

Кроме того, остается эффект смягчения температурного режима, так как при $\zeta = 0,91$ имеет место равенство пиков «загрязненности» (одинаковая мощность источников экзотермического тепла) на входе в первую и вторую части регенеративного патрона. Эти пики существенно (на 8,7%) ниже, чем загрязненность в начале однородно снаряженного патрона. Значит, к упомянутым процентам (см. [1]) добавится примерно половина, 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%.

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, способность преодолевать стресс и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ольшаников, С.А. Оптимизация теплового режима шахтного самоспасателя на химически связанном кислороде / С.Г. Ехилевский, С.А. Ольшаников, Е.П. Потапенко // Изв. вузов. Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 35–42.

2. Ольшаников, С.А. Итерационная процедура моделирования изолирующего дыхательного аппарата / С.А. Ольшаников, С.Г. Ехилевский, О.В. Голубева : сб.тр. III междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве», Минск, 20 декабря 2016 г. / Ун-т гражданской защиты МЧС Беларуси; редкол. : Е.А. Петрико. – Минск, 2016. – С. 121–124.

ИТЕРАЦИОННАЯ ПРОЦЕДУРА МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗОЛИРУЮЩЕГО ДЫХАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ольшаников С.А., Ехилевский С.Г., Голубева О.В.

Полоцкий государственный университет

Моделирование процесса регенерации воздуха является классической задачей динамики сорбции [1], в рамках которой отслеживается эволюция проскока примеси через слой поглотителя. Обычно ее решают методами математической физики при наличии стационарных граничных условий на входе в фильтр [2]. Однако в изолирующем дыхательном аппарате к постоянной составляющей концентрации молекул CO_2 , заданной режимом

эксплуатации аппарата, добавляется проскок углекислого газа, монотонно возрастающий по мере истощения ресурса регенеративного патрона. Иными словами имеет место переменная концентрация сорбтива на входе в слой поглотителя. Соответствующий формализм, аналитически описывающий динамическую сорбционную активность при наличии переменной концентрации сорбтива на входе в фильтр, предложен в [3] и сводится к системе уравнений

$$-\omega'_\xi(\xi, \tau) = e^{-\tau} \left[e^{-\xi} \omega_0(0) + \int_0^\tau e^\tau d_\tau \omega(\xi, \tau) \right], \quad \tau > 0, \quad (1)$$

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

где τ и ξ – обезразмеренные время и соответственно координата (глубина проникновения в слой поглотителя), $\omega(\xi, \tau)$ – приведенная концентрация CO_2 , $\omega_0(0)$ – ее начальное значение на входе в фильтр, $u(\xi, \tau)$ – доля отработанного продукта;

Решение (1) может быть записано в виде ряда

$$\omega(\xi, \tau) = e^{-\xi-\tau} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f_n(\tau)}{n!} \xi^n, \quad (3)$$

коэффициенты которого связаны рекуррентным соотношением

$$f_{n+1}(\tau) = \int_0^\tau f_n(\tau) d\tau, \quad (4)$$

позволяющим по известному

$$f_0(\tau) = e^\tau \omega_0(\tau) \quad (5)$$

последовательно вычислить все $f_n(\tau)$ до какого угодно номера. Выражение (5) для $f_0(\tau)$ следует из вида ряда (3) и граничного условия

$$\omega(0, \tau) = \omega_0(\tau). \quad (6)$$

Соотношения (1) – (6), с привлечением компьютерных вычислений позволяют количественно описывать хемосорбцию CO_2 в регенеративных патронах дыхательных аппаратов с круговой схемой воздухопроводной части. Для этого в (6) вместо $\omega_0(\tau)$ в соответствии с ранее изложенным следует подставить

$$\omega_0(\tau) = 1 + \omega(\eta, \tau), \quad (7)$$

где η – обезразмеренная длина патрона.

В результате возникает самосогласованная задача определения искомой функции $\omega(\xi, \tau)$. Для ее решения использована итерационная процедура с малым параметром $\omega(\eta, \tau)$. Для получения нулевого приближения в (7) следует вообще пренебречь проскоком $\omega(\eta, \tau) = 0$. При этом возвращаемся к стационарному граничному условию $\omega(0, \tau) = 1$, для которого решение рекуррентного соотношения (4) можно записать в аналитическом виде.

$$f_n(\tau) = e^\tau - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\tau^k}{k!} \quad (n=1,2,\dots). \quad (8)$$

Подставив (8) в (3), получим

$$\omega_0(\xi, \tau) = e^{-\xi} \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\xi^n}{n!} \left(1 - e^{-\tau} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\tau^k}{k!} \right) \right]. \quad (9)$$

Следующий шаг итерационной процедуры, отвечающий первому приближению $\omega_1(\xi, \tau)$, заключается в подстановке (9) в (7) и численной реализации рекуррентной процедуры (4). С этой целью в среде пакета MathCAD был написана специальная программа, представленная на рис.1.

