

## **СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ**

### ***Основы строения и эксплуатации.***

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В пожарной охране постоянное внимание уделяется средствам защиты органов дыхания (далее СИЗОД). Целью этой работы является исключением моментов того, чтобы в подразделении и на объекте, которые охраняются, поступили аппараты, которые не отвечают требованиям условий боевой работы во время тушения пожара. Это, в свою очередь, повысит качество изделий и безопасность работы газодымозащитной службы.

Сложность и безопасность работ, которые выполняют подразделения пожарной охраны во время проведения разведки и тушения пожаров, обуславливает взаимосвязь комплекса СИЗОД и вида, специальной защитной одежды и снаряжения пожарных. В силу специфики работы в пожарной охране допускается использование только индивидуальных изолирующих СИЗОД. В большинстве эти аппараты со сжатым воздухом и регенеративные дыхательные аппараты.

До конца 70-ых годов на вооружении ГДЗС пожарной охраны состояли регенеративные дыхательные аппараты. Они создавались как специально для пожарной охраны (КИП-5, КИП-7, КИП-8 разработки СКБ КДА г. Орехово-Зуево), так и для других отраслей народного хозяйства, например, горноспасательного дела (Р-12 разработки НИИ горноспасательного дела в г. Донецк). В начале 70-ых годов было установлено что основным СИЗОД в пожарной охране должен стать дыхательный аппарат со сжатым воздухом и временем защитного действия не менее 1-го часа, а для специальных подразделений которые комплектуются газодымозащитниками, выезжающими на автомобилях ГДЗС на наиболее большие и длительные пожары (в метрополитене, больших подвалах, высотных строениях и др.), - регенеративные дыхательные аппараты со временем защитного действия не менее 4-х часов.

Работа и изобретение первых отечественных аппаратов на сжатом воздухе проводилась ВНИИПО (г. Москва) совместно с НИИ горноспасательного дела (г. Донецк). Специально для этого аппарата научно-исследовательский трубный институт (г. Днепропетровск) изобрёл семилитровый баллон с рабочим давлением 30 МПа, а казанский завод «Теплоприбор» - манометр. Аппарат прошел весь комплекс испытаний, включая исследовательскую эксплуатацию в гарнизонах пожарной охраны, получив большую оценку от практичных работников. Серийное производство аппаратов под шифром АИР-317 было организовано на Луганском заводе «Горизонт». Аппарат комплектуется отечественной панорамной маской ПМ-88 с переговорной мембраной. Стекло маски не запотеваает и не замерзает во всём диапазоне температур.

В последнее время для аппаратов АИР-317 разрабатывается кассета из двух четырёхлитровых композитных баллонов. Это позволит повысить время защитного действия и уменьшить массу аппарата. Его можно отнести к новому поколению аппаратов, поскольку он имеет значительно повышенный коэффициент защиты за счёт использования постоянного избыточного давления под лицевой частью, улучшенные эргономические характеристики.

Работа по производству аппаратов ведется в комплексе с разработкой приборов для их проверок. Так, работниками пожарной охраны совместно с научно-исследовательским институтом горноспасательного дела был разработан и рекомендован к серийному производству индикатор ИР-2, который приходит на смену реометру-манометру.

После пожара в гостинице «Россия» (г. Москва) была начата работа по созданию

самоспасателя для эвакуации потерпевших из задымленных помещений. Сложность выполнения поставленной задачи состояла в том, что этот аппарат должен был выполнять такие нормы как:

- обеспечение надёжной защиты от всех токсичных веществ, которые выделяются во время горения, а также при недостаточном количестве кислорода;
- обеспечение защиты разнообразного контингента: мужчин, женщин, детей, людей с длинными волосами, бородой и др.;
- возможность включиться в него совсем неподготовленных людей;
- обеспечение условий дыхания в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами.

В последнее время такие самоспасатели были изобретены. Это, например, самоспасатель на химически \_\_\_\_\_ кислороде СПИ-20, который состоит из капюшона, регенеративного патрона и дыхательного мешка. Время защитного действия у него составляет 20 мин, а масса-1,2 кг.

В ближайшее время основными задачами в области строения средств индивидуальной защиты органов дыхания для пожарной охраны остаются:

- повышение надёжности;
- повышение коэффициента защиты;
- повышение времени защитного действия;
- уменьшение микроклиматических условий дыхания;
- облегчение работы в экстремальных условиях.

Вышеуказанное свидетельствует о том, что знание основ строения и использования разнообразных способов индивидуальной защиты органов дыхания является задачей специалистов пожарной безопасности. Особенно тех, кто ведёт на данный момент и будут вести в ближайшем будущем техническую политику в области внедрения этой пожарной техники в подразделения пожарной охраны.

## **1. Физиологическое строение и использование средств индивидуальной защиты органов дыхания**

### **1.1 Основные понятия физиологии дыхания**

Процесс дыхания является особенностью и признаком живого организма. Благодаря дыханию осуществляется газообмен между организмом и окружающей средой. При этом организм приобретает внутрь кислород и наружу выводит углекислый газ пары воды, а в некоторых случаях и другие газообразные продукты распада в теле. Остановка дыхания даже на некоторое время, которое измеряется в минутах, может иметь тяжёлые, а порой и губительные последствия.

Дыхательная система – совокупность органов, которые принимают участие в процессе газообмена между организмом и окружающей средой. Дыхательная система состоит из путей, проводящих воздух (носоглотка, гортань, трахея и бронхи), и самой главной дыхательной части – легких. Через воздухоносные пути осуществляется связь легких и внешней атмосферой.

Верхний отдел путей – носоглотка, покрыта слизистой оболочкой, обогащенная кровеносными сосудами, благодаря чему осуществляется нагревание вдыхаемого воздуха. Кроме этого, в носоглотке имеются волосы, предназначенные для задержки частиц пыли, которые поступают вместе с воздухом из атмосферы. Вдыхаемый воздух, проходя через нос, увлажняется.

Нижний отдел воздухоносных путей начинается с трахеи, которые потом разделяются на две бронхи. Потом воздух, проходя через бронхи и бронхиолы, заполняет большое количество альвеол – легочных пузырьков, в которых осуществляется газообмен

между кровью и альвеолярным воздухом. Стенки альвеол состоят из тонкой пленки, которая вмещает большое количество эластичных волокон. Благодаря этому альвеолярные стенки могут расширяться, тем самым увеличивать объем альвеол. Внутренние стенки альвеол выстелены плоским эпителием. Непосредственно перед эпителием расположена связка кровеносных сосудов, так называемых, легочных капилляров. Диаметр каждой альвеолы составляет 0,2 мм. А площадь ее поверхности около 0,125 кв. мм. В легких взрослого человека около 700 млн. альвеол. То есть, общая площадь их поверхности составляет около 90 кв. м. Таким образом, дыхательная поверхность в 60 – 70 раз превышает поверхность кожного покрова человека. При глубоком вдохе альвеолы растягиваются, и дыхательная поверхность доходит до 250 кв. м. превышая поверхность тела более чем в 125 раз.

Легкие, с наружи покрыты серной оболочкой, так называемой, легочной плеврой. Такая же оболочка покрывает внутри грудную клетку, образуя пристенную плеву. Капиллярный промежуток между ними (плевральная щель), заполнен сернистой жидкостью. Таким образом, легкие не имеют непосредственной связи с мышцами и ребрами.

В сложном процессе газообмена выделяют три основные фазы: наружное дыхание, перенос газов кровью и внутреннее дыхание.

Наружное дыхание объединяет все процессы, происходящие в легких. Оно осуществляется дыхательным аппаратом, к которому относятся грудная клетка с мышцами, приводящими их в движение, диафрагма и легкие с воздухонасосными путями.

Грудная клетка – костно-мышцевый щит, защищающих трахею и бронхолегочную систему от внешних повреждений. Кроме того, грудные мышцы активно принимают участие в акте дыхания. Ритмичное действие грудной клетки механично обеспечивает вентиляцию легких, т.е. наполнение их атмосферным воздухом при входе и выходе наружу обогащенным углекислым газом альвеолярного воздуха из легких при выходе. Главная дыхательная мышца-диафрагма. При вдохе диафрагма сокращается, а грудное пространство увеличивается в вертикальном направлении, мышцы грудной клетки при сокращении расширяют межрёберные промежутки. Объем грудной клетки при этом возрастает. Легкие расширяются, и атмосферный воздух заполняет их. Так осуществляется вдох. Потом дыхательная мускулатура грудной клетки диафрагма расслабляются, объем грудной клетки уменьшается и осуществляется выдох.

Сущность процесса газообмена, который имеет место в легких во время внешнего дыхания, состоит в переходе кислорода из альвеолярного воздуха в венозную кровь, которая циркулирует по легочным капиллярам (поглощение кислорода), и в переходе углекислого газа из венозной крови в альвеолярный воздух (выделение углекислого газа). Этот обмен проходит через тонкие стенки легочных капилляров по законам диффузии, вследствие разницы парциальных давлений газов в альвеолах и крови. Значения парциального давления газов в организме человека довольно стабильные (см. табл. 1.1).

**Таблица 1.1 – Парциальное давление и объёмная доля кислорода и углекислого газа в воздухе**

Среда в которой находятся газы	Парциальное давление, кПа		Объёмная доля, %	
	O <sub>2</sub>	C O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	C O <sub>2</sub>
Атмосферный вдыхаемый воздух	21,2	0,03	21	0,03
Альвеолярный воздух	14,0-14,7	5,3	14,2-14,6	5,6
Выдыхаемый воздух	15,2-16,2	3,3-4,3	16-17	3,5-4,5
Венозная кровь	8	6-6,7	-	-
Артериальная кровь	13,3	5,3	-	-
Ткани	1,3-2,6	7,3-8	-	-

Обогащенная кислородом кровь из легких разносится по всей кровеносной системе, отдавая для обогащения тканей кислород и принимая углекислый газ. Кровь вместе с лимфой является внутренней средой организма и выполняет такие основные функции:

- разносит по организму живительные вещества: углеводы, белки, жиры и др.;
- выносит из организма продукты распада: молочную кислоту, соли и др.;
- доставляет в клетки кислород и выносит из них углекислый газ;
- осуществляет защиту организма от опасных веществ и антител.

Составляющими крови являются:

- плазма, куда входит 90-92 % и 8-10 % сухих остатков (белки, глюкоза, аминокислоты и не органические соли K, Na, Ca и др.);
- эритроциты, в которых находится вещество красного цвета гемоглобин, являющийся основным переносчиком газов в крови. Гемоглобин имеет место соединения с кислородом и углекислым газом, а также с окисью углерода. Каждый эритроцит содержит около 270 млн. молекул гемоглобина. Гемоглобин, соединенный с кислородом называется оксигемоглобином, а соединенный с углекислым газом – бикарбонатом, с окисью углерода – карбоксигемоглобином.

В организме человека два круга кровообращения. Большой круг кровообращения начинается с левого желудка сердца, потом идёт в аорту, артерии, артериолы, капилляры и заканчивается в правом предсердии; малый круг кровообращения – начинается с правого желудочка сердца, идёт в лёгочные артерии и капилляры и заканчивается в левом предсердии.

Ритмичные колебания стенок артерий называют «артериальным импульсом». Пульс в значительной мере отображает работу сердца и, прощупывая его можно сложить некоторое представление о работе сердца, состоянии всей сердечно-сосудистой системы и про полученную физическую нагрузку.

Кислород, поступающий в кровь, доставляется ей во все клетки организма. В клетках происходят важные для жизни окислительные процессы. Отдавая кислород клеткам, кровь захватывает углекислоту, а также пары воды и доставляет их в альвеолы. Процесс тканевого дыхания называется «внутренним дыханием». Главным условием жизни является обмен веществ (энергии), а основными источниками энергии являются живительные вещества. При окислении этих веществ образуются разнообразные соединения, в результате чего выделяется энергия. Вследствие окисления энергетических веществ в клетках, парциальное давление углекислого газа увеличивается (по сравнению с его содержанием в артериальной крови) и в условиях отдыха достигает 6.25 кПа (47 мм. рт. ст.) (при физической работе значительно больше). Углекислый газ, взаимодействуя с водой, образует углекислоту ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Углекислота, объединяясь с солями гемоглобина, преобразовывается в бикарбонат гемоглобина и с кровью транспортируется к лёгким. В лёгких происходит обратная реакция: отщепляется углекислый газ, восстанавливается гемоглобин и вода.

Количество поглощенного кислорода обычно больше того количества углекислого газа, который откладывается организмом. Это объясняется тем, что окислительные процессы идут не только с углеводами, но и с белками, жирами, и другими веществами.

Лёгочный газообмен характеризуется тремя показателями:

- объёмной скоростью выделения углекислого газа  $W_{\text{CO}_2}$  (л/мин.),
- объёмной скоростью поглощения кислорода  $W_{\text{O}_2}$  (л/мин.) и дыхательным коэффициентом

$$K_{\text{дых}} = \frac{\omega_{\text{CO}_2}}{\omega_{\text{O}_2}} \quad (1,1)$$

Поглощение кислорода и выделение углекислого газа меняются в зависимости от интенсивности выполняемой физической работы. Необходимый для организма уровень газообмена достигается за счет смены легочной вентиляции. Её увеличение приводит к повышению парциального давления кислорода и уменьшению парциального давления углекислого газа в альвеолярном воздухе, благодаря чему интенсифицируются процессы диффузии кислорода и углекислого газа через стенки легочных капилляров.

Как видно из таблицы 1.1 разница парциального давления по обе стороны стенок легочных капилляров составляет для кислорода 6-6,7 кПа и для углекислого газа 0,7-1,4 кПа. Несмотря на незначительную разницу парциальных давлений, углекислый газ успевает выделиться из крови в необходимом количестве, поскольку его скорость диффузии через стенки капилляров в 25 раз больше, чем у кислорода. Уровень парциального давления углекислого газа, который в альвеолярном воздухе стабильный (5,3 кПа) и является биологической константой, через дыхательный центр регулирует интенсивность легочной вентиляции. Незначительное увеличение парциального давления углекислого газа приводит к увеличению интенсивности легочной вентиляции, а понижение - к уменьшению.

Равенство газового состава вдыхаемого и выдыхаемого воздуха (см. табл. 1.2) показывает, что попадание кислорода в воздух который вентилирует легкие, состоит 4-5 %, а объемная доля углекислого газа увеличивается на 3,5-4,5 %. Таким образом, через легкие должен пройти в 20-25 раз больший объем воздуха.

**Таблица 1.2 – Состав вдыхаемого и выдыхаемого воздуха**

Состав воздуха	Содержание в % объёма воздуха		
	В атмосферном воздухе	В альвеолярном воздухе	В выдыхаемом воздухе
Азот, N <sub>2</sub>	78,09	74,2	78,5
Кислород, O <sub>2</sub>	20,95	13,4	16,4
Углекислый газ, CO <sub>2</sub>	0,03	5,2	4,1
Инертные газы	Около 1,0	Около 1,0	Около 1,0
Водяные пары, H <sub>2</sub> O	-	6,2	-

Значение дыхательного коэффициента изменяется от 0,7 до 1,1, в зависимости от интенсивности физической работы, характера употребления пищи (соотношение в ней жиров, белков и углеводов) и др. причин.

