

УДК 614.894

Э.Г. Ильинский, канд. техн. наук, зав. отделом,  
Е.И. Конопелько, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией,  
С.А. Лебедков, ведущий инженер,  
Р.С. Плетенецкий, инженер

## ВКЛЮЧЕНИЕ В РЕСПИРАТОР С ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫМ КИСЛОРОДОМ ПОСЛЕ ПЕРЕРЫВОВ В РАБОТЕ

*Проанализированы возможности включения в респиратор с химически связанным кислородом после перерывов в работе. Показано, что при использовании в конструкции сменного пускового устройства, как это реализовано в респираторе РХП, длительность перерывов в первой половине времени защитного действия (ВЗД) можно увеличить до 1,5-2 часов, разрешены также, в отличие от других респираторов с химически связанным кислородом, перерывы во второй половине ВЗД. Включение после более длительных перерывов возможно при использовании специальных устройств.*

Современное респираторостроение использует два источника резервирования кислорода: сжатый и химически связанный. Респираторы на сжатом кислороде Р-30, Р-34, Р-12 – основной аппарат для длительной работы, находящийся на вооружении в горноспасательных частях, у газодымозащитников пожарной охраны и т.д. Однако, сравнительные испытания показывают, что респираторы с химически связанным кислородом, имея массу меньше аппаратов со сжатым кислородом (при том же времени защитного действия) обеспечивают более комфортные условия дыхания за счет осушения регенерируемого воздуха и «сжигания» продуктов метаболизма в регенеративном патроне [2]. С увеличением температуры окружающего воздуха или нагрузки эти преимущества становятся подавляющими, что и явилось основанием для рекомендации применения респираторов с химически связанным кислородом в экстремальных условиях для ликвидации сложных затянувшихся аварий, длительных разведок, при работе в зоне повышенных температур [4]. Одной из причин, на наш взгляд, сдерживающих широкое внедрение респираторов с химически связанным кислородом, является их высокие эксплуатационные расходы, связанные со сложностью запуска аппарата после перерывов в работе. Вследствие этого «Инструкцией по эксплуатации» разрешено делать при комнатной

температуре два перерыва не более 30 мин в течение первой половины времени защитного действия. Если длительность перерыва больше или он сделан во второй половине времени защитного действия, регенеративный патрон должен быть заменен на новый вне зависимости от степени его отработки.

В данной работе анализируются возможности разработки регенеративного патрона после перерыва любой длительности. Исследования проводились на стенде-имитаторе дыхания, в основном, в 5 режиме [5] при разных температурах окружающего воздуха, различной степени отработки регенеративного патрона, длительности непрерывной предшествующей перерыву работе, длительности перерывов и т.д. При этом измерялись объемное содержание кислорода и диоксида углерода во вдыхаемом воздухе и его тепловлажностные параметры, сопротивление дыханию и объем дыхательного мешка. Исследования показали, что температура вдыхаемого воздуха и сопротивление дыханию всегда находятся в нормированных пределах [5]. Объемное содержание диоксида углерода имеет более сложную зависимость. Так при положительных температурах окружающего воздуха и до 75 % отработки регенеративного патрона, вне зависимости от длительности перерыва, объемное содержание диоксида углерода не превышает 3 %, что могло бы быть допустимым, т.к. продолжительность времени с объемным содержанием 1,5 % не превышает 3-5 мин, но при отрицательных температурах содержание  $\text{CO}_2$  зависит от всех перечисленных выше факторов, и в некоторых случаях продолжительность периода с объемным содержанием выше 1,5 % составляет до 10-15 мин, а максимальное значение достигает 5,5 %, что абсолютно недопустимо [5]. Дефицит кислорода  $\Delta V$  в отличие от этого, при перерывах свыше 30 мин наблюдается во всем диапазоне температур от комнатных до отрицательных. На рисунке 1 приведены графики, которые показывают дефицит кислорода в зависимости от степени отработки регенеративного патрона. Видно, что с увеличением длительности перерыва дефицит кислорода увеличивается и достигает величины  $12 \text{ дм}^3$ . Зависимость не меняет своего вида при снижении температуры, однако дефицит кислорода увеличивается и при  $0^\circ \text{C}$  достигает значения  $17 \text{ дм}^3$ . При этом, естественно, уменьшается и полезный объем дыхательного мешка  $V$ . И если при начальном объемном содержании кислорода в мешке  $\sim 90\%$ , перерывах до 8 часов объемное содержание кислорода  $\geq 20\%$ , то объем дыхательного мешка через 5-7 мин становится меньше  $1 \text{ дм}^3$ . Таким образом, наиболее критичным параметром является полезный объем дыхательного мешка. В респираторе РХП [3] применено пусковое

устройство, пусковой брикет которого вынесен из патрона, что позволило сделать его быстросъемным, т.е. дало возможность устанавливать его перед включением после перерыва, компенсируя таким образом, дефицит кислорода.

