

помещении – +16°C (таблица 1 [3]), сопротивление теплопередаче принималось в соответствии с таблицей Г.1 [1] для одинарного остекления в интервале от 0,15 до 0,18 м<sup>2</sup> · °С · Вт<sup>-1</sup>, для двойного остекления в интервале от 0,31 до 0,42 м<sup>2</sup> · °С · Вт<sup>-1</sup> для сотового поликарбоната – 0,26 м<sup>2</sup> · °С · Вт<sup>-1</sup> (4 мм), 0,42 м<sup>2</sup> · °С · Вт<sup>-1</sup> (16мм). Результаты сравнительного расчета теплотерь приведены в таблице.

Таблица – Сравнительный расчет теплотерь через ЛСК при использовании одинарного остекления, двойного остекления и сотового поликарбоната

Вид остекления	Теплотери, Вт·м <sup>2</sup>		Теплотери, кг.у.т.·м <sup>2</sup> ·год <sup>-1</sup>	
	max	min	max	min
Одинарное	273,33	227,78	159,54	132,95
Двойное	132,26	97,62	77,20	56,98
СП	157,69	97,62	92,04	56,98

Применение сотового поликарбоната взамен одинарного остекления позволяет сэкономить 67,5 кг у.т.×м<sup>2</sup> за отопительный сезон при замене одинарного остекления на сотовый поликарбонат, что в денежном выражении составляет 14,5 долларов США соответственно.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования [Текст] : ТКП 45–2.04–43–2006. – Взамен СНБ 2.04.01–97 ;введ. 01–07–07. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2007. – 35 с.

2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха [Текст] : СНБ 4.02.01–03. – Взамен СНиП 2.04.05–91 ;введ. 01–01–05. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2004. – 81 с.

Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях [Текст]: утв. пост. Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь 30.04.2013 № 33 : введ. в действие с момента опубл. – Минск, 2013 – 19 с.

### ИНТЕГРАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПРИРОСТА ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ИЗОЛИРУЮЩЕГО ДЫХАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

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

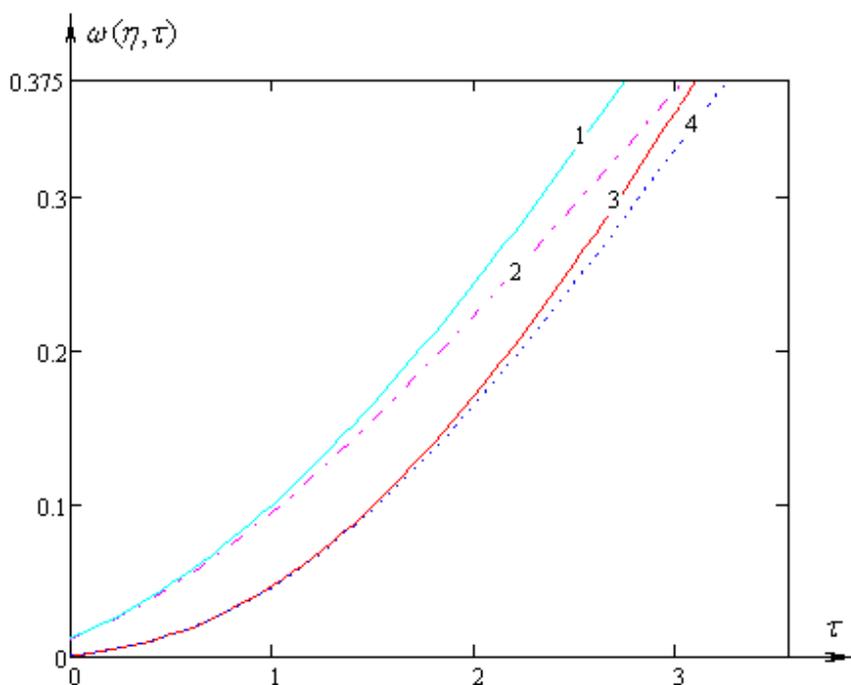
Полоцкий государственный университет

Регенерация выдыхаемого воздуха в дыхательном аппарате на химически связанном кислороде происходит в процессе его фильтрации через слой гранул надпероксида калия. Лимитирующей стадией хемосорбции углекислого газа и выделения необходимого для дыхания кислорода является диффузия молекул СО<sub>2</sub> внутрь гранул. Скорость такой диффузии обратно пропорциональна

квадрату диаметра гранул. Поэтому уменьшая их размер в направлении фильтрации можно истончить мертвый слой сорбента и снизить мощность источников экзотермического тепла для предотвращения спекания гранул. И то и другое увеличивает срок защитного действия дыхательного аппарата [1].