Транспорт кислорода из легких до тканевых капилляров и углекислого газа в обратном направлении осуществляется соответственно по артериям и венам большого круга кровообращения. Тканевое дыхание имеет место в результате разницы парциальных давлений газов в капиллярах и в самих тканях по законам диффузии.

Кроме того, через поверхность тела, а именно через кожу, обеспечивается 1-2 % всего газообмена осуществляемого в легких.

Дыхание – наиважнейший процесс, протекающий в организме не прерывно. При нарушении внешнего дыхания продолжается внутреннее дыхание. Если на протяжении 5-6 минут оно не восстановится, наступает смерть. Регулирование дыхания осуществляется центральной нервной системой в зависимости от условий, в которых находится организм и не зависимо от волевых усилий. Изолирующие противогазы, предназначенные для защиты органов дыхания от дыма и газов, регулируют только процессы внешнего дыхания.

## **1.2 Атмосферный воздух и его особенности.**

По своему составу атмосферный воздух является механической смесью разнообразных газов, количество которых в сухом воздухе остаётся неизменным. Масса одного литра воздуха составляет 1,293 г. при давлении 101 кПа (760 мм. рт. ст.) и температуре  $0^{\circ}\text{C}$ . Состав атмосферного воздуха приведен в таблице 1.2.

Поскольку воздух имеет массу, то он осуществляет давление на поверхность земли. Атмосферное давление не всегда и не везде бывает одинаковым и зависит от географической широты, температуры воздуха и высоты над уровнем моря. На широте 45 градусов на уровне моря при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  атмосферное давление уравнивается в трубку с перетином  $1\text{ см}^2$  барометра столбом ртути высотой 760 мм. или столбом воды 10,33 метра при  $4^{\circ}\text{C}$ , что соответствует давлению на  $1\text{ см}^2$  поверхности силой 10 Н (1,033 кгс). Эта величина называется «нормальной» или физической атмосферы. В технике используют техническую атмосферу (кгс/см $^2$ ), что соответствует давлению 10 м вод. ст. 735,6 мм рт. ст. при значительно повышенных условиях. В системе единиц СИ давление измеряется в Паскалях:

$$1\text{Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 0,102 \text{ мм. вод ст.} = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ м. вод. ст.} = \\ = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ кгс/см}^2 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм. рт. ст.}$$

Воздух при повышении давления очень легко сжимается, значительно уменьшается в объёме. Давление воздуха измеряют с помощью манометров, показывающих избыточное давление, т.е. давление над атмосферным. Сумма избыточного и атмосферного давлений называется «абсолютным давлением».

В обычных земных условиях на человека воздух давит равномерно со всех сторон, если поверхность тела человека составляет 1.7-1.8 м $^2$ , то сила давления на него составляет 1.7-1.8 тыс. МПа. Притом человек этого не ощущает, потому что тело его на 70% состоит из жидкости, практически несжимаемой, а во внутренних органах давление уравнивается противодавлением воздуха, которым человек дышит. При земном давлении возникают болезненные ощущения, присущи водолазам, лётчикам, альпинистам.

Воздух, как и другие реальные газы и газовые смеси подсчитываются по известным законам, выведенным для реальных газов. Какое-либо количество газа или газовой смеси характеризуется четырьмя величинами: объёмом(V), давлением(P), температурой(T) и массой(M). Все эти величины находятся в постоянной связи, которая обозначена газовыми законами.

Зависимость давления воздуха от его объёма установлена известным в физике законом Бойля-Мариота:

$$P \cdot V = \text{Const}, \quad (1,2)$$

где P- абсолютное давление; V- объём газа.

Пользуясь этой формулой, вычисляют запас воздуха (кислорода) в баллонах воздушных или кислородных противогазов.

Пример. Избыточное давление воздуха в воздушных баллонах объёмом по 5 л. каждый составляет 20 МПа. Вычислить объём, который будет занимать этот воздух при нормальном давлении.

$$P_1 = 20 \text{ МПа};$$

$$P_2 = 0.1 \text{ МПа};$$

$$V_0 = 5 \text{ л.}; \quad k = 2$$

На практике проходится считать изменения объёма, давления при разнообразных температурах. Эта зависимость объёма и давления воздуха от его температуры исчисляется законами Гей-Люссака и Шарля. Законы могут быть выражены двумя формулами:

$$V_1/T_1 = V_2/T_2 \text{ когда } P = \text{Const} \quad (1.3)$$

и

$$P_1/P_2 = P_2/T_2 \text{ когда } V = \text{Const}. \quad (1.4)$$

При расчёте абсолютной температуры газа необходимо к величине 273 градуса прибавить температуру в градусах Цельсия. Например, при температуре воздуха 20 градусов Цельсия его абсолютная температура будет равна 293 градуса Кельвина.

Разнообразные газы, входящие в состав воздуха, по разному действуют при повышении давления на организм человека. Поэтому для того, чтобы рассмотреть действие на человека какого-то газа под давлением, необходимо знать парциальное давление этого газа, то есть часть общего давления, который перепадает на этот газ.

Следовательно, по закону Дальтона, общее атмосферное давление составляет:

$$P_{\text{атм.}} = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{CO_2} + \dots P_n, \quad (1.5)$$

где  $P_{\text{атм.}}$  – атмосферное давление, МПа;

$P_{N_2}, P_{O_2}, P_{CO_2}, \dots P_n$  – парциальное давление азота, кислорода, углекислого газа и других газов, которые входят в состав воздуха, МПа.

Из формулы (1.5) видно, что атмосферное давление равно сумме парциальных давлений газов, входящих в состав воздуха.

Величина парциального давления газа, входящего в состав воздуха, высчитывается по формуле:

$$P_i = \frac{P_{\text{атм.}} * n_i}{100}, \quad (1.6)$$

где  $n_i$  – процентный состав  $i$ -го газа, входящего в атмосферный воздух, %.

В сжатом воздухе процентный состав газов, входящих в состав воздуха, остается неизменным, но парциальное давление каждого газа (кислорода, азота, углекислого газа, и др.) увеличивается ровно во столько раз, во сколько повышено общее давление.

Например, на поверхности парциальное давление кислорода составляет

$$P_{O_2} = \frac{0.1 * 21}{100} = 0.021 \text{ МПа}$$

При избыточном давлении 0.2 МПа (2 кгс/см<sup>2</sup>) парциальное давление уже будет составлять,

$$\text{учитывая: } P_{\text{абс}} = P_{\text{зб}} + P_{\text{атм}} = 0,2 + 0,1 = 0,3 (\text{кгс} / \text{см}^2),$$

$$P_{O_2} = (0,3 * 21) * 100 = 0,063 \text{ МПа} (0,63 \text{ кгс} / \text{см}^2).$$

Физиология для того или иного газа обозначается не относительным процентным составом газа в смеси, а (как это было показано в табл. 1.1) величиной его парциального давления. Это подтверждается таким примером. Если человек будет дышать на поверхности земли воздухом, в котором содержится 7.0 % кислорода, он быстро устанет и погибнет от нехватки кислорода, потому что парциальное давление в данном случае будет составлять только 7 кПа (0.07 кгс/см<sup>2</sup>). Если человек будет вдыхать этот же воздух при абсолютном давлении 0,3 МПа (3 кгс/см<sup>2</sup>) при глубине погружения 20 м, он будет ощущать себя хорошо, потому что в этом случае парциальное давление кислорода увеличится в три раза и станет равным 7\*3=21 кПа (0.21 кгс/см<sup>2</sup>). То есть таким же, как и на поверхности земли.

Известно, что граничная величина парциального давления кислорода, вызывающего отравление организма, составляет 0,28 МПа (2,8 кгс/см<sup>2</sup>). Это приводит к тому, что при погружении в кислородных изолирующих противогазах под воду с содержанием в смеси около 90% кислорода, подобное давление наступает уже на глубине около 20 м, поскольку  $0,9 \cdot 0,3 = 0,27$  МПа (2,7 кгс/см<sup>2</sup>).

Поэтому, чтобы избежать кислородного отравления, погружение в кислородных изолирующих противогазах под воду не допускается.

Наибольшую часть земной атмосферы составляет азот. В обычных условиях он является нейтральным газом, не принимающим участия в обмене веществ. По сравнению с другими газами, входящими в состав воздуха, азот имеет повышенную растворимость в крови и тканях человеческого организма. Азот – газ без цвета, запаха и вкуса, он не горит и не поддерживает горение, немного легче воздуха, его масса составляет 1,25 кг/м<sup>3</sup>.

При нормальном давлении это безвредный газ, но при парциальном давлении около 0,55 МПа (5,5 кгс/см<sup>2</sup>) он вызывает наркотическое действие. Кстати при повышении давления возрастает парциальное давление и других опасных примесей в воздухе (углекислого газа и т.д.), в последствии чего увеличивается их токсическое действие. Кроме наркотического действия азота и отравляющего действия кислорода и углекислого газа, пребывание под повышенным давлением причиняет организму насыщение газами, растворяющимися в тканях и крови.

Необходимо отметить, что растворение каждого газа осуществляется не зависимо от растворения от других газов. При нормальном давлении в организме человека массой 70 кг. растворено около одного литра азота. При вдыхании газовой смеси, обогащенной кислородом, осуществляется «вымывание» этого азота из организма человека. При повышении давления способность тканей организма растворять газы увеличивается пропорционально давлению. Количество газа, которое может раствориться в жидкости, зависит от величины парциального давления, времени пребывания под давлением и объема легочной вентиляции. При физической нагрузке частота и глубина дыхания, а также скорость кровотока увеличивается, поэтому насыщение организма газами находится в прямой зависимости от интенсивности физической нагрузки.

При быстром снижении давления, растворенный в тканях газ начинает образовываться в пузырьки. Током крови они могут разноситься по всему телу, вызывая закупорку кровеносных сосудов, что приводит к кессонной болезни.

Состав азота в выдыхаемом воздухе при выполнении работы средней тяжести увеличивается приблизительно на 0,4 %, что соответствует 0,12 л/мин. Этот азот выделяется из организма во время окисления и вида изменения белков. То есть происходит процесс «вымывания» азота из организма человека. Во время использования изолирующего противогаза, азот накапливается в системе противогаза, вследствие чего процентный состав кислорода опасно уменьшается. То есть необходимо использовать средство выделения азота из системы аппарата для исключения азотирования противогаза.

Существенно действуют на организм человека пары, содержащиеся в воздухе, количество которых может колебаться до 4 %. Чем выше температура воздуха, тем больше в нем водяного пара. Нормальным для дыхания человека считается воздух, в котором состав водяного пара не превышает 1,5-2,5 %.

Кислород – основной газ, принимающий участие, в процессе, который осуществляется в живом организме. Без кислорода жизнь человека не возможна. Внезапный перерыв в обеспечении организма кислородом или даже уменьшение его поступления к тканям вызывает кислородное голодание. Такое заболевание может наступить, если состав кислорода во вдыхаемом воздухе будет менее 16 % при нормальном атмосферном давлении. Влияние кислорода на организм человека приведено в таблице 1.3.



**Таблица 1.3 – Влияние кислорода на организм человека.**

Количество кислорода в воздухе, %	Состояние организма
16-17	Слабость, отдышка, учащение сердцебиение
11-13	Явная сердечная недостаточность, повышение частоты пульса и дыхания
10,0	Потеря сознания
7-8	Может наступить смерть

Граничное значение парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе, ниже которого в организме человека происходят функциональные расстройства, составляет 13 кПа (97,5 мм. рт. ст.), что соответствует его составу во вдыхаемом воздухе около 13 % при нормальном атмосферном давлении.

Первая помощь при кислородном голодании – вынести пострадавшего на свежий воздух. Если его дыхание остановилось, необходимо сделать искусственное дыхание и вызвать доктора. После оказания помощи пострадавший быстро приходит в нормальное состояние.

Концентрация кислорода в воздухе понижается по нескольким причинам. При пожарах в помещениях с плохим притоком воздуха кислород используется на горение (см. табл. 1.4). в этом случае его концентрация может снизиться до опасного значения. Кроме того, возможны случаи вытеснения воздуха дымом, например, при пожарах в метро, туннелях, подвалах и т. д..

**Таблица 1.4 – Изменения состава воздуха на пожаре.**

Местовзятие проб	Состав в % (при объёме)		
	СО	СО <sub>2</sub>	О <sub>2</sub>
Пожары в подвалах	0,04-0,65	0,1-3,4	17,0-20,0
Пожары чердаков	0,01-0,2	0,1-2,7	17,7-20,7
Пожары на этажах	0,01-0,4	0,3-10,1	9,9-20,8
Исследование дымами	0,20-1,1	0,5-8,4	10,8-20,0

Кислород – газ без цвета и запаха, тяжелее, чем воздух (\_\_\_\_\_ 1,43 кг/м<sup>3</sup>). Кислород не горит но поддерживает горение. Для дыхания в кислородных изолирующих противогазах используется чистый медицинский кислород с анализом, подтверждающим, что его состав не менее 99,5 %.

В системе регенеративного дыхательного аппарата состав кислорода, как правило, более 60%. Научные исследования и многолетняя практика показали, что вдыхание воздуха, имеющее в своем составе повышенное содержание кислорода, при атмосферном давлении в основном безопасно для человека и не отражается на его здоровье. В этом случае парциальное давление менее граничного уровня 0,28 МПа (2,8 кгс/см<sup>2</sup>). При этом дыхание чистым кислородом в атмосферных условиях на протяжении 3 суток приводит к развитию воспалительных процессов в легких человека.

У здоровых людей в возрасте 20-45 лет, если они дышат чистым кислородом более 7 часов, появляется отдышка и другие признаки ухудшения состояния. Поэтому количество включений в регенеративный дыхательный аппарат без крайней необходимости должно быть ограничено. Пребывание в аппарате более 4 часов недопустимо и может быть разрешено только в случае крайней необходимости (спасение пострадавших и т.д.) особы, отработавшие в регенеративных дыхательных аппаратах одну смену, могут привлекаться к работе в

противогазе не ранее чем через 8 часов.

К поступкам, ведущим к возникновению кислородного отравления относятся: повышенное содержание во вдыхаемом воздухе углекислого газа, тяжелой физической работы, переохлаждения и перегрев организма.

В состав атмосферного воздуха входит (см табл. 1.2) и углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) – газ без цвета, запаха, со слабым кислым вкусом, легче кислорода. Причиной повышения количества углекислого газа на пожаре могут быть процессы взрыва, результаты окисления древесины и угля. Кроме этого, углекислый газ при тушении подают на изолированные пожарные участки. Если в воздухе содержится до 3 процентов углекислого газа, то он стимулирует дыхание. Так в спокойном состоянии повышение содержания  $\text{CO}_2$  в альвеолярном воздухе на 0,01 % вызывает повышение альвеолярной вентиляции на 5%. При дыхании воздухом содержащим 6%  $\text{CO}_2$ , появляется отдышка и слабость при 10% возможно полусознательное состояние, при 20-25 % - смертельное отравление.

Источником углекислого газа в газовоздушной смеси, которую вдыхает газодымозащитник из изолирующего противогаза, является опасный простор самого аппарата (на протяжении всего времени работы в нем) и неполное поглощение выдыхаемого углекислого газа в регенеративном патроне кислородного изолирующего противогаза.