При таком решении перерывы в 30 мин допустимы как в первой, так и во второй половине ВЗД вне зависимости от режима работы и отдыха; причем во второй половине ВЗД четырехчасового патрона допустимо сделать два перерыва (при общем их количестве пять) и один для двухчасового патрона (при общем количестве три). Последний может быть сделан при отработке 75 % ВЗД (рис.2). Перерывы в 60 мин в первой половине ВЗД возможны вне зависимости от режима работы респиратора и температуры окружающей среды. Объем дыхательного мешка и объемное содержание кислорода позволяют человеку нормально дышать. Во второй половине ВЗД возможность разработки после часового перерыва зависит от ВЗД регенеративного патрона, режима труда-отдыха, температуры окружающей среды. Так, для двухчасового патрона он возможен. Для четырехчасового возможен также, если время непрерывной работы средней тяжести до перерыва составляло не менее 45 мин. При предшествующей работе длительностью 30 мин при комнатной температуре и объем дыхательного мешка, и объемное содержание кислорода еще достаточные для вдыхания, но находятся на пределе допустимого.

В отличие от этого, перерывы в 90 мин во второй половине не допускаются никогда: если это первый перерыв, то при комнатных температурах объемное содержание кислорода для двухчасового патрона снижается до 15-17 %, а для четырехчасового – до 10-12 %; при этом полезный объем дыхательного мешка составляет 2-3 дм<sup>3</sup>, что не позволяет сделать нормальный вдох; при предварительной работе 45 мин объемное содержание кислорода падает до 3 %.

В первой половине ВЗД после первого перерыва в 90 мин респиратор «разрабатывается» всегда, возможность «разработки» после второго перерыва зависит от многих факторов. Например, минимальная объемная доля содержания кислорода во вдыхаемом воздухе после 30 мин работы, последующих семи суток перерыва, 45 мин работы предшествующей 90-минутному перерыву, составляет 44%, а объем дыхательного мешка «садится» до 4,4 дм<sup>3</sup>. Этого вполне достаточно для дыхания. Но если предварительная работа длилась только 30 мин, объемное содержание кислорода падает до 16 %, а мешок «садится» до ~

2 дм<sup>3</sup>, чего недостаточно для нормального дыхания без использования устройства дополнительной подачи воздуха.

Перерыв в 2 часа – критическая величина: если первый при комнатной температуре еще допустим при предшествующей работе не менее 90 мин (максимальное объемное содержание кислорода 18 % и объем дыхательного мешка 3,8 дм<sup>3</sup>), то при снижении температуры до 15 °С объемное содержание кислорода падает до 3-5 % и держится менее 18 % на протяжении 12 мин, что делает невозможным дыхание даже при использовании устройства дополнительной подачи воздуха из-за его ограниченного объема. В связи с этим была сделана попытка компенсировать недостаток кислорода увеличением массы пускового брикета. Однако применение утроенного количества кислородосодержащего вещества дает незначительный эффект, т.к. большая часть кислорода покидает респиратор через избыточный клапан и в первую минуту после срабатывания. А как показали кинетические зависимости кислородовыделения, оно, в зависимости от условий отработки патрона, в достаточном количестве начинается с 6 по 30 мин. К тому же при срабатывании такого пускового устройства сопротивление выдоху достигает недопустимой величины 2 кПа. Поэтому на время разработки патрона необходимо какое-то устройство, которое генерировало бы кислород для покрытия его дефицита. С другой стороны, как известно [1], реакции, которые протекают в регенеративном патроне, зависят от температуры кислородосодержащего вещества и количества влаги, которую поглотил регенеративный патрон.