$$\eta := 4 \quad \xi := 0,01.. \eta \quad N := 30 \quad \beta := 1 \quad \tau := 0,005.. \eta + 5$$

$$\omega_0(\xi, \tau) := e^{-\xi} \left[1 + \sum_{n=1}^N \left[\frac{\xi^n}{n!} \cdot \left(1 - e^{-\tau} \cdot \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\tau^k}{k!} \right) \right] \right]$$

$$f_0(\tau) := (1 + \omega_0(\eta, \tau)) \cdot e^{\beta \cdot \tau} \quad N1 := 80 \quad k := 0..N1 \quad x_k := 0.05 \cdot k$$

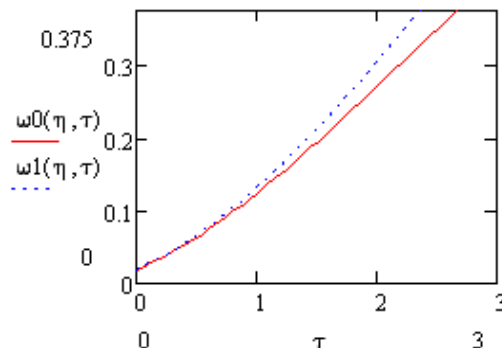
$$y1_k := \beta \cdot \int_0^{x_k} f_0(\tau) d\tau \quad S1 := \text{cspline}(x, y1) \quad f1(\tau) := \text{interp}(S1, x, y1, \tau)$$

$$y2_k := \beta \cdot \int_0^{x_k} f1(\tau) d\tau \quad S2 := \text{cspline}(x, y2) \quad f2(\tau) := \text{interp}(S2, x, y2, \tau)$$

$$y3_k := \beta \cdot \int_0^{x_k} f2(\tau) d\tau \quad S3 := \text{cspline}(x, y3) \quad f3(\tau) := \text{interp}(S3, x, y3, \tau)$$

$$y35_k := \beta \cdot \int_0^{x_k} f34(\tau) d\tau \quad S35 := \text{cspline}(x, y35) \quad f35(\tau) := \text{interp}(S35, x, y35, \tau)$$

$$\omega_1(\xi, \tau) := e^{-\beta \cdot (\xi + \tau)} \cdot \left[f_0(\tau) + f1(\tau) \cdot \beta \cdot \xi + f2(\tau) \cdot \frac{(\beta \cdot \xi)^2}{2!} + f3(\tau) \cdot \frac{(\beta \cdot \xi)^3}{3!} + \dots + f35(\tau) \cdot \frac{(\beta \cdot \xi)^{35}}{35!} \right]$$



$$\tau := \eta \quad \tau(\eta) := \text{root}(\omega_0(\eta, \tau) - 0.375, \tau)$$

$$\tau1 := \eta \quad \tau1(\eta) := \text{root}(\omega_1(\eta, \tau1) - 0.375, \tau1)$$

$$\tau(\eta) = 2.666$$

$$\tau1(\eta) = 2.358$$

$$\frac{\tau1(\eta)}{\tau(\eta)} = 0.884$$

Рисунок 1 – Программа расчета эволюции проскока CO₂ через регенеративный патрон дыхательного аппарата на химически связанном кислороде с круговой схемой воздуховодной части

Построенный для $\eta = 4$ с помощью этой программы график зависимости проскока от времени допускает разумную интерпретацию. Вначале, когда проскок CO_2 незначителен, зависимости, построенные для открытой (сплошная) и круговой схем (пунктир) воздухопроводной части практически не отличаются. Однако по мере исчерпания ресурса патрона проскок в круговой схеме растет стремительнее, как и должно быть, ибо избежавшие хемосорбции молекулы CO_2 возвращаются на вдох, увеличивая содержание углекислого газа в выдохе. Развиваясь в указанном направлении, процесс все сильнее отдален от имеющего место в открытой схеме. В результате время $\tau_{кр}$ наступления критического проскока CO_2 $\omega_{кр} = 0,375$ уменьшается на 11,6%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов, А.М. Математические модели однокомпонентной динамики сорбции / Денисов, А.М., Лукшин А.В. – М.: Изд-во московского ун-та, 1989. – 72 с.
2. А.А. Жуховицкий. Поглощение газа из тока воздуха слоем зернистого материала.1 / А.А. Жуховицкий, Я.Л. Забежинский, А.Н. Тихонов // Журнал физической химии.– 1945. – 19, в.6. – С. 253–261.
3. Ольшанников, С.А. Влияние переменных краевых условий на квазистационарный профиль концентрации CO_2 в регенеративном патроне шахтного респиратора/ С.Г. Ехилевский, С.А. Ольшанников // Изв. вузов. Горный журнал. – 2013. – №3. – С. 46 – 53.