Установлено, что во время много часовой работы в регенеративных дыхательных аппаратах среднее содержание  $\text{CO}_2$  во вдыхаемой смеси не должен превышать 0,25%, а максимальный - 1%.

### 1.3 продукты горения и их влияние на организм человека.

Горение является процессом окисления, в результате которого выделяются тепло и продукты сгорания, встречающиеся в виде дыма.

При полном сгорании органических веществ выделяется, как правило, углекислый газ и вода. При неполном сгорании (осуществившегося при недостатке кислорода), кроме углекислого газа и паров воды, выделяются и другие соединения типа оксида углерода ( $\text{CO}$ ), сложных органических веществ (спиртов, кетонов, альдегидов, кислот и др.).

Дым представляет собой дисперсную систему, состоящую из мелких несгоревших твердых, жидких, или газообразных частей вещества которое горит величиной не менее 0,1 мкм, находящихся в зависимом состоянии. Дым способный адсорбировать на своей поверхности не только газы но и пары жидкости: при этом он усложняет видимость и удушающее действует на органы дыхания человека. Дым имеет большую стойкость. Это объясняется тем, что частицы дыма, вследствие трения между собой, несут на себе электрические заряды.

Особенности дымовых продуктов и степень задымления много в чем зависят от температуры дыма. При повышении температуры увеличивается токсичность дымовых газов и уменьшается их средняя ----- . Дым, образовавшийся при пожаре в домах, может распространиться из помещения в помещение через прорези, щели и мелкие зазоры в конструкциях на и большая опасность задымления помещений создается в случае, если дымом заполнены лестничные клетки, коридоры вентиляционные каналы и шахты лифтов. Характеристика дыма зависит от вида продуктов, которые горят. Под цветом дыма можно определить основной вид материала, которые горят то имеют существенное значение при оценке обстановки на пожаре и организации её тушения. В условиях пожара продукту горения и теплового разложения входящее в состав дыма действует на организм человека комбинировано по этому их нее общая токсичность опасно для жизни даже при незначительных концентрациях. При значительных концентрациях продуктов горения в составе дыма понижается процентное содержание кислорода, что также опасно для жизни человека (табл. 1.4).

По характеру влияния на организм человека все химические вещества, входящие в

состав дыма, разделяют на пять групп:

- в первую группу входят вещества, имеющие ожоговое и поражающее действие на кожный покров и слизистые оболочки.

Последствия таких влияний – кашель, жжение, чесотка. Из веществ, входящих в состав дыма, к этой группе относятся: сернистый газ, пары многих органических соединений – продуктов не полного горения (муравьиной и уксусной кислот, формальдегида, паров дёгтя и т.д.).

- во вторую группу входят вещества, поражающие органы дыхания: хлор, аммиак, сернистый и серный ангидрид, хлорпикрин, оксиды азота, фосген и т. п.. Они вызывают нарушение дыхания, паралич дыхательных мышц, поражение органов дыхания. К таким нарушениям ведёт и увеличение концентрации в воздухе углекислого газа выше 8-10%. Вещества (хлор, аммиак, сернистый газ), растворимые в воде, а также и в слизи, поражают верхний отрезок дыхательных путей, покрытых слизью. Это приводит к развитию лоренгита, трахеита, бронхита. Газы, малорастворимые в воде (фосген, оксид азота), не задерживаются влажностью слизи верхних дыхательных путей и достигают альвеол. Они содействуют развитию пневмонии и усложнению всего заболевания- отёк лёгких, образование которого связано с задержкой тканевой жидкости в организме и застоем крови в лёгких. При отёке появляются одышка, кашель в тяжёлых случаях наступает смерть от удушья. Стоит учесть, что действие некоторых токсичных веществ (фосгена, мышьякового водорода) выявляется не сразу, а через определённый период (от 2 до 8-10 часов) от момента поступления в организм отравляющих веществ:

- в третью группу входят токсичные вещества, действующие в большинстве на кровь. К этой группе относятся: бензол и его производные- ксилол, толуол, amino- и нитросоединения, а также мышьяковый водород, свинец, оксид углерода и другие, которые при попадании в кровь вызывают поражение или гибель красных кровяных телец(эритроцитов), что приводит быстрому развитию выраженного малокровия, понижению доставки кислорода и кислородному голоданию;

- в четвёртую группу входят отравы, влияющие на нервную систему ( бензол и его составляющие, сероводород, сероуглерод, метиловый спирт, анилин, тетраэтилсвинец и др.);

- к пятой группе относятся ферменты или обменные отравы (синильная кислота, сероводород и др.), действующие на функцию дыхания. В результате ткани теряют возможность использовать кислород, доставленный кровью.

Большое количество отрав, входящих в состав всех этих групп, поступает в организм через органы дыхания, а поэтому при работе в очагах пожара является необходимостью в надёжной от них защите. При наступлении влияния на организм человека все опасные вещества подразделяются на 4 класса опасности(см. табл. 1.5.):

1- й – вещества особенно опасные;

2- й - вещества высокоопасные;

3- й - вещества умеренноопасные;

4- й - вещества малоопасные;

**Таблица 1.5.- Классы опасности веществ**

Показатели	Нормы для класса опасности			
	1	2	3	4
Предельно допустимые концентрации(ГДК) опасных веществ	Менее 0.1	0.1-1.0 (оксид азота)	1.1-10	более 10
Средняя смертельная доза	Менее 15.0	15-150	151-5000	Более 5000

при введении в желудок				
То же самое при нанесении на кожу	Менее 100	100-500	501-2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/кг	Более 500	500-5000	5001-50000	Более 50000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	Более 300	300-30	29-3	Менее 3

В соответствии с нормами, выполнение которых обеспечивает безопасную работу, опасные продукты горения в воздухе, которым дышит газодымозащитник, не должны превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), которые приведены в табл. 1.6.

**Таблица 1.6.- предельно допустимые концентрации опасных продуктов горения**

Газ	ПДК		Максимальный состав во время пожара	
	Мг/м <sup>3</sup>	% при объёме	%при объёме	К <sub>тн</sub>
Оксид углерода (CO <sub>2</sub> )	30	2.61*10 <sup>-3</sup>	10	3.83*10 <sup>-3</sup>
Сернистый газ (SO <sub>2</sub> )	10	0.37*10 <sup>-3</sup>	1	2.70*10 <sup>-3</sup>
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	10	0.71*10 <sup>-3</sup>	1	1.41*10 <sup>-3</sup>
Оксид азота(в расчёте на )	5	0.26*10 <sup>-3</sup>	1	3.85*10 <sup>-3</sup>

ПДК опасных веществ – это их концентрация, которая при постоянной работе на протяжении всего трудового стажа не способна вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья работающего. Во время кратковременного эпизодического дыхания воздухом, содержащим опасные вещества, их концентрации могут быть иногда более высокими. Повышенный ПДК (в полтора раза ) может быть только при кратковременном(не более 4 часов) воздействия воздуха с примесями оксида углерода.

В следствии пожара, состав опасных веществ в воздухе может повыситься в сотни и тысячи раз по отношению к ПДК, в результате чего атмосфера становится не только непригодной, но и опасной для жизни людей с незащищенными органами дыхания, отношение фактической концентрации  $C_{шк}$  опасного газа и его ПДК:

$$K_{тн} = \frac{C_{шк}}{C_{гдк}} \quad (1.7.)$$

называют коэффициентом токсичной опасности среды.

При одновременном нахождении в воздухе нескольких опасных газов однонаправленного действия коэффициент токсичной опасности составляет сумму коэффициентов для других компонентов (все газы, приведены в табл. 1.6., имеют однонаправленное действие.)

На практике характеристику токсичной опасности среды, которая содержит смесь опасных газов, газов давать через эквивалентное содержание в ней оксида углерода. Для этого фактическую концентрацию каждого газа умножают на коэффициент, который получают от отделения ПДК оксида газа, который рассматривается, а потом находят сумму эквивалентных концентраций.

Во время пожаров наиболее опасным газом является оксид углерода (СО) – газ без цвета, вкуса и запаха. Легко соединяясь с гемоглобином крови (в 250-300 раз активнее чем кислород), оксид углерода уменьшает способность крови поглощать кислород, вызывая, в следствии этого кислородный голод организма (см. табл. 1.7.).

**Табл.1.7.- Токсичные концентрации оксида углерода**

Степень отравления	Время влияния газа	Объёмная концентрация СО при +10 °С, %
1-ый - слабые симптомы отравления	После нескольких часов	0,016
2-ой – слабое отравление	До одного часа	0,048
3-ий - тяжелое отравление	После 0,5-1 часа	0,128
4-ый – смертельно опасное отравление	После кратковременного влияния	0,4
Смерть	После нескольких вдохов	> 1

Сернистый газ (SO<sub>2</sub>) без цвета, имеет резкий вкус и запах, достаточно ядовит. образовывается в случаях, когда взрывчатые или горючие вещества содержат серу. Этот газ поражает дыхательные пути и глаза, образуя на их поверхности серную кислоту, в тяжелых случаях вызывает воспаление бронхов, отек гортани и легких. Объёмная концентрация уже в 0,05 % опасно для жизни даже при кратковременном дыхании.

Сероводород (H<sub>2</sub>S) – газ без цвета, со сладковатым вкусом и запахом. Образовывается как во время пожаров, так и в случаях гниение органических веществ. Очень ядовитый, действует поражая глаза и дыхательные пути. Смертельно опасно, даже при кратковременном влиянии, концентрация H<sub>2</sub>S, которая составляет 0,1 %.

Оксиды азота (NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – ядовитые красно бурые газы с резким запахом. Образовываются во время взрывов. Они поражают дыхательные пути и глаза, в следствии вызывает отёк лёгких. Смертельная концентрация оксидов азота при кратковременном дыхании- 0.025%.

В отдельных случаях состав опасных газов может превысить значения, приведённые в табл. 1.5. Так, например, во время изоляции подземных пожаров в пространстве за перегородкой состав оксида углерода может превышать 10%. Проведение, каких- либо работ в этом случае, как правило, воспрещается.

Состав кислорода в воздухе во время пожара также понижается,. Особенно это характерно для пожаров в закрытых помещениях, где он используется на окисление горючих материалов, но не поставляется. Искусственное уменьшение кислорода во время тушения может осуществляться генераторами инертного газа, впуском азота или углекислого газа.

Дыхание воздухом с пониженным содержанием кислорода приводит к неполному обогащению им крови в лёгочных капиллярах. Здоровым человеком при дыхании воздухом, который содержит 14-15% кислорода, субъективно не ощущается нехватка последнего, поскольку падение парциального давления кислорода в альвеолах компенсируется повышением лёгочной вентиляции. Дальнейшее уменьшение содержания кислорода

вызывает гипоксию (недостачу кислорода в крови), что приводит к кислородному голоданию. Предельное значение парциального давления кислорода в выдыхаемом воздухе, ниже которого в организме человека происходят функциональные расстройства, составляет 13 кПа, что соответствует содержанию кислорода в выдыхаемом воздухе около 13% при нормальном атмосферном давлении.

Признаками гипоксии являются: повышение частоты дыхания и пульса, понижение способности продуктивно мыслить, нарушение четкости в работе некоторых мышц. Главная опасность заключается в её субъективной бессимптомности. Человек при этом не ощущает угрожающим ему опасность и не предпринимает способов, для того чтобы заботиться о своем самочувствии.

Таким образом, необходимо обеспечить соответствующую защиту органов дыхания от проникновения в них продуктов горения, а также изолировать их.

#### **1.4 Количественные показатели, характеризующие процесс дыхания.**

Процесс дыхания характеризуется большим количеством разнообразных показателей, наиболее важными из которых является частота дыхания, жизненная ёмкость легких, легочная вентиляция, мертвый простор, газообмен легких человека, доза потребления кислорода.

Частота дыхания ( $f$ ) человека определяется человеком полных дыхательных движений (вдохов, выдохов), сделанным за единицу времени. Частота дыхания не является постоянной величиной и зависит от нескольких факторов. Она увеличивается с повышением нагрузки на человека и зависит от степени ее тренированности. При этом частота дыхания у нетренированного человека, в зависимости от физической нагрузки увеличивается в большей мере чем у тренированной. Кроме того, частота дыхания зависит от возраста и пола человека.

В зависимости от степени тяжести работ, которые выполняются в противогазах, все виды работ делятся на 4 группы: легкая, средняя, тяжелая, очень тяжелая. При конструировании и испытаниях изолирующих аппаратов исходят из таких показателей частоты дыхания:

- полный отдых – 15 дыхательных циклов в минуту;
- работа средней тяжести – 20 дыхательных циклов в минуту;
- тяжелая работа – 25 дыхательных циклов в минуту;
- очень тяжелая работа – 30 дыхательных циклов в минуту.

Одним из основных параметров, характеризующих вентиляционную функцию легких, является объем одного вдоха (выдоха) или дыхательный объем  $V_d$ . В спокойном состоянии человек вдыхает и выдыхает около 0,5 литра воздуха. С увеличением нагрузки дыхательный объем воздуха возрастает.

Человек в состоянии некоторое время изменять обычную частоту и глубину дыхания, останавливать дыхание и делать другие максимально возможные вдохи и выдохи. Максимальное количество воздуха, которое может поступить в легкие после обычного вдоха, называется дополнительным объемом вдоха  $V_{доп}$ . Для взрослого человека он составляет в среднем 1,5 литра. Максимальное количество воздуха после обычного выдоха называется резервным объемом выдоха  $V_{рез.}$  кроме этого, после максимального выдоха в легких человека остается еще 1-1,5 литра воздуха (так называемый остаточный воздух  $V_{ост.}$ ).

Сумма объемов дыхательного дополнительного и резервного воздуха называется жизненной ёмкостью легких (ЖЕЛ). ЖЕЛ показывает объем воздуха, который человек способен выдохнуть из легких после глубокого вдоха, и характеризует ее физическое развитие. При большем значении ЖЕЛ органы дыхания могут обеспечить выполнение более интенсивной и продолжительной физической работы. У нетренированного взрослого человека

ЖЕЛ (его вычисляют с помощью спирометра), в среднем составляет 3.5 л., у тренированного - около 5 (то есть дыхательный мешок регенеративного дыхательного аппарата не должен иметь вместимость менее 5 л.), но может быть и больше. Таким образом, изолирующий аппарат должен обеспечить вдох, который составляет ЖЕЛ. Это происходит за счёт запаса газовой смеси и подачи дополнительного количества воздуха лёгочным автоматом.

Превышение ЖЕЛ (6 л. и более) нежелательно для работы людей в регенеративных дыхательных аппаратах., потому что при этом противогаз должен иметь увеличенную полезную ёмкость дыхательного мешка, а также, соответственно, габариты и массу.