Примеры таких устройств, мы их назвали пусковыми патронами, представлены на рисунке 3. Физический смысл шарообразной формы пускового патрона заключается в том, что при этом максимально ограничены потери тепла. К тому же он обеспечивает разные условия протекания химических реакций в разных его частях, что обуславливает необходимую пролонгированность действия (реакции сначала начнутся в центре, а затем переместятся к поверхности). Во втором – цилиндре с помощью металлических сеток сделаны каналы для прохождения воздуха. Физический смысл его обусловлен тем, что при пульсирующем потоке соотношение сопротивления каналов и продукта будет изменяться и, таким образом, воздух будет проходить через продукт (больше при максимальной скорости) и частично через каналы (больше при малой скорости), металлическая сетка, которая имеет ячейку, соразмерную со средневзвешенным размером гранул продукта, обеспечивает протекание реакций и в этом случае. Величина слоя продукта такова, что пусковые патроны с самого начала работают в проскоковом режиме, т.е. часть диоксида углерода и паров воды проходит через них не

поглощаясь и, попадая в регенеративный патрон вступают в реакцию с кислородсодержащим продуктом патрона и разогревают его. Высота слоя выбирается из того условия, чтобы и кислородовыделение было бы достаточно, и максимально быстро происходил разогрев регенеративного продукта.

Полученные экспериментальные результаты показывают, что если отработка патрона не более 50 % ВЗД, 230 г кислородсодержащего продукта позволяет делать при комнатной температуре перерывы до 6 часов и при 0 °С – до 4 часов. При более длительных перерывах необходимо большее количество продукта – 300-350 г. Но это решение возможно только в том случае, если пусковой патрон можно удалить из дыхательного контура без нарушения герметичности воздухопроводной системы после разработки регенеративного патрона. В противном случае сопротивление выдоху становится, вследствие поглощения выдыхаемой влаги значительно выше нормированного. К сожалению, конструктивное решение этого до сих пор не найдено. Более сложные конструкции пусковых патронов дали большой разброс результатов (наверное, вследствие сложности их снаряжения) и повышенное сопротивление дыханию при тяжелой работе. Надо отметить, что разработка двухчасовых патронов, также как и включение при отрицательных температурах [3] осуществляется легче, т.е. , в принципе, позволительны перерывы большей длительности. Это, по всей видимости, обусловлено теми же причинами [3] - уменьшением теплоемкости за счет уменьшения массы регенеративного патрона и уменьшения массы регенеративного патрона и уменьшения диссипации энергии за счет уменьшения поперечного сечения.

Однако в «Руководстве по эксплуатации» для повышения безопасности регламентируется для респиратора с четырехчасовым патроном перерывы следующей продолжительности: 90, 60, 60, 30 и 30 мин; а для двухчасового – 90, 60 и 30 мин, при этом объемное содержание кислорода во вдыхаемом воздухе составит не менее 25 %, а объем мешка уменьшится менее чем на 1 дм<sup>3</sup>.

В разработанном респираторе РХП благодаря применению сменного пускового устройства возможно увеличение длительности перерывов до 90 мин. Для включения в респиратор после более длительных перерывов необходимы специальные устройства, конструктивная проработка которых еще не завершена.

#### **Список литературы**

1 Вольнов И.И. Перекиси, надперекиси и озониды щелочных и редкоземельных металлов. М., Наука, 1964, 196 с.

2 Конопелько Е.И. Новое поколение респираторов с химически связанным кислородом // Уголь Украины. – 2003. - №1. – с.45-48.

3 Обґрунтування можливості включення в респіратор з хімічно зв'язаним киснем при негативних температурах/ Е.Г. Ильїнський, Є.І. Конопелько, Р.С.Плетенецький, А.П. Кир'ян// Горноспасательное дело: Сб науч. трудов/НИИГД.-2004.-С.53-57.

4 Овчаров В.К., Ильинский Э.Г., Конопелько Е.И. Респираторы с химически связанным кислородом – средство защиты органов дыхания в экстремальных условиях // Организм и окружающая среда: жизнеобеспечение в экстремальных ситуациях: Материалы Российской конференции: В 2 т. т.2-М., 2000.-с.30-31.

5 Респіратори ізолювальні регенеративні для гірничорятувальних робіт. Загальні технічні вимоги і методи випробувань. ДСТУ 3856-99.