Чтобы оценить такой прирост необходимо учесть замкнутость воздухопроводной части изолирующего аппарата. Для чего воспользуемся изложенной в [2] итерационной процедурой. При этом в качестве нулевого приближения следует взять выражение, описывающее проскок  $\text{CO}_2$  через неоднородно снаряженный патрон, подключенный по открытой схеме [1]. Результаты выполненных с помощью пакета MathCAD вычислений в графической форме представлены на рис. 1, где  $\tau$  и  $\eta$  – безразмерные время и длина патрона (см. [1]),  $\omega$  – доля проскочивших молекул  $\text{CO}_2$ . Вычисления выполнены для  $\eta = 4,426$  и со скачком диаметра  $(d_1/d_2) = 5/3$  в точке  $\zeta = 0,91$ .

Видно, что в патроне со скачком диаметра гранул замкнутость воздухопроводной части уменьшает время наступления критического проскока (расстояние между кривыми 4, 3) не так сильно, как в однородно снаряженном (расстояние между кривыми 2, 1). Причина в том, что благодаря скачку диаметра гранул патрон лучше связывает молекулы  $\text{CO}_2$  и они в меньшем количестве возвращаются на вдох практически не влияя на концентрацию углекислого газа в выдохе. В результате в изолирующем аппарате (работающем по замкнутой схеме) прирост времени наступления критического проскока вызванный скачком диаметра гранул (расстояние между кривыми 1, 3) составит 12,9%, что почти вдвое превышает 6,9% прироста в открытой схеме (расстояние между кривыми 2, 4).



однородно снаряженный с круговой (1) и открытой (2) схемами подключения;  
со скачком диаметра гранул в круговой (3) и открытой (4) схемах

**Рис. 1 – Проскок  $\text{CO}_2$  через регенеративный патрон**

Прирост в 12,9% совпадает со значением, найденным по средней загрязненности к моменту  $\omega(\eta, \tau) = 0.333$  такого же патрона, подключенного по открытой схеме. Такое совпадение неслучайно и является следствием закона сохранения молекул углекислого газа. Действительно, время наступления критического проскока  $\text{CO}_2$  определяется количеством проследовавших в фильтр молекул. А оно в замкнутой схеме равно произведенным в результате жизнедеятельности человека за вычетом сорбированных патроном. Если проскок растет медленнее, значит загрязненность быстрее. Т. е. прирост защитного действия, найденный по времени критического проскока, будет равен приросту связанного углерода, при меньшем проскоке. Таким образом, для оценки прироста защитного действия аппарата нет необходимости моделировать круговую схему.

С учетом изложенного, критическое значение проскока  $\text{CO}_2$  является в значительной мере условным показателем, означающим, что снижение работоспособности начинающееся при значительно меньших концентрациях  $\text{CO}_2$ , поступающих на вдох постепенно накапливаясь, сводит на нет защитные функции аппарата примерно к моменту критического проскока. Очевидно, однако что работоспособность иссякнет гораздо раньше если в течение всего этого времени подавать на вдох чуть менее 1,5%  $\text{CO}_2$ . 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 проскочивших молекул  $\text{CO}_2$

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

где  $\omega$  и  $\omega_3$  – приведенные концентрации проскочивших молекул  $\text{CO}_2$  соответственно при наличии и без скачка диаметра гранул,  $\tau(\eta)$  – время наступления критического проскока  $\text{CO}_2$  в однородном патроне,  $\Delta$  – новое время суммарного проскока прежнего количества углекислого газа. При этом само критическое значение приведенного проскока возрастает от  $\omega_3(\eta, \tau(\eta)) = 0,333$  до  $\omega(\eta, \Delta) = 0,357$ , а  $\Delta/\tau(\eta) = 1,142$ . В действительности прирост защитного действия должен оказаться еще выше, так как за большее время  $\Delta$  организм может вывести не то же, а несколько большее количество  $\text{CO}_2$ . Поскольку  $\Delta > \tau(\eta)$  патрон успеет поглотить дополнительное количество молекул  $\text{CO}_2$ . В итоге, прирост эффективности использования защитного ресурса патрона составит от 12,9% до 16,8% :

$$\int_0^{\eta} u(\xi, \tau_1(\eta)) d\xi / \int_0^{\eta} u_3(\xi, \tau(\eta)) d\xi = 1,129, \quad \int_0^{\eta} u(\xi, \Delta) d\xi / \int_0^{\eta} u_3(\xi, \tau(\eta)) d\xi = 1,168.$$

где  $u$  и  $u_3$  приведенные концентрации связанного углерода, при наличии и без скачка диаметра гранул,  $\tau_1(\eta)$  - время наступления критического проскока  $\text{CO}_2$  в неоднородном патроне

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  $\text{CO}_2$ , заданной режимом