Наиболее важной характеристикой вентиляционной функции лёгких, которую используют в большинстве расчетов, связанных с эксплуатацией средств индивидуальной защиты органов дыхания, является лёгочная вентиляция  $\omega_{\text{л}}$ . Она определяется количеством воздуха, циркулирующим в лёгких за единицу времени. Поскольку это объёмное количество воздуха, которое на протяжении 1 минуты вдыхает человек, то лёгочная вентиляция будет равна результату умножения частоты дыхания  $f$  на дыхательный объём воздуха  $V_{\text{д}}$ .

$$\omega_{\text{л}} = f * V_{\text{д}} \quad (1.4)$$

В состоянии покоя взрослый человек делает 15-18 дыхательных движений (циклов) в минуту, дыхательный объём (или глубина дыхания) в этом случае составляет около 0.5 л., а лёгочная вентиляция, соответственно, 7-9 л/мин. При физической нагрузке, которая сопровождается ускорением окислительных процессов в тканях и повышением их нужды в кислороде, показатели всех трёх параметров увеличиваются. Очень тяжелая физическая нагрузка характеризуется частотой дыхания до 40-45 мин<sup>-1</sup>, глубиной 3,5-4 л. и легочной вентиляцией до 150 л/мин (последний показатель, кстати, обуславливает тактико-технические требования к легочным автоматам резервуарный и регенеративных аппаратов).

В это же время, по нормам Системы стандартов безопасности труда (ССБТ) легочная вентиляция во время работы в СИЗОД принимается:

- полное спокойствие – 12,0 л/мин;
- работа средней тяжести – 30,0 л/мин;
- тяжелая работа – 60,0 л/мин;
- очень тяжелая работа – 84,0 л/мин.

Некоторое расхождение с приведенным ранее объясняется особенностями дыхания и работы в аппаратах. Так, даже при пребывании в аппарате в состоянии полного покоя увеличивается частота дыхания, а очень большая физическая нагрузка не может осуществляться на протяжении времени, которое превышает несколько минут. То есть очень тяжелая работа представляет собой чередование очень большой физической нагрузки и нагрузки среднего уровня.

Увеличение вентиляции легких осуществляется как за счет увеличения частоты дыхания, так и за счет увеличения глубины дыхания. При этом, необходимо учитывать, что при не значительном увеличении числа вдохов можно целиком использовать ЖЕЛ. При большем увеличении частоты дыхания возможность использования ЖЕЛ уменьшается. Отсюда исходят две важные особенности, которые необходимо учитывать при работе в изолирующих аппаратах.

Во-первых, для этой работы необходимо выбирать особ, которые хорошо подготовлены в физическом плане и имеют маленькую частоту дыхания. Чрезмерное увеличение вентиляции легких во время работы в аппаратах не желательно. По этому во время работы СИЗОД необходимо следить за частотой дыхания и при значительном её увеличении делать паузы в работе для того, чтобы снизить размеры легочной вентиляции.

Во-вторых, в основу при обозначении времени работы в СИЗОД принимается

показатель легочной вентиляции  $\omega_l$ . В расчетах времени работы газодымозащитников в РДА принимается, что они выполняют работу средней тяжести, чередуя тяжелую или очень тяжелую работу, если такая имеет место, с отдыхом. То есть  $\omega_l = 30$  л/мин. Работа в АСВ, которые имеют большой вес и меньшее время защитного действия, чем регенеративные, представляет собой чередование тяжелой работы с работой средней тяжести. При этом значении легочной вентиляции принимается  $\omega_l = 40$  л/мин.

Мертвая зона определяется объёмом воздуха, который не принимает участие в процессе газообмена. Мертвая зона состоит из мертвых зон человека и непосредственно аппарата. Мертвая зона человека равна сумме объёма воздуха, которая остается в носоглотке, гортани, трахеи, бронхах и бронхиолах при вдохе. Объём мертвой зоны у взрослого человека довольно большой и составляет в среднем 140 мл. каждый аппарат имеет свою мертвую зону. По требованиям ССБТ объем мертвой зоны противогаза не должен превышать во время использования дыхательной маски 200 мл.

Поскольку воздух, не принимающий участие в процессе газообмена, содержит мало кислорода и в значительной мере испорчен углекислым газом, он опасно отражается на процессе дыхания. По этому мертвую зону иногда называют опасной зоной.

Процесс газообмена легких человека который обозначается составом вдыхаемого и выдыхаемого воздуха, было рассмотрено в разделе 1.1.

Важной характеристикой, особенно во время рассмотрения РДА, является доза  $q$  поглощения кислорода, которая обозначается поглощением кислорода  $\omega_s$ , который поглощает человек из воздуха. Количество обозначается как результат умножения легочной вентиляции на долю забора кислорода  $S_0$  человеком в процессе дыхания ( $S_0$  еще называют коэффициентом забора кислорода из дыхательной смеси):

$$g = \omega_s = \omega_l \cdot S_0 \quad (1.5)$$

Поглощение кислорода является производной от частоты сердечных сокращений у особ, которая выполняет работу, и характеризуется данными, приведенными в табл. 1.8. Для газодымозащитников которые работают в регенеративных дыхательных аппаратах, дозы поглощения воздуха оценивается в среднем, как при выполнении работы средней тяжести. По этому для таких аппаратов защиты постоянная подача, которая равна дозе поглощения кислорода

$$q = \omega_l \cdot (S_{вд02} - S_{выд02}) = 30 \cdot 0,0455 = 1,365 [л / мин], \quad (1.6)$$

где,  $S_{вд02} \approx 0,2095$  – доля кислорода во вдыхаемом воздухе;

$S_{выд02} \approx 0,164$  – доля кислорода в выдыхаемом воздухе;

принимается в пределах  $1,4 \pm 0,2$  л/ мин.

**Табл. 1.8.- Доза потребления кислорода человеком**

Степень тяжести работы	Потребление $O_2$ , л/мин.	Частота сердечных колебаний	Дыхательный коэффициент, $K_d$	Энергозатраты, Вт
Лёгкая(2режим)	До 1,0 (0,47)	85-100	0,85	164
Средняя (5 режим)	1,0-1,5(1,14)	100-125	0,88	398



Тяжелая(10 режим)	1,5-2,0(2,22)	125-150	0,9	775,6
Очень тяжелая (15 режим)	Более 2,0(3,16)	150-170	0,95	1103

Примечание: значения, приведённые в скобках, указаны по требованиям системы стандартов безопасности труда(ССБТ) при соответствующем режиме.

Оценки некоторых видов работ, связанных с перемещением газодымозащитников и разными степенями тяжести приведено в таблице 1.9.

**Таблица 1.9- Оценка по степени тяжести некоторых видов работ и занятий.**

Вид работ и занятий	Скорость передвижения, м/мин.	Потребление кислорода, л/мин.	Частота сердечных сокращений, удар/мин.	Степень тяжести
Свободная ходьба	50 - 60	$1,1 \pm 0,04$	$102 \pm 5,5$	Средняя
Свободный бег	110 -120	$1,74 \pm 0,06$	$125 \pm 3,1$	Тяжелая
Спуск по лестничной клетке	9 -11	$1,53 \pm 0,11$	$127 \pm 3,8$	Тяжелая
Спуск по лестничной клетке	10 - 12	$0,9 \pm 0,03$	$90 \pm 3,8$	Лёгкая
Спуск по вертикальной лестнице	10	$2,35 \pm 0,1$	$152 \pm 8,4$	Очень тяжелый
Спуск по вертикальной лестнице	12	$1,26 \pm 0,07$	$118 \pm 9,3$	Средняя
Ползки на четвереньках	18 - 20	$1,32 \pm 0,07$	$103 \pm 5,8$	Средняя
Передвижение по узкому лазу	6 - 8	$1,65 \pm 0,06$	$129 \pm 1,4$	Тяжёлая
Переноска пострадавшего двумя пожарными	30 - 40	$1,54 \pm 0,09$	$125 \pm 5,2$	Средняя
Спуск по лестничной клетке с потерпевшим	6 - 7	$1,67 \pm 0,14$	$131 \pm 5,1$	Тяжелая
Спуск по лестничной клетке с грузом 30 кг	6 - 7	$1,16 \pm 0,09$	$107 \pm 8,7$	Средняя
Передвижение со	4,5 - 5,0	$1,87 \pm 0,11$	$135 \pm 0,7$	Тяжелая

стволом под давлением воды				
Проведение разведки		$1,25 \pm 0,05$	$120 \pm 3,4$	средняя

## 2. общие сведения о средствах защиты органов дыхания.

### 2.1 средства защиты человека от окружающей среды.

Необходимость защиты органов дыхания человека от неблагоприятного влияния внешней среды существует в разнообразных областях народного хозяйства.

Горноспасательных и пожарных делах применяются для работы в непригодной для дыхания атмосфере разнообразные дыхательные аппараты, предназначенные для работы человека в атмосфере зараженной ядовитыми веществами высоких концентрациях или такой, которая содержит недостаточное количество кислорода. Другие типы дыхательных аппаратов применяются так же в водолазном деле в качестве так называемых легких водолазных устройств. Применяются они и в медицине для кислородной терапии, главным образом, для ликвидации приступов удушья. Большое применение такие аппараты имеют в авиации для обеспечения нормального дыхания экипажей самолетов, в космической и в подводной технике, других областях народного хозяйства.

Функциями полной системы жизнеобеспечения является образование искусственной газовой среды для нормального дыхания, оптимальных или допустимых условий микроклимата, обеспечение едой и водой а так же ----- продуктов жизнедеятельности. В практической деятельности человека, когда он находится в неблагоприятных условиях окружающей среды на протяжении рабочей смены или её части, используется неполная система жизнеобеспечения, которой служит только для коллективного или индивидуального обеспечения дыхания, или, по принятой терминологии для защиты органов дыхания.

Именно такие аппараты используются особым составом пожарной охраны для выполнения боевой работы в непригодной для дыхания среде. В тоже время каждый погашенный пожар с использованием аппаратов защиты органов дыхания является своего рода испытанием для газодымозащитников, потому что требует от особенного состава мобилизации всех сил, знаний, осведомлений достигает возможность проверить качество подготовки к работе в таких условиях. Одной из основных в общем комплексе специальных служб пожарной охраны является газодымозащитная служба, основными задачами являются:

- спасение людей;
- проведение разведки и тушение пожаров в непригодной для дыхания среде;
- эвакуация материальных ценностей;
- создание нормальных условий, обеспечивающих безопасную работу особенного состава подразделений пожарной охраны и аварийно- спасательных бригад.

В последнее время резко изменились условия работы газодымозащитников. По мимо того, современных условиях развития в разнообразных областях народного хозяйства всё больше используется новые и, временами, особенно опасные вещества и материалы, особенно синтетические и полимерные, при горении которых выделяются токсичные и другие опасные для жизни людей газы, резко возрастает энергооснащенность производства, усложняются технологические процессы. Всё это влияет на время развития и локализации пожара. Так, в 22% всех потушенных пожаров от подачи стволов до момента локализации проходит до 30 минут, а 27% - от 30 минут до одного часа.

Концентрация отравляющих веществ первой минуты выше критической в 12-100 раз. Среднеобъемная температура в первые 5-6 минут пожара может достигать 140-1600 °С

(безопасной для человека температурой является температура равная  $60^{\circ}\text{C}$ ). Скорость развития дыма и отравляющих веществ может достигать до 20 м/мин. по вертикали. По этой причине ежегодно в мире гибнет около 16 человек на 1 млн. населения от дыма и газов при пожарах, причем этот размер имеет тенденции к дальнейшему возрастанию. Уже сегодня число жертв в Швеции, Франции, США и ряде других стран достигает 20-27 человек на 1 млн. населения. В Украине этот показатель в 1999 году превысил 40 человек на 1 млн. населения.

Аппараты защиты, которые используются в пожарной охране, имеют достаточное время защитного действия. При умелом их использовании несчастные случаи исключаются, но, вследствие того, что большинство вредных дымов и газов, образующихся на пожаре, проникают в организм человека через органы дыхания, первоочередное внимание уделяется использованию соответствующих средств защиты дыхательных органов от проникновения в них отравляющих продуктов горения.

Все средства, используемые для защиты человека от дыма и токсичных газов, подразделяются на групповые и индивидуальные.

Групповая защита осуществляется путем понижения концентрации дыма и газов в помещении. Её осуществляют таким образом:

- аэрацией, то есть путем проветривания помещений с помощью открытия дверей, окон или \_\_\_\_\_ конструкций;
- применением стационарных средств защиты, то есть использованием промышленных вентиляционных установок, газохранилищ и др.;
- применением переносных (передвижных) средств защиты, то есть использованием дымососов, автомобилей дымоудаления в комплексе с \_\_\_\_\_ и др.

Недостатком данных средств является то, что природной вентиляцией не всегда достигается необходимая интенсивность удаления дыма. Промышленная вентиляция так же не всегда эффективна, потому что не везде достаточное количество сооружений для необходимого притока воздуха. Более эффективными в создании достаточной кратности воздухообмена являются дымососы и автомобили дымоудаления, обеспечивающие нормальную концентрацию кислорода в помещениях и понижение количества опасных веществ до безопасных концентраций.

Но стоит принимать, что при использовании данных средств защиты не всегда обеспечиваются полагаемый эффект (при интенсивном выделении дыма или газов), а в некоторых случаях поступление свежего воздуха в горящее помещение, может способствовать усилению горения.

В некоторых случаях при притоке свежего воздуха в помещения, в которых происходит процесс неполного сгорания веществ, возможно образование взрывоопасных концентраций с последующим взрывом их смесей (сауны и т. д.).

На практике находит применение способ групповой защиты методом осаждения дыма и опасных газов что осуществляется путем применения:

- мелкодисперсной воды, получаемый через тонко распыляющие стволы, работающие от насосов высокого давления (применяются для газов, растворенных в воде);
- распыленного абсорбента, способного поглощать из объема помещений опасные газы и пары, уменьшая их концентрацию до безопасных размеров;
- электрическое поле позволяющее вытеснять из помещения заряженные частицы дыма с адсорбированными его поверхности опасными веществами.

Область применения групповых средств защиты определяется объективными критериями, большинство из которых не отображает таких специфических признаков боевой работы пожарных, как автономное и самостоятельное решение ими посторонних подзадач в рамках достижения общей цели, которая может возникнуть перед соответствующим

подразделением (караулом, отделением, звеном).

