ольшанников // Изв. вузов. Горный журнал. – 2013. – № 6.
8. Влияние формы и размеров пористой гранулы на скорость внутренней диффузии / С.Г. Ехилевский [и др.] // Изв. Донецк. горного ин-та. – 2010. – № 1. – С. 105 – 113.
9. Ехилевский, С.Г. Влияние переменных краевых условий на квазистационарный профиль концентрации CO_2 в регенеративном патроне шахтного респиратора / С.Г. Ехилевский, С.А. Ольшанников, Е.П. Потапенко // Изв. вузов. Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 46 – 53.
10. Респираторы изолирующие регенеративные для горноспасательных работ: ОСТ 12.43.247-83.
11. Дубинин, М.М. Физико-химические основы сорбционной техники / М.М. Дубинин. – М.-Л.: Гос. хим.-техн. изд-во, 1932. – 381 с.
12. Значения феноменологических параметров модели хемосорбции в регенеративных патронах шахтных респираторов / В.В. Пак [и др.] // Изв. вузов. Горный журнал. – 1998. – № 11 – 12. – С. 108 – 112.

Поступила 20.06.2013

INCREASE OF EFFECTIVENESS OF BREATHING APPARATUS FOR CHEMICAL OXYGEN

S. EKHILEVSKY, S. OLSHANNIKOV

Experimental evidence is a new way to extend the protective effect of a self contained breathing apparatus for chemical oxygen. It is based on reduction of the average granule diameter of the oxygen product in the direction of filtering exhaled air. In this regeneration process in the resource of dead layer of sorbent is included, sources of exotherm heat are uniformly distributed and the temperature mode of regenerative chuck is softened. The concept of determining the growth of the protective action unit, based on the integral characteristics – total numbers of slipped and chemisorbed CO_2 molecules is formulated. The resulting interval estimates of additional resource use of cartridges eliminate the need of numerous and expensive experiments on humans.