

УДК 622.867.322

Ехилевский С. Г., Голубева О. В., Забелендик О. Н.

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой
г. Новополоцк, Республика Беларусь; тел.: +375 (29) 219-68-53,
e-mail: ekhilevskiy@yandex.ru

ИЗОЛИРУЮЩИЙ ДЫХАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ С ГИБРИДНОЙ ВОЗДУХОВОДНОЙ ЧАСТЬЮ И НЕОДНОРОДНО СНАРЯЖЕННЫМ РЕГЕНЕРАТИВНЫМ ПАТРОНОМ

Согласно стехиометрическим оценкам, менее половины защитного ресурса изолирующего дыхательного аппарата с химическим резервированием кислорода используется к моменту критического проскока выдыхаемого CO_2 через регенеративный патрон. Одна из причин этого – разрушение пористой структуры гранул кислородсодержащего продукта под действием экзотермического тепла, выделяющегося в процессе хемосорбции выдыхаемых молекул CO_2 [1]. Вторая причина – мертвый слой продукта, остающийся неиспользованным к окончанию защитного действия противогаза, когда из регенеративного патрона начинает выходить воздух с 1,5 % содержанием углекислого газа [2]. Для устранения этих причин в работе выполнено математическое и компьютерное моделирование регенерации воздуха в противогазе на химически связанном кислороде с гибридной конструкцией воздуховода и увеличенными гранулами надпероксида калия на входе в регенеративный патрон (рис. 1). При моделировании его работы

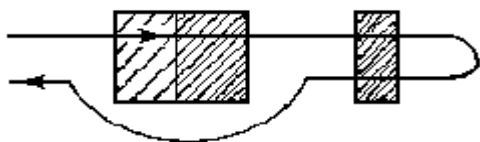


Рис. 1. Гибридная схема воздуховодной части с неоднородно снаряженным регенеративным патроном

необходимо учитывать рост концентрации CO_2 на входе во вторую часть патрона по мере отработки защитного ресурса его первой части. Обратная фильтрация вдыхаемого воздуха через третью (маятниковую) часть патрона происходит в условиях ее неоднородной начальной «загрязненности»

поглощенными молекулами CO_2 . То есть для оптимизации параметров дыхательного аппарата с гибридной схемой воздуховодной части и неоднородно снаряженным патроном необходимо моделировать поглощение переменной концентрации выдыхаемого углекислого газа в процессе его фильтрации через изначально частично отработанный фильтр. Для осуществления этого использовался следующий формализм

$$\xi = \beta x / v, \quad \tau = \beta \gamma t, \quad \omega = W / W_0, \quad u = \gamma U / W_0,$$

$$u(\xi, \tau) = e^{-\tau} \left(u(\xi, 0) + \int_0^{\tau} e^{\tau} \omega(\xi, \tau) d\tau \right), \quad \omega(\xi, \tau) = e^{-\tau} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f_n(\tau)}{n!} \xi^n,$$

$$f_0(\tau) = e^{\tau} \omega(0, \tau) \quad f_{n+1}(\tau) = u_{\xi}^{(n)}(0, 0) + \int_0^{\tau} f_n(\tau) d\tau - f_n(\tau), \quad (n = 0, 1, 2 \dots),$$

где t – время работы регенеративного патрона,

x – координата, равная нулю на входе в патрон,

β и γ – параметры модели, задающие скорость реакции по связыванию CO_2 и сорбционную емкость кислородсодержащего продукта [3],

v – скорость течения воздуха через регенеративный патрон,

W и U – переменные концентрации молекул CO_2 в регенерируемом воздушном потоке и поглощенных атомов углерода соответственно,

W_0 – масштаб W в рассматриваемой задаче,

$u_{\xi}^{(n)}(0,0)$ – производная n -го порядка по обезразмеренной координате ξ от приведенной начальной загрязненности патрона $u(\xi,0)$ при $\xi = 0$.

Доля мертвого слоя хемосорбента велика в дыхательных аппаратах с малыми сроками защитного действия (небольшими длинами регенеративного патрона). Поэтому в численных экспериментах использовалась обезразмеренная длина патрона $\eta = 3,68$, что соответствует самоспасателю с одним килограммом кислородсодержащего продукта при быстром покидании зоны аварии (объемная вентиляция легких 50 л/мин) [3]. При этом реальный срок защитного действия (при наличии спекания гранул) не превышает 40 минут.

Показано, что увеличение на 25 % размера гранул более чем на треть снижает в них скорость выделения тепла при связывании выдыхаемых молекул CO_2 , чем смягчает температурный режим патрона и сохраняет пористость гранул. Длина части патрона с увеличенными гранулами определена из условия одинаковой скорости поглощения CO_2 на входе в первую и вторую (с не увеличенным размером гранул) части патрона.

Повышению эффективности использования защитного ресурса дыхательного аппарата также способствует задействование (в результате реверса) ресурса мертвого слоя в маятниковой части патрона, что отодвигает наступление критического проскока CO_2 ($\omega_{кр} = 0,375$) и способствует дополнительной отработке ресурса круговой части патрона.

Определена длина маятниковой части регенеративного патрона (рис. 2), обеспечивающая максимальный (на 8,1 %) прирост использования мертвого слоя продукта и исключаящая фильтрацию воздуха через отработанные слои кислородсодержащего продукта.

Таким образом, прирост защитного действия составил примерно 4 минуты реального времени, что является нижней оценкой прироста защитного действия дыхательного аппарата с учетом предотвращения спекания гранул хемосорбента CO_2 .

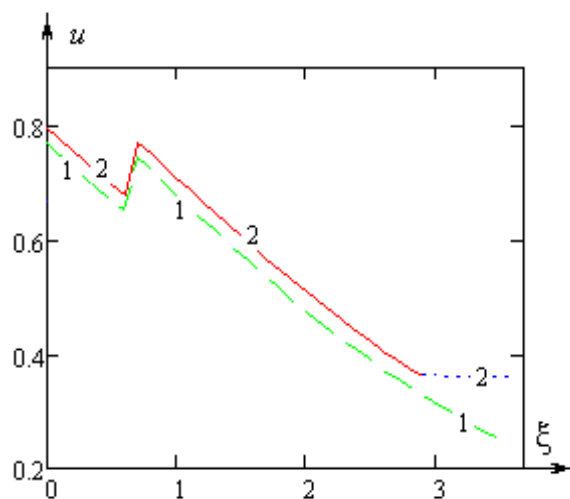


Рис. 2. Отработка ресурса неоднородно снаряженного регенеративного патрона в круговой (кривая 1, пунктир) и гибридной (кривая 2, сплошная) схемах

Список литературы

1. Ехилевский, С. Г. Реализация концепции бикфордова шнура в неоднородной задаче динамики сорбции / С. Г. Ехилевский, О. В. Голубева, О. Н. Забелендик // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2023. – № 3(89). – С. 59–71.
2. Ехилевский, С. Г. Моделирование дыхательного аппарата на химически связанном кислороде с кругомаятниковой схемой воздухопроводной части / С. Г. Ехилевский, О. В. Голубева, Е. П. Потапенко // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – №1. – С. 46–52.
3. Значения феноменологических параметров модели хемосорбции в регенеративных патронах шахтных респираторов / В. В. Пак, С. Г. Ехилевский, Э. Г. Ильинский, Е. И. Конопелько // Изв. вузов. Горный журнал. – 1998. – №11-12. – С. 108–112.