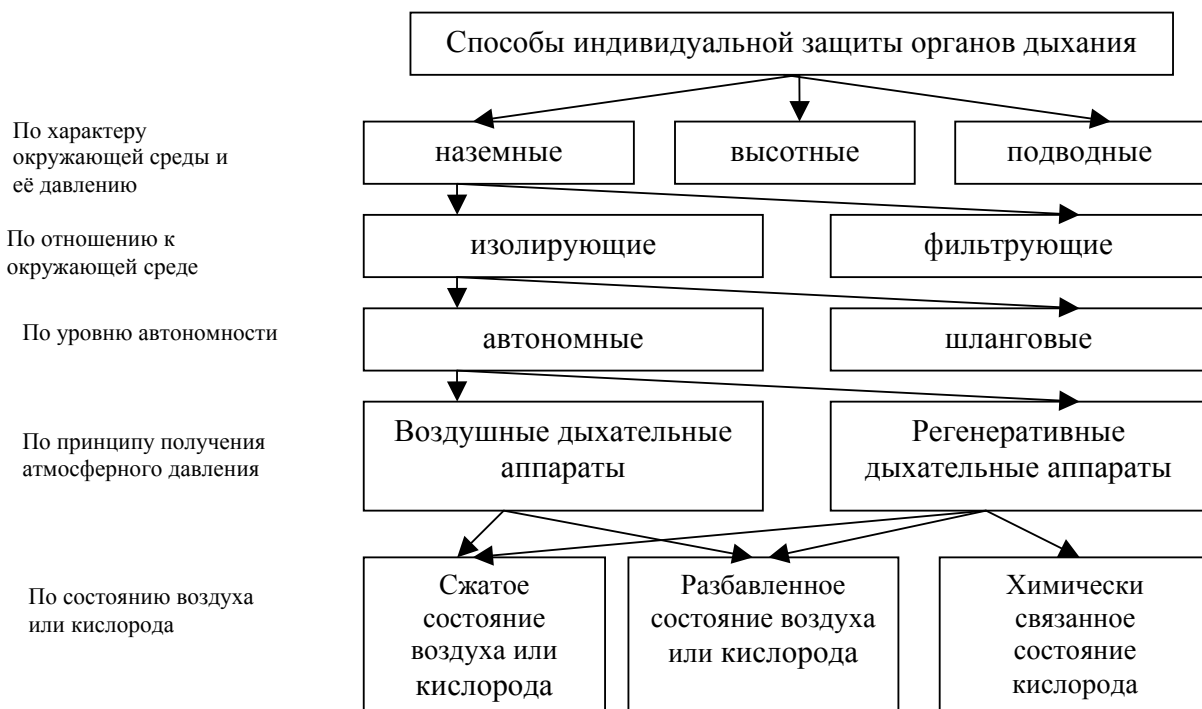
Данные исследования свидетельствуют о том что в расчете на 1000 человек которые погибли во время пожаров на промышленных объектах, опасные факторы подразделяются таким образом: открытый огонь, повышенная температура окружающей среды, предметов – 26.1 %, токсичные продукты горения, дым и пониженная концентрация кислорода – 66.1 %, части упавших конструкций и агрегатов, опасные факторы взрыва – 5.9 %. При этом количество пострадавших ( травмированных) от влияния опасных факторов пожара в 3 – 5 раз больше.

В это же время при строгом соблюдении правил техники безопасности при работе на пожарах в изолирующих аппаратах несчастные случаи с особнным составом пожарных подразделений могут быть целиком исключены, поскольку могут иметь место в результате:

- нарушение требований правил техники безопасности во время работы в изолирующих аппаратах (включение в аппарат без боевой проверки, выключение из аппаратов не на свежем воздухе, работа в аппаратах защиты не в составе звена и др.);
- халатного отношения к обслуживанию аппаратов (не в своевременное и некачественное проведение проверок и регулирования);
- не знание конструкции использования аппарата и не умение пользоваться им (неумение распознать признак, причину и способ устранения неисправности, возникшей во время работы).

## 2.2 Классификация и принцип действия средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Газодымозащитные аппараты индивидуального использования приобрели общее название «средства индивидуальной защиты органов дыхания». СИЗОД по своим предназначениям принципам действия и техническим данным разнообразны. Можно выделить пять основных значений деления СИЗОД (см. рис. 2.1).



По характеру окружающей среды (газ или жидкость) и по его давлению СИЗОД разделяют на наземные, высотные, подводные. Наземные дыхательные аппараты используются на поверхности и под землей при нормальном атмосферном давлении с не большим его отклонением от среднего уровня (обычный диапазон принимают равным 70 – 125 кПа). Высотные используют в основном в авиации (минимальное давление, если для дыхания подается кислород без примесей, составляет 7 кПа). Подводные дыхательные аппараты используют в основном для водолазных работ. Максимальная глубина погружения под воду, по условиям дыхания специальными кислородно-гелиевыми смесями, на данный момент превышает 300 м.

Общий принцип – защита органов дыхания от проникновения в них отравляющих продуктов горения.

Изолирующие дыхательные аппараты изолируют органы дыхания человека от окружающей среды и обеспечивает дыхание чистым воздухом или воздушно - кислородной смесью из самого аппарата. Вследствие этого дыхание с помощью изолирующих СИЗОД универсальна и не зависит от газового состояния окружающей среды.

В отличие от изолирующих СИЗОД, человек, включивший в фильтрующий дыхательный аппарат, дышит окружающим воздухом, который отчищается в патроне фильтрующего аппарата от опасного газа, группы газов или аэрозолей. Используемые по методу фильтрации аппараты называются «респираторами» (от лат. Respiratio – дыхание). Они фильтруют вдыхаемый воздух от радиоактивных и отравляющих веществ, пыли, бактериальных средств.

Первый фильтрующий противогаз был разработан академиком М.Д. Зелинским. Противогазы работающие таким образом, начали выпускать в 1914 году для российской армии для защиты особых составов от отравляющих веществ.

Принцип действия фильтрующих противогазов состоит в том, что загрязненный примесями воздух проходит через фильтр, в котором отчищается от примесей, и в отчищенном виде поступает в органы дыхания человека.

В зависимости от назначения, данные СИЗОД подразделяются на:

- противопыльные (ФП) – фильтруют воздух от разнообразных аэрозолей (дыма, тумана, пыли);
- противогазовые (ФГ) – в них воздух фильтруется от паров – и газообразных отравляющих веществ;
- газопылезащитные фильтрующие противогазы (ФГП) – воздух отчищается от газов, паров, и аэрозолей разнообразных веществ.

Если содержание опасной примеси в воздухе слишком велико в воздухе или фильтрующий патрон не рассчитан на поглощение данного газа, или в воздухе не достаточное количество кислорода, фильтрующие СИЗОД не пригодны для защиты дыхания.

Какой либо противопыльный респиратор состоит из фильтра для отчистки загрязненного воздуха лицевой части, с помощью которого этот фильтр подключается к органам дыхания. Они могут быть разнообразными по своей конструкции и форме, в зависимости от типа респиратора. Примером таких аппаратов служит респиратор ПРШ-741. Элементом фильтрующего респиратора является материал ФПП («фильтр Петрова» из перхлорвинила) благодаря большой площади фильтра, респиратор характеризуется большой пылеемкостью. В промышленности используется так же и некоторые другие типы противопыльных респираторов: У-2К; ШБ-1 «Лепесток»; «Кама»; «Снежок-П»; «Астра-2»; Ф-62Ш; РПА-1 и др.

В современных высокоэффективных противопыльных респираторах фильтрация

воздуха от аэрозолей представляет собой непростое отсеивание частиц пористой перегородкой типа «решето», а является сложным процессом осаждения частиц на волокна, фильтрующего материала.

Противогазовые СИЗОД защищают органы дыхания человека от разнообразных опасных веществ в виде паров и газов, а газопылезащитные используются для одноразовой защиты от аэрозолей и газов. Основным конструкционным узлом этих СИЗОД является фильтрующий элемент, способный поглощать, в первом случае, парогазовые вещества, а во втором случае – газы и аэродисперсные смеси. Поглощение газов и паров осуществляется за счет физико-химических процессов (адсорбции, абсорбции, хемосорбции, катализа и др.), которые осуществляются в фильтрующем элементе. В качестве адсорбентов используют природные или искусственные тела с поверхностью, хорошо поглощающие вещества из воздуха (активированный уголь, силикогели, алюмогели, алюмосиликатные катализаторы, иониты и др.).

Наиболее широкое применение противогазовой технике приобрели сорбенты в виде активированного разнообразных марок, который имеет высоко ----- поверхности. Газопылезащитные СИЗОД кроме сорбционных материалов используется так же противоаэрозольный фильтр. В зависимости от конструктивного исполнения данную группу СИЗОД подразделяют на респираторы, противогазы и самоспасатели. В промышленных противогазах в качестве лицевой части используется шлем маска или маска, а фильтрующий элемент выполнен в виде противогазовой коробки разнообразной конструкции, которая заполнена -----.

Метод изоляции используется для защиты от опасного действия продуктов горения, состав которых неизвестный. Сущность метода изоляции состоит в том, что дыхательные органы человека целиком изолируются от окружающей среды. Изолирующие аппараты могут быть как автономными, так и неавтономными (шланговыми).

Автономные дыхательные аппараты обеспечивают подачу дыхательной смеси из собственного, индивидуального источника воздухоподачи, находятся при человеке и позволяют ему перемещаться в каком-либо направлении на необходимое расстояние для спасательных операций.

В шланговых дыхательных аппаратах подача воздуха, пригодного для дыхания, осуществляется из вне рабочей зоны по шлангу небольшой длины, что ограничивает подвижность (ещё в 1785 году французские конструкторы предложили всасывающий шланг длиной 40 метров, как средство защиты органов дыхания). Шланговые аппараты делятся на самовсасывающие, в которых чистый воздух всасывается за счет лёгких человека, с принудительной подачей воздуха с помощью продувки и с подачей сжатого воздуха от компрессора. Преимущества всех этих аппаратов – простота конструкции и небольшая масса снаряжения, надеваемого на человека.

Шланговые противогазы первыми приобрели некоторое распространение в пожарной охране в начале 20 века. Наиболее простой из них шланговый самовсасывающий противогаз, имеющий маску и присоединенный к ней шланг, второй конец которого находится на свежем воздухе. Они могут защищать органы дыхания человека, как в атмосфере, содержащей опасные газы в больших концентрациях, так и в атмосфере, в которой недостаток кислорода. Шланговые противогазы наиболее удобные для осуществления требуемых работ на небольшом расстоянии от свежего воздуха. Время действия этих аппаратов защиты неограниченно. На сегодня шланговые противогазы целиком вытеснены резервуарными и регенеративными аппаратами защиты.

В регенеративных аппаратах атмосфера для дыхания образовывается за счет регенерации выдыхаемого воздуха путём поглощения из него углекислого газа и прибавления кислорода из существующего в аппарате запаса, после чего регенирированный

воздух поступает на вдох. Такую схему дыхания называют «закрытой».

Принцип работы регенеративного дыхательного аппарата:

- 1) замкнутая изолированная система (закрытая схема дыхания);
- 2) очищение воздуха, который выдыхнул газодымозащитник, от углекислого газа;
- 3) перемешивание очищенного воздуха с кислородом, дополнительно поступившим.

В резервуарных аппаратах весь необходимый для вдоха запас воздуха хранится в сжатом или жидком состоянии, а выдох происходит в атмосферу. Такая схема называется «открытой». Это принципиальное отличие от регенеративных СИЗОД приводит к тому, что запас газа для дыхания в резервуарных должен быть больше чем запас кислорода в регенеративных, в 20-25 раз.

Идея использования сжатого воздуха при работе в непригодной для дыхания среде, была предложена в 1871 году русским инженером А.И. Лодыгиным. Первый аппарат, который работал на сжатом воздухе сконструировал мичман Хотинский в 1873 году. Он представлял собой эластичный газонепроницаемый мешок, наполняемый воздухом при нормальном давлении. Притом такой аппарат не нашел широкого применения, поскольку запас воздуха обеспечивал возможность работы на протяжении нескольких минут. Далее в мире развития техники получение сжатого воздуха, эластичные мешки были заменены баллонами и время защитного действия противогазов возросло до 30 минут. Появилась группа изолирующих резервуарного типа с разомкнутым циклом дыхания.

Важным показателем автономных аппаратов является полезное время защитного действия, которое приходится на 1 кг массы аппарата. Для резервуарных дыхательных аппаратов оно составляет 4-6 мин/кг, тогда как для регенеративных – 18-24 мин/кг.

Отдельно необходимо отметить, что среди резервуарных аппаратов также существуют так называемые комбинированные аппараты (например, ШАП-62, АМВ-3), в которых воздух подаётся в зависимости от места боевой работы сначала по шлангам (как в шланговых аппаратах), а потом (или в случае разрыва шланга) - из баллона.

## **2.3 Принципиальные схемы резервуарных и регенеративных дыхательных аппаратов**

### **2.3.1. Резервуарный дыхательный аппарат**

Резервуарные дыхательные аппараты имеют довольно простое строение (см. рис. 2.2), основу которого составляет воздухопроводная система.

Аппарат работает следующим образом: при вдохе в камере легочного автомата образуется незначительное разрежение, под действием которого прогибается мембрана. Последняя давит на клапан, который открывает ----- для поступления воздуха из камеры редуктора.

Воздухопроводная система в резервуарных аппаратах обеспечивает пульсирующую подачу воздуха в зависимости от частоты и величины растворения на выдохе.

Дыхание резервуарных аппаратах осуществляется по такой схеме: сжатый воздух поступает в легкие человека через загубник легочного автомата, а выдох осуществляется непосредственно в атмосферу.

Аппараты этого вида, которые выпускаются, отличаются между собой только внешним оформлением и конструктивными особенностями некоторых узлов. Основными частями в резервуарных аппаратах является баллоны со сжатым воздухом, дыхательный (легочный) автомат, редуктор, устройства по контролю использованного воздуха, каркас для крепления и монтажа частей аппарата. По числу баллонов резервуарные аппараты подразделяются на одно-, двух- и трехбаллонные. Баллоны аппаратов служат резервуарами

для сжатого воздуха, используемого для дыхания. В аппаратах используется малолитражные баллоны емкостью 1...12 л. с рабочим давлением 15-30 МПа (150...300 кг/см<sup>2</sup>).

Данную группу аппаратов отличают такие преимущества:

- высокая степень надёжности;
- простота конструкции;
- низкая температура вдыхаемого воздуха;
- при использовании этих аппаратов относительная опасность кислородного голодания в связи с заазотованием системы аппарата, как это случается в аппаратах с замкнутой системой дыхания и отравление углекислым газом;
- в данных аппаратах возможна работа в средах, содержащих легковоспламеняемые и взрывоопасные вещества, потому что относительно опасен для масел и других веществ чистый кислород;
- газовая смесь, используемая для дыхания, имеет небольшое содержание кислорода(21%) и влаги. Вследствие этого не нужен специальный подбор особого состава для работы в таких аппаратах, а также прохождения им специального курса подготовки и тренировки.

Основными недостатками резервуарных аппаратов являются:

- маленький срок защитного действия, вызванный не экономным расходом воздуха;
- значительный вес и габариты;
- относительная сложность зарядки воздушных баллонов.

Резервуарные аппараты со сроком действия около одного часа недостаточно пригодны по большому весу и габаритности. При работе в таких аппаратах, например, очень тяжело выполнять дела, носящие прикладной характер. Например, когда одному бойцу необходимо перенести человека весом 75 кг, особенно когда в обратный маршрут входит спуски по лестницам и перемещение с недостаточной видимостью.

Аппараты с воздушными баллонами с меньшим объемом более удобны для использования, но срок их защитного действия не всегда может быть достаточным. Это требует четко налаженной работы по замене баллонов (аппаратов) на месте пожара и контроля времени работы каждого бойца.

Разработана группа автономных резервуарных аппаратов на жидком воздухе. Такими устройствами оснащена пожарная охрана центра НАСА им. Кеннеди, в СНГ такие аппараты не разрабатывались. Отличным преимуществом данных аппаратов является небольшая масса (до 13 кг) и габариты, большая продолжительность действия (значительно больше одного часа), по сравнению с аппаратами на сжатом воздухе. Устройство содержит сосуд Дьюара специальной конструкции, содержащий жидкий воздух, который по системе трубопроводов поступает \_\_\_\_\_ и через теплообменник при температуре 18,3 °С подаётся в маску.

Недостатки таких устройств: смена состава жидкого воздуха при длительном хранении за счет обогащения его кислородом, сложности с поступлением жидкого воздуха в гарнизонах маленьких городов и сельской местности, конструктивные недостатки устройств, не учитываемые, что в условиях пожара устройство могут находиться практически в любом положении, а не только в вертикальном.

### **2.3.2 Регенеративный дыхательный аппарат (РДА).**

Прототипом всех современных регенеративных дыхательных аппаратов (РДА), в том числе кислородных изолирующих аппаратов (типа КИП-8), является изолирующий противогаз «Аэрофор» со сжатым воздухом, изобретённый в 1853 году в Бельгии в Л'ежском университете профессором Сваном. В связи с этим многократно изменялись тенденции развития таких аппаратов и улучшались их технические данные. При этом, принципиальная



схема аппарата «Аэрофор» сохранилась до сих пор (см. рис. 2.3). современный РДА состоит из воздухопроводной воздухоподаваемой систем.

Воздухопроводная система включает лицевую часть, влагосборник, дыхательные шланги и клапаны, регенеративный патрон, холодильник, дыхательный мешок и избыточный клапан.

В воздухоподающую систему входят: контрольное устройство (индикатор), показывающий запас кислорода в аппарате, устройство дополнительной подачи кислорода, устройство основной подачи кислорода, запорное устройство и ёмкость для хранения кислорода (как правило, кислородный баллон).

Лицевая часть служит для соединения воздухопроводной системы РДА с органами дыхания человека. Совместно с лёгкими она составляет единую замкнутую систему «аппарат – органы дыхания», изолированная от окружающей среды. В этой замкнутой системе во время дыхания некоторый объём воздуха осуществляет переменное по направлению движение между двумя эластичными элементами: самыми лёгкими и дыхательным мешком 9. благодаря клапанам 5 и 6, это движение идёт по замкнутому кругу; выдыхаемый из лёгких воздух проходит в дыхательный мешок по ветке выдоха (1,3,5,7), а выдыхаемый воздух возвращается в лёгкие по ветке «вдоха» (8,6,4,1). Такая схема циркуляции воздуха обрела название «круговой».

При изобретении РДА, которые имеют небольшое время защитного действия (около 30 минут), применяется маятниковая схема дыхания, которая отличается от круговой тем, что в ней ветки вдоха и выдоха объединены в одно целое. В следствии этого:

- 1) увеличивается объём опасного пространства и, соответственно, содержание газа во вдыхаемом воздухе;
- 2) улучшается сорбция углекислого газа в регенеративном патроне за счет использования дополнительного поглощения углекислого газа во время вторичного прохождения воздуха через патрон.

Использование маятниковой схемы упрощает конструкцию аппарата. Кроме неё, это может быть полумаятниковая схема, отличающаяся от круговой присутствием клапана выдоха 5. её действие объясняется тем, что опора ветки выдоха, в состав которой входит регенеративный патрон с сорбентом, больше чем ветки вдоха.

В воздухопроводной системе происходит регенерация выдыхаемого воздуха, то есть газовый состав его обновляется до моловдыхаемого воздуха до попадания в лёгкие. Процесс регенерации состоит из двух фаз :

- 1) очистки выдыхаемого воздуха от углекислого газа;
- 2) добавления к нему кислорода.

Первая фаза регенерации воздуха осуществляется в регенеративном патроне (к стати, название «регенеративный патрон» недостаточно точно указывает его функции, поскольку в патроне процесс регенерации не заканчивается ). Выдыхаемый воздух очищается в регенеративном патроне, в следствии реакции хемосорбции углекислого газа тем или иным видом сорбента. Поскольку реакция поглощения углекислого газа, экзотермическая, из патрона в дыхательный мешок поступает нагретый воздух. В зависимости вида сорбента, воздух который проходит через регенеративный патрон, или осушается, или остаётся влажным. В последнем случае во время движения в элементах воздухопроводной системы выступает конденсат.

Вторая фаза регенерации воздуха происходит в дыхательном мешке, куда из кислородноподаваемой системы поступает кислород в объёме нечто большем от того, который потребляет человек. То, каким образом попадает в дыхательный мешок, обуславливается кислородоподачей конкретного РДА.

В воздухопроводной системе происходит так же конденсирование регенеративного

воздуха. Оно включает в себя приведение его температурно- влажных параметров к уровню, который является необходимым для вдоха воздуха человеком. Как правило, конденсирование воздуха приводит к его охлаждению.

Дыхательный мешок в РДА выполняет ряд функций и представляет собой эластичную ёмкость для приёма выдыхаемого из лёгких и очищенного в регенеративном патроне воздуха, который потом поступает на вдох. Дыхательный мешок изготавливают резины или газонепроницаемой прорезиненной ткани. Для того чтобы обеспечить глубокое дыхание во время тяжёлой физической нагрузки и другие глубокие вдохи, как было отмечено в первом разделе, мешок должен иметь полезный объём не менее 5 литров. В мешке к воздуху, выходящему из регенеративного патрона, добавляется кислород. Мешок является сборником конденсата (при его необходимости). В нем также задерживается пыль сорбента, которая в небольшом количестве может проникнуть из регенеративного патрона. Кроме того, там осуществляется первичное охлаждение горячего воздуха, поступающего из регенеративного патрона, за счет теплоотдачи через стенки мешка в окружающую среду. И, наконец, дыхательный мешок управляет работой избыточного клапана 10 и лёгочного автомата (если он присутствует в аппарате).

Это управление может быть как прямым так и косвенным. При прямом управлении стенка дыхательного мешка непосредственно или через механическую передачу влияет на избыточный клапан или клапан лёгочного автомата.

При косвенном управлении эти клапаны открываются в следствии влияния на них непосредственных приёмных элементы (например, мембраны) давления или растворения которое происходит в дыхательном мешке во время его заполнения или опустошения.

Избыточный клапан 10 служит для удаления из воздухопроводной системы избыточной газовой смеси и действует в конце выдохов. В случае, когда работа избыточного клапана управляется косвенным способом, возникает опасность потери части газовой смеси РДА через клапан в результате надавливания на стенки дыхательного мешка. Чтобы избежать этого, мешок защищают жестким корпусом.

Холодильник 8 служит для понижения температуры выдыхаемого воздуха. Известны воздушные холодильники, действие которых основано на отдаче тепла через их стенки в окружающую среду, но более эффективны холодильники с хладоэлементом. Их действие основывается на использовании скрытой теплоты фазового превращения (водяной лёд, фосфорнокислый натрий, углекислый (сухой) лёд и др.). холодильник не является обязательным элементом конструкции РДА. Много дыхательных аппаратов не имеют его, а охлаждение нагретого в регенеративном патроне воздуха происходит в дыхательном мешке и шланге вдоха, а также как это имеет место быть в кип-8, в звуковом сигнале.

Варианты и модификации принципиальной схемы кислородоподающей системы РДА выделяются, в первую очередь, средством резервирования кислорода, реализованным в данном аппарате. По способу резервирования кислорода, реализованного в данном аппарате РДА, делятся на три группы:

- со сжатым кислородом;
- с жидким кислородом;
- с химически связанным кислородом.

Строение воздухопроводных систем в них может быть одинаковым, причем кислородоподающие системы существенно отличаются друг от друга.

В РДА (КИП) со сжатым воздухом в качестве резервуара для его хранения используется баллон с запорным вентилем.

Рабочее давление в баллоне составляет, как правило, 20МПа, но необходимо иметь в виду, что в баллонах, ёмкость которых менее 1литра, и начальное давление будет более меньшим. Так в аппарате КИП-5, который имел баллон ёмкостью 0,7 л., начальное давление

не должно было превышать 15 МПа.

В современных РДА используется два способа для основной подачи кислорода:

- постоянная подача с расходом кислорода около 1,5 л/мин.;
- лёгочно-автоматическая подача, которая происходит короткими импульсами с расходом объёма кислорода 60-150 л/мин. в моменты опорожнения мешка и образования в нём соответствующего растворения.

Устройство для основной подачи кислорода включает редуктор, понижающий давление кислорода до 0,3-0,6 МПа и поддерживает его на постоянном уровне независимо от давления в баллоне, соединённый с редукционным клапаном дозирующий штуцер, предназначенный для постоянной подачи кислорода, и лёгочный (дыхательный) автомат, работающий на редукционном давлении кислорода. Работой лёгочного автомата управляет дыхательный мешок прямым или косвенным способом.

Известные модели РДА без лёгочного автомата с увеличенной, а поэтому менее экономичной подачей кислорода (2-3 л/мин.).

Кроме того, есть модели РДА, в которых кислород подается только через лёгочный автомат. В некоторых подобных конструкциях лёгочный автомат заполняется кислородом высокого давления, который подаётся непосредственно из баллона.

Дополнительная подача кислорода осуществляется устройством, которое приводится в действие при необходимости вручную. Данное устройство называется ещё «аварийным клапаном» или байпасом (By-pass-обводной канал). Поскольку им пользуются для продувки воздухопроводной системы от собирающегося азота, и в аварийных случаях при нарушении нормального действия устройства основной подачи кислорода, то аварийный клапан может заполняться кислородом от баллона по другому каналу.

Для контроля запаса кислорода в баллоне служат: обычный манометр, размещаемый в поле зрения человека с помощью капиллярной металлической трубки. Поскольку эта трубка при работе может быть повреждена, чтобы избежать быстрой потери запаса кислорода, предусмотрено (в большинстве современных конструкций) перекрывное устройство капилляра, который приводится в действие вручную или автоматически.

Преимущества КИП со сжатым кислородом:

- достаточно бережный расход кислорода;
- высокое время защитного действия;
- постоянная готовность к использованию;
- возможность работы в аппарате периодически с выключением и периодическим включением, без потери общего времени защитного действия;
- маленький вес и небольшие габариты.

При работе в таких аппаратах значительно изменяется нормальное дыхание в результате:

- повышенного процентного содержания во вдыхаемом воздухе углекислого газа и кислорода, при чем количество последнего на протяжении работы способно к значительным колебаниям;
- повышение процентного содержания азота в системе противогаза;
- повышение температуры и влажности вдыхаемого воздуха;
- увеличенного \_\_\_\_\_ дыхания при замкнутом цикле противогаза.

К недостаткам следует отнести также:

- сложность строения и обслуживания;
- обязательный процесс обучения строению и обращению с аппаратом;
- зависимость времени работы от качества химического поглощения;
- особенно высокая стоимость.

Первые отечественные противогазы регенеративного типа были изготовлены на

Орлово- Еленовской станции горноспасательного ----- в 1925 году. В 1930 году был изобретен КИП-1, в 1939 году на основе модернизации КИП-3 был изобретен КИП-5, получивший широкое применение при тушении пожаров. В 1947 году производится КИП-7, а также РКК-2 (респираторы Ковшова и Кузьменко). В 1949 году был сконструирован новый тип противогаза Урал-1. с 1967 года промышленностью выпускались КИП-8. На вооружении пожарной охраны сейчас находится несколько типов изолирующих противогазов (КИП-8, Р-12, Р-30, РВЛ, Луганск 2М, Р-34, Р-35).

В пожарной охране наиболее широкое применение получили противогазы регенеративные с подачей сжатого кислорода в систему через систему клапанов и редукторов с поглощением углекислого газа, работающих по круговой (замкнутой) схеме дыхания. В противогазах этого типа выдыхаемый воздух, содержащий большое количество кислорода, не выбрасывается в атмосферу, а обновляется и повторно используется для дыхания. В регенеративном противогазе дыхание производится по замкнутому циклу, изолированному от окружающей среды. время работы в агрегате зависит от количества и особенностей химпоглотителя регенеративного патрона. запаса кислорода в баллоне.

В РДА с жидким кислородом сжиженный газ содержится в металлическом резервуаре, стенки которого снаружи покрыты слоем изолирующего материала, не теряющего своих способностей при низкой температуре. В РДА свойственно запорное устройство, байпас и индикатор, а устройство для основной подачи кислорода представляет собой обычный канал, соединяющий резервуар с дыхательным мешком. Сжиженный кислород заливается в резервуар непосредственно перед началом работы, после чего на протяжении всего времени защитного действия он испаряется (газифицируется) и поступает в воздухопроводную систему.

Резервуар расположен таким образом, что исключается попадание жидкой фазы в воздухопроводную систему. Для этого он заполняется обожженной асбестовой ватой, задерживающей жидкий газ в адсорбированном состоянии.

Из одного литра жидкого кислорода образуется 850 литров газообразования. Это в 4 раза больше чем можно получить из 1 литра сжатого кислорода при давлении 20 МПа. Масса резервуара для жидкого кислорода меньше чем баллона для сжатого газа, поскольку полученный газ в РДА- аппарате содержится при давлении, которое близко к атмосферному. Поэтому образуется значительный запас газа при значительно маленьком объёме резервуара и его небольшой массе.

Жидкий кислород используется не только для обеспечения дыхания, но и как хладоэлемент. Он имеет температуру кипения -183 градуса Цельсия. Для газификации 1 кг жидкого кислорода необходимо затратить 213 кДж тепла, а потом для нагревания до +20 градусов Цельсия, чтобы образовалось 750 литров газа – ещё 185 кДж. Определённый запас «холода», который содержится в сжиженном кислороде, используется для кондиционирования воздуха в аппарате и образования комфортных микроклиматических условий дыхания. В большинстве конструкций для кондиционирования используют только запас холода, содержащегося в кислороде, который испарился. Оно осуществляется путём его смешивания с воздухом, выходящим из регенеративного. Холодильник в воздухопроводной системе отсутствует.

В таких аппаратах скорость газификации кислорода зависит только от интенсивности теплового потока, проникающего в резервуар через пространство теплоизоляции стенок. Она мало зависит от температуры окружающей среды в том диапазоне, в котором используется аппарат, и не зависит от интенсивности выполняемой физической работы. Поэтому время защитного действия аппарата, при каких- либо условиях постоянное. Оно определяется с момента заправки в резервуар жидкого кислорода и контролируется газодымозащитником по часам.

К РДА такого типа относятся аппараты «Аэрофор», «Эренчен», «Аэрорлокс», которые выпускаются в Великобритании, и советский «Комфорт».

Для получения значительного охлаждающего эффекта расчетная скорость испарения и поступления жидкого кислорода в воздухопроводную систему должна превышать потребность человека в кислороде в 4-10 раз. При таком режиме избыточный клапан в аппарате работает при окончании каждого выдоха. В результате этого, в атмосферу выделяется 40- 90 процентов газовой смеси от объема кислорода, который поступил. Избыточный клапан устанавливают к регенеративному патрону, чтобы через него выделить часть выдыхаемого воздуха (около 4 %) и тем самым частично разгрузить регенеративный патрон. Такая подача кислорода в систему позволила отказаться от легочного автомата и байпаса.

Эксплуатационные особенности практически соответствуют особенностям эксплуатации резервуарных аппаратов на жидком воздухе.

Позитивные качества:

- оптимальные микроклиматические условия дыхания как при нормальной так и при высокой температуре окружающей среды;
- простота и надежность конструкции.

Недостатки:

- необходимость снаряжения кислородом непосредственно перед использованием;
- необходимость использования всего времени защитного действия сразу.

В РДА с химически связанным кислородом (см. 2.4.) последний содержится в гранулированном продукте на базе супероксидов ----- металлов и выделяется во время реакции поглощения продуктов углекислого газа и водяных паров, которые имеют место в выдыхаемом воздухе. Основным продуктом, содержащим кислород, оснащается регенеративный патрон РДА, при прохождении через который выдыхаемый воздух целиком регенерируется. Процесс регенерации включает две фазы: поглощение углекислого газа (и влаги) со своевременным добавлением выделившегося кислорода. В регенеративном патроне происходит экзотермическая реакция, в результате которой продукт при тяжелой физической нагрузке разогревается до 400<sup>0</sup>С. Вследствие того, что выделение кислорода продуктом пропорционально поглощению им углекислого газа, аппарат обеспечивает бережную трату имеющегося запаса кислорода.

Кислородоподающая система отсутствует. Вместо неё в большинстве аппаратов является пусковое устройство для подачи в воздухопроводную систему небольшой порции дополнительного кислорода, когда продукт не разогрелся, и кислородовыделение осуществляется недостаточно активно.

Позитивные качества:

- простота конструкции;
- маленький вес;
- бережная трата кислорода.

Недостатки:

- относительность надежной конструкции индикатора степени отработанности продукта, содержащего кислород (фактическое время защитного действия составляет на 20% больше гарантированного);
- невозможность осуществления продолжительных перерывов во время работы;
- большой \_\_\_\_\_ дыхания;
- высокая стоимость эксплуатации.

### **3. ИЗОЛЯЦИЯ СИСТЕМЫ «ДЫХАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ- ОРГАНЫ ДЫХАНИЯ»ОТ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

### 3.1 Основные технические требования к защитной эффективности СИЗОД

Не зависимо от предназначения и конструктивных особенностей, СИЗОД должны соответствовать требованиям, которые предъявляются к показателям их качества. Эти показатели подразделяют на такие основные группы:

- показатели защитной эффективности, характеризующиеся, в первую очередь, коэффициентами защиты (К) и коэффициентом проникновения (К) опасных веществ через всю конструкцию;
- показатели надёжности, характеризующие время защитного действия применяемых СИЗОД, а также сохранение защитных способностей в процессе эксплуатации, транспортирования и хранения;
- эргономические показатели, отражающие возможное влияние СИЗОД на здоровье, функциональное состояние и трудоспособность человека;
- показатели технической пригодности СИЗОД, включающие показатели эстетичного использования, стандартизации и унификации некоторых узлов и деталей, экономичности, технологичности.

Таким образом, одной из этих характеристик СИЗОД является коэффициент защиты  $K$ . Он обозначает кратность понижения концентрации опасного вещества, находящегося в воздухе рабочей зоны, обеспечиваемой данным средством защиты.

Для определения  $K$  экспериментально находят коэффициент  $K$ , выражающий отношение концентрации опасного вещества в подмасочном пространстве СИЗОД ( $C_{om}$ ,  $C_{ov}$ ) до концентрации этого вещества в воздухе ( $C_m$ ,  $C_v$ ) то есть:

$$K_{\Pi} = C_{om} / C_m = C_{ov} / C_v \quad (3.1)$$

где  $C_{om}$  и  $C_m$  – соответственно массовая концентрация опасных газов во вдыхаемом воздухе и в окружающей среде, мг/м. куб;

$C_v$ ,  $C_{ov}$  – соответственно объёмная часть опасных газов во вдыхаемом воздухе и окружающей среде, %.

Когда,

$$K_{\Pi} = \frac{\omega_n}{\omega_{\lambda}}, \quad (3.2)$$

Где  $W$ - проникновение (подсос) окружающего воздуха в систему, л/мин;

$W$ - лёгочная вентиляция, л/мин.

По величине коэффициента проникновения вычисляется коэффициент защиты СИЗОД по формуле:

$$K_3 = \frac{1}{K_{\Pi}} \quad (3.3)$$

Все фильтрующие СИЗОД подразделяются на группы с разной степенью защиты:

- 1-ый с  $K_3$  более 100 гарантирует защиту при содержании в воздухе опасных веществ в концентрациях, превышающих предельно допустимые концентрации более чем в 100 раз;
- 2-ой с  $K_3$  от 10 до 100 гарантирует надёжную защиту от опасных веществ при их содержании в воздухе в количестве, превышающем предельно допустимые концентрации от 10 до 100 раз;
- 3-ий с  $K_3$  меньшим 10 гарантирует защиту от нетоксичных аэрозолей, газов и паров при их содержании в воздухе в количестве, превышающем предельно допустимые концентрации более чем в 10 раз.

Изолирующие СИЗОД должны обеспечивать первую степень защиты. Кроме того,

коэффициент защиты изолирующего аппарата (К) должен превышать коэффициент токсичности среды (К) и сохранять свои защитные способности после длительного хранения и транспортирования при температуре воздуха от -20 С до +60 С и при атмосферном давлении от 70.0 кПа до 125.0 кПа, а также во время работы в среде, характеризующейся наличием опасных газов. То есть использование СИЗОД в токсичной среде допустимо только при соблюдении условия:

$$K_3 \geq K_{\text{тн}} \quad (3.4)$$

Из этого условия следует, что минимально необходимый коэффициент защиты аппарата равняется коэффициенту токсичной опасности среды, который как это было отмечено в первом разделе, определяется по формуле:

$$K_{3\text{м min}} = \frac{C_m}{C_{\text{ГДКм}}} = \frac{C_v}{C_{\text{ГДКv}}} \quad (3.5)$$

Где  $C_{\text{ГДКм}}$  и  $C_{\text{ГДКv}}$  – соответственно предельно допустимая массовая концентрация и предельно допустимая концентрация объёмной части опасных газов в о вдыхаемом воздухе.

При одновременном содержании в окружающей среде нескольких газов, имеющих однонаправленное действие (считается, что однонаправленное действие имеют оксид углерода **СО**, углекислый **СО**, и сернистый **SO** газы, сероводород **HS**, оксиды азота **NO**, **NO**, **NO**), коэффициент токсичной опасности окружающей среды определяется по формуле:

$$K_{\text{тн}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{v_i}}{C_{\text{ГДКvi}}} \quad (3.6)$$

Где  $C_{vi}$  – объёмная часть i-го опасного газа в окружающей среде, %

$C_{vi}$  – предельно допустимая концентрация i-го опасного газа во вдыхаемом воздухе, %.

При одновременном содержании в окружающей среде нескольких газов (например, углерода **СО**, и метана **СН** ), которые не имеют однонаправленное действие, коэффициент токсичной опасности среды определяют так:

$$K_{\text{тн}} = \max_i \frac{C_{v_i}}{C_{\text{гдк}_i}} \quad (3.7)$$

То есть в последнем случае находят коэффициент токсичной опасности для каждого газа отдельно, как это делают при их изолированном влиянии. Наибольшее из полученных значений принимают за коэффициент токсичной опасности среды.

На практике характеристику токсичной опасности среды, которая состоит из смеси опасных газов, дают по эквивалентному содержанию в нём оксида углерода **СО**. Для более плохих условий, в которых разрешается работать в изолирующих автономных СИЗОД (а это воздух, содержащий 10 % оксида углерода **СО**), массовая концентрация **СО** в окружающей среде составляет  $166,7 \cdot 10$  мг/м. куб. с учетом того, что для дыхания на протяжении 4 часов предельно допустимая концентрация составляет 30 мг/м. куб., имеем:

$$K_{\text{тн}} = \frac{116,7 \cdot 10^3}{30} = 3890 \quad (3.8)$$

Это означает, что в среде с определенной концентрацией оксида углерода допускается работа в аппарате, у которого коэффициент защиты больше 3890. в следствие (3.4), в качестве нормированного размера принимается значение коэффициента защиты:

$$K_3 \geq 5 \cdot 10^3 \quad (3.9)$$

Что обеспечивает надежную защиту органов дыхания.

### 3.2 Методика оценки степени герметичности аппарата

#### 3.2.1. Пути проникновения окружающего воздуха во внутрь аппарата

СИЗОД полностью изолируют органы дыхания человека от окружающей среды. При том степень изоляции системы «СИЗОД – органы дыхания человека» от окружающей среды или же герметичность этой системы не может быть абсолютно.

В воздухопроводной системе аппарата, или его части в периоды вдохов, образуется разрежение, которое зависит от типа дыхательного аппарата и интенсивности физической нагрузки. Под действием разницы давлений снаружи и внутри системы окружающий воздух, содержащий опасные смеси, может проникать двумя путями:

- через недостаточно затянутые соединения воздухопроводной системы, или через повреждения целостности его оболочки;
- через неплотное соединение лицевой части аппарата с органами дыхания человека.

Проникновение в воздухопроводную систему опасных газов в результате диффузии через резиновые стенки дыхательного мешка является незначительным.

Степень проникновения характеризуют коэффициентом проникновения в систему «аппарат-органы дыхания» наружного воздуха, содержащего опасные смеси (коэффициентом подсоса (3.2) или коэффициентом защиты (3.3), который однозначно характеризует эффективность изоляции СИЗОД и органов дыхания от окружающей среды, а его численное значение показывает, во сколько раз содержание опасного газа во вдыхаемом воздухе во время работы в СИЗОД, ниже, чем в наружном воздухе). Физический состав определённого коэффициента равен коэффициенту токсичной опасности среды  $K_{тн}$ .

Как было отмечено выше, для обеспечения защиты органов дыхания должно соблюдаться условие (3.4). очевидно, что когда коэффициент защиты  $K_3$  равен коэффициенту токсичной опасности  $K_{тн}$ , человек будет вдыхать воздух с концентрацией, которая равна предельно допустимой.

Обозначим через  $K_{п1}$  и  $K_{п2}$  коэффициенты подсоса соответственно через неплотность воздухопроводной системы и неплотности в соединении лицевой части с органами дыхания, а через  $K_{31}$  и  $K_{32}$  коэффициенты защиты соответственно герметичности воздухопроводной системы и лицевой части. Тогда общий коэффициент подсоса  $K_п$  равен сумме коэффициентов подсоса воздухопроводной системы и лицевой части, поскольку:

$$K_п = \frac{\omega_n}{\omega_l} = \frac{\omega_{n1} + \omega_{n2}}{\omega_l} = \frac{\omega_{n1}}{\omega_l} + \frac{\omega_{n2}}{\omega_l} = K_{п1} + K_{п2} \quad (3.10)$$

В тоже время:

$$K_3 = \frac{1}{K_п} = \frac{1}{K_{п1} + K_{п2}} = \frac{1}{\frac{1}{K_{31}} + \frac{1}{K_{32}}} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} \quad (3.11)$$

Формула

То есть общий коэффициент защиты  $K_3$  не разрешается рассматривать как сумму двойных коэффициентов защиты воздухопроводной  $K_{31}$  и  $K_{32}$  частей.



### 3.2.2 .проверка герметичности дыхательного аппарата

После изобретения СИЗОД в процессе эксплуатации, а также после каждой разборки и сборки СИЗОД при их усовершенствовании проверяют степень герметичности. Цель проверки герметичности - контроль качества строения аппарата и выявление возможных повреждений, которые были выявлены во время внешнего осмотра. Методика проверки состоит в создании в воздухопроводной системе аппарата определённого давления и контроля за скоростью его падения, а потом в создании разряжения и такого же контроля. Суть двойной проверки состоит в том, чтобы утечка воздуха по некоторым испорченным резиновым деталям (свищи, трещины) может выявляться как под давлением, так и при разряжении. Высокое давление, как правило, провоцирует их обнаружение.

Для регенеративных дыхательных аппаратов, которые используются в пожарной охране, приняты такие нормы проверки герметичности: проверочное давление (разряжение) – 2 (1) кПа; скорость падения давления (разряжение) не более 50 Па на протяжении первой минуты после стабилизации проверочного давления (разряжение). Аналогичные нормы, например, у фирмы «Дрегерверк» составляют соответственно 0,7 кПа и 100 кПа.

По результатам проверки СИЗОД на герметичность разряжением можно рассчитать возможный подсос в его воздухопроводную систему окружающего воздуха  $\omega_{n1}$  (л/мин.) по следующей формуле:

$$\omega_{n1} = \frac{0.4 \cdot \Delta p \cdot \sqrt{\frac{P_{вд}}{P_{пров}}}}{m \cdot p_a} \quad (3.12)$$

где  $\Delta p$  - скорость падения разряжения во время проверки герметичности, Па/мин;

$V_p$  - мощность воздухопроводной системы при разряжении, л;

$P_{вд}$  - \_\_\_\_\_ СИЗОД вдоха при соответственной нагрузке, Па;

$P_{пров}$  – разряжение воздухопроводной системе при проверке, Па;

$m$  – коэффициент, определяющий, что воздухопроводная система не герметична

$P_a$ - атмосферное давление, Па.

Для отечественных СИЗОД, принимаются значения:  $\Delta p < 50$  Па/мин.;  $V_p = 2.5$  л;  $P_{вд} = 300$  Па;  $m = 0.16$ ;  $P_{пер} = 1000$  Па. В результате вычислений видно, что  $\omega_{n1} < 1.85 \cdot 10^{-3}$  л/мин., то есть менее 2 см<sup>3</sup>/мин. При лёгочной вентиляции около 30 л/мин. Соответственный коэффициент защиты  $K_{з1} > 1.6 \cdot 10^4$  (в фирме «Дрегерверк» соответственный коэффициент  $K_{з1} > 0.75 \cdot 10^4$ ). Сравнивая с (3.9), видно, что воздухопроводная система и в первом, и во втором случае имеет целиком достаточную степень герметичности.

### 3.3 лицевые части СИЗОД

Другая возможность проникновения окружающего воздушно-подсосы в зоне соединения лицевой части с органами дыхания (ОД). Определённые подсосы значительно больше, чем подсосы через неплотности воздухопроводной системы.

Основные пять видов лицевых частей СИЗОД: мундштуковое устройство с загубником и носовой прищепкой, полумаска (иногда рассматривают и четвертьмаску, но она имеет коэффициент защиты ещё меньше, чем у полумаски), маска, шлем-маска и шлем.

Мундштуковое устройство обеспечивает надёжную изоляцию органов дыхания, поскольку уплотняющая полоса обтюрации, имеет небольшую длину и постоянно смочена

слюной, а плотность прижатия губ к поверхности пластин загубника постоянно контролируется газодымозащитником. По результатам исследования фирмы «Дрегерверк» подсосы под загубник не превышают уровня подсосов под обтюратор лучших дыхательных масок. То есть коэффициент защиты мундштукового устройства оценивается величиной  $K_{32} \geq 10^4$ . Именно мундштуковое устройство имеет простую конструкцию, маленькую массу (0,2) минимальный мертвое пространство (до 60 см<sup>3</sup>), позволяет быстро включаться в аппарат и выключаться из него.

К недостаткам мундштукового устройства, прежде всего, относится физиологически неправильный вид дыхания - через рот. Кроме того, устройство, когда долгое время находится во рту, раздражает слизистую оболочку. Жевальные мышцы устают. Газодымозащитники не могут разговаривать. Возможны случайные соскакивания носовой прищепки и выпадения мундштукового устройства. В некоторых случаях, без очевидных нарушений правил труда в изолирующем аппарате, коэффициент подсоса увеличивается до величины  $K_{п2} = 0,7 \cdot 10^{-3}$ , которая отвечает коэффициенту защиты  $K_{32} = 1,43 \cdot 10^3$ , меньшему нормированного уровня показателя ( $K_3 = 5 \cdot 10^3$ ).

Полумаска (как и четвертьмаска) имеет недостаточную надёжность уплотнения в зоне прижатия к лицу человека. Вследствие этого  $K_{32} < 5 \cdot 10^3$  и, соответственно, ее во время эксплуатации изолирующих СИЗОД (кроме тех случаев, когда есть возможность образовать избыточное давление чистого воздуха в подмасочном пространстве) не используют.

Дыхательная маска герметизируется с органами дыхания путем прижатия обтюлятора с помощью резиновых жгутов. В нижней части ее корпуса размещается штуцер, где находится клапан выдоха, если маска используется в СИЗОД с открытой схемой дыхания; во время работы с РДА штуцер плотно закрывается заглушкой.

Дыхательные маски защищают также глаза человека и обеспечивают физиологически правильный тип дыхания - через нос. Чтобы дополнительно ограничить подсос окружающего воздуха системы СИЗОД, конструкция маски включает в себя подмасочник. Кроме того, благодаря помасочнику объем опасного пространства сводится до 180-220 см<sup>3</sup>. Панорамное небьющееся стекло обеспечивает довольно высокий обзор. В большинстве обычных масок ограничение поле видимости составляет всего 18-22%, а в некоторых еще меньше - до 2-5%. Прозрачность стекла на протяжении смены обеспечивается натирание перед работой специальной жидкостью. В некоторых масках предусматривается ручные стеклоочистители. Почти все конструкции имеют мембраны, практически не уменьшающие громкость и разборчивость переговоров. Исследования герметичности показали, что коэффициент подсоса под правильно выгнутую и хорошо подогнанную маску колеблется от  $10^{-5}$  до  $10^{-6}$  и не превышает  $10^{-4}$ . В тоже время наличие на лице человека бакенбардов и длинных волос повышает коэффициент подсоса на один - два порядка, а наличие бороды - даже на три.

Недостатками масок является также очень большая масса (0,6-0,7 кг), сложная конструкция, значительное время на одевание и подгонку. Маска исключает обдув лица окружающим воздухом. Для отработки правильной подгонки маски и приобретения навыков работы в ней на пожаре газодымозащитник обязан заблаговременно научиться выполнению тренировочных упражнений на чистом воздухе и в непригодной для дыхания среде.

Шлем - маски закрывают уши и небольшую часть волосяного покрова головы и не имеют ----- . Конструкция включает в себя два круглых стекла. Вследствие того, что в шлем - маске отсутствует подмасочник, опасное пространство составляет до 450 см<sup>3</sup>. В тоже время, по герметичности шлем - маска лучше, чем маска. Величина ее коэффициента защиты составляет около  $10^6$ .

Шлем имеет сложную конструкцию, большое опасное пространство, значительную массу и громоздкость и поэтому, несмотря на то, что имеет коэффициент защиты не менее

чем  $10^7$ , в пожарной охране почти не используется.

Таким образом, коэффициент защиты лицевых частей  $K_{32}$ , которые образуются газодымозащитниками, больший, чем  $10^4$ . Из расчета ранее полученного значения  $K_{31}$  коэффициента защиты непосредственно аппарата, которое позволяет разговаривать, которое  $K_{31} > 1,6 \cdot 10^4$ , по формуле (3,11) можно утверждать, что коэффициент защиты системы «аппарат- органы дыхания» будет больше чем  $K_3 > 6,2 \cdot 10^3$ . Это выше нормированного уровня этого параметра, который по формуле (3.9) равен  $5 \cdot 10^3$ .

Экспериментально приближенная проверка СИЗОД по показаниям защитной эффективности проводится в камере газоокуривания. Для этого газодымозащитник, который включился в аппарат, входит в герметичную камеру, в которой образуется определённая концентрация опасного контрольного вещества, и выполняет действия, имитирующие реальную работу. Необходимая концентрация этого вещества определяется по формуле:

$$C_k = C_{\text{пор}} \cdot K_3 \quad (3.13)$$

где  $C_{\text{пор}}$  - пороговая концентрация, при которой человек начинает ощущать запах контрольного вещества,  $\text{мг/м}^3$ ;

$K_3$  - необходимый коэффициент защиты.

В качестве контрольного вещества используется хлорпикрин  $\text{CCl}_3\text{NO}_2$  ( $C_{\text{пор}} = 0,6 \text{ мг/м}^3$ ) или аммиак  $\text{NH}_3$  ( $C_{\text{пор}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$ ). Пороговые концентрации этих веществ неопасны для организма человека, но легко распознаются по запаху и поражающим действием. Если в таких условиях газодымозащитник не ощущает присутствия контрольного опасного вещества в выдыхаемом воздухе, считается, что проверяемый коэффициент защиты аппарата, вместе с лицевой частью не ниже допустимого.

#### **4. Воздухоподающая система аппаратов на сжатом воздухе**

##### **(Кислородоподающая система регенеративных дыхательных аппаратов)**

#### **4.1 Принцип действия воздухоподающей (кислородоподающей) системы**

Воздухоподающая система аппаратов на сжатом воздухе (ВПС АСВ) и кислородоподающая система регенеративных дыхательных аппаратов (КПС РДА) являются очень сложными и ответственными частями изолирующих аппаратов со сжатым воздухом или кислородом. Они определяют надёжность работы относительно аппарата в целом.

Основные элементы данной системы были показаны ранее (см. рисунки 2.2 и 2.3).

Кроме того, в зависимости от конкретной модели, системы, которые рассматриваются, могут включать ряд дополнительных устройств. Воздух (кислород) в аппарате содержится в баллоне, который с помощью соединительного элемента соединяется с узлами ВПС (КПС). От попадания частиц, осколков из баллона предохраняет специальный фильтр. Для аварийного ручного подключения трубки манометра при её повреждении используется перекрывной вентиль. Уменьшение давления в баллоне до определённого уровня фиксируется автоматическим сигнализатором с акустическим (звуковым) или каким-нибудь другим (например, физиологическим) сигналом. Для дополнительной или аварийной подачи кислорода в воздухопроводную систему РДА непосредственно из канала высокого давления служит байпас, который представляет собой клапан с ручным управлением.

В каналах ВПС (КПС), которые находятся у редукционного канала (редуктора), воздух

(кислород) находится под высоким давлением (в обычных аппаратах, в зависимости от марки, 20-30 МПа), который постепенно уменьшает по мере расхода его из баллона. Редуктор уменьшает давление газа и поддерживает его в системе на постоянном уровне, безопасном для здоровья человека (в большинстве аппаратов 0,4-0,75 МПа). на случай непредвиденного повышения давления в камере редуктора в состав ВПС (КПС) входит предохранительный клапан. Для контроля давления в баллоне служит, как правило, манометр, соединенный с каналом высокого давления металлической капиллярной трубкой, скрученной в спираль и защищенной от повреждений гибким шлангом из прорезиненной ткани. Непосредственно для обеспечения воздухом дыхания газодымозащитника во время работы в АСВ или подачи в воздухопроводную систему РДА дополнительной порции кислорода служит лёгочный автомат.

Дополнительно РДА содержит дроссель, который обеспечивает постоянную подачу кислорода. В его состав могут входить устройство предварительной продувки и продувочный насос (в РДА с экономным расходом кислорода). Насос обеспечивает выброс в атмосферу некоторого объёма газовоздушной смеси и приводится в действие энергией кислорода, поступающего в воздухопроводную систему, а управляется постоянной или лёгочной автоматической подачами кислорода, или двумя. Из байпаса кислород поступает в воздухопроводную систему по дросселю, ограничивающему объёмную скорость подачи.

В это же время выше указанные конструктивные элементы могут быть не в каждой модели. Так, в аппаратах может отсутствовать редуктор, в этом случае работает непосредственно лёгочный автомат под высоким давлением. Вследствие того, что конструкция автоматического сигнализатора довольно сложная и ненадёжная, её используют не всегда. Вместо ручного перекрывного вентиля в последнее время используют автоматическое устройство, которое включает капилляр и манометр при выявлении в них утечки смеси. В некоторых аппаратах (например, в РДА, в которых манометр расположен в пределах ранца) вентиль вообще отсутствует.

В РДА может быть (РДА фирмы «Дрегерверк», КИП-8) устройство, которое представляет собой нормально закрытый клапан, перекрывающий воздухопровод, акустическим сигналом. Последний приводится в действие дыханием газодымозащитником при закрытом состоянии воздухопровода. Если человек включится в аппарат и не откроет вентиль баллона, дыхание через закрытый воздухопровод станет невозможным, а акустический сигнал напугает о необходимости открыть вентиль баллона. Как только редуцированное давление поступит к рассматриваемому устройству, клапан на воздухопроводе откроется. Кроме того, конструкция РДА может включать автоматическое устройство предварительной продувки, благодаря которому при открывании вентиля баллона в воздухопроводную систему подаётся 5-6 л кислорода.

Таким образом, принцип действия воздухопроводной системы АСВ и кислородопроводной системы РДА базируется на вытекании воздуха, кислорода из баллона в камеру лёгочного автомата АСВ (воздухопроводную систему РДА) по дросселям постоянного ----- и клапанные пары редуктора лёгочного автомата, байпаса и других элементов, которые являются дросселями переменного -----.

#### **4.2 Особенности выбора, разработки и эксплуатации газовых редукторов**

автономные изолирующие аппараты, которые используют сжатую газовоздушную смесь, имеют три степени её давления:

- высокое, меняющееся от 20-30 МПа до уровня нормального редуцирования (около 1 МПа в большинстве аппаратов, хотя могут быть и другие значения, например, у КИП-8 такое давление составляет 3 МПа);

- редуционное (как правило, около 0,4 МПа, хотя в АИР-317, например, оно составляет 0,7-0,05 МПа);

- давление в подмасочном пространстве АСВ или в воздухопроводной системе РДА, которое равно атмосферному (0,1 МПа) или является близким к нему.

Из приведенного ранее видно, что одним из важнейших узлов автономных изолирующих аппаратов со сжатой газовойдушной смесью является редуктор. По принципу действия редуктор является регулятором (стабилизатором) давления газа с отдельной обратной связью. В АСВ и РДА используются редукторы прямого (см. рис. 4.1а) и обратного (4.1б) действия.

Редуктор прямого действия (см. рис. 4.1) состоит из регулирующей гайки 1, регулирующей пружины 2, отводного штуцера 3 с дросселем, толкачей (шпилек) 4, пружины клапана 5, клапанной парой (клапана 6 и седла 7), обеспечивающих дросселирование газа, подводного штуцера 8, мембраны 9 и корпуса 10. дроссель постоянного \_\_\_\_\_, который находится в штуцере 3, может быть расположен за редуктором у \_\_\_\_\_ редуцированного давления кислорода.

Корпус, клапан, толкачи редуктора изготавливаются из латуни, мембрана 9 из специальной прорезиненной ткани, подушка клапана из фторопласта или другой пластмассы.

Давление газа в редукторе поддерживается на трёх уровнях:

- на входе и до клапанной пары 6-7 – высокое давление  $P_1$ ;
- в камере редуктора под мембраной и до дросселя в штуцере 3 – редуцированное  $P_2$ ;
- в надмембранном пространстве –  $P_{атм}$  (атмосферное давление).

Во время работы редуктора высокое давление газа распространяется до кольцевого зазора между седлом 7 и подушкой клапана 6, через который поступает в камеру редуктора.

Сущность регулирования давления состоит в том, что размер зазора между седлом и подушкой клапана и связанная с ним объёмная скорость поступления газа автоматически устанавливается на таком уровне, чтобы в камере редуктора поддерживалось постоянное расчетное давление.

Кольцевой зазор обеспечивается взаимодействием сил, одни из которых стремятся увеличить его (открыть клапан), а другие уменьшить (закрыть клапан). Усилия запорной пружины клапана 5 меньше, чем усилия регулирующей пружины 2. вследствие этого общей силой  $F_1$ , под действием которой открывается клапан 6, считалось общее действие обоих пружин 2 и 5 и некоторое усилие жесткости мембраны 9. кроме того, в редукторе прямого действия открыть клапан стремится сила  $F_3$ , которая возникает вследствие высокого давления газа на поверхность клапана, площадь которой равна площади поперечного \_\_\_\_\_ седла.

Сила  $F_2$ , выполняющая роль обратной связи, зависит от зазора в клапанной паре. Этот зазор принято называть высотой подъёма клапана  $h$ . Если при действительном режиме работы редуктора по какой-нибудь причине возникнет переподъём клапана над седлом, то в этом случае увеличивается расход газа через клапанную пару, а вследствие этого давление в камере редуктора  $p_2$  и сила  $F_2$ , под действием которой движимая система займет выходное положение. Таким образом, движимая система редуктора автоматически и стойко устанавливается в положение, обеспечивающее стабильное рабочее давление газа в камере редуктора.

Редуктор обратного действия состоит из таких же элементов и действует также, как и редуктор прямого действия. Принципиальная разница состоит в том, что клапанная пара 6-7 находится в камере высокого давления  $p_1$ , а толкатель 4 клапана проходит в середину седла. В этом редукторе высокое давление газа  $p_1$  стремится закрыть клапан поддействием силы  $F_3$ .

Уравнение равновесия движимой системы редукторов прямого и обратного действия имеет следующий вид:

$$F_1 - F_2 \pm F_3 = 0 \quad (4.1)$$

Знак «плюс» относится к редуктору прямого, а знак «минус» - редуктору обратного действия.

Силу  $F_1$  (**H**) можно обозначить через её начальное значение  $F_0$  при закрытом клапане:

$$F_1 = F_0 - r \cdot h, \quad (4.2)$$

где  $r$  – суммарная жёсткость всех пружинных элементов подвижной системы редуктора, Н/м.

Сила  $F_2$  (**H**) равна ----- разницы давлений, действующих на эффективную площадь мембраны  $S_m$  (м<sup>2</sup>);

$$F_2 = (p_2 - p_a) \cdot S_m, \quad (4.3)$$

$$S_m = 0.26 \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2), \quad (4.4)$$

где  $D$  и  $d$  – соответственно диаметры свободной (незащемлённой) части мембраны и жесткого центра, м.

Сила  $F_3$  (**H**):

$$F_3 = (p_1 - p_2) \cdot S_c, \quad (4.5)$$

где  $S_c$  – площадь седла клапана, м<sup>2</sup>.

Подставляя в уравнение (4.1) выражения (4.2), (4.3), (4.5) и ----- членом  $p_2 S_c$ , в следствии его малой величины, получаем уравнение равновесия подвижной системы в развёрнутом виде:

$$F_0 - rh - (p_2 - p_a) \cdot S_m \pm p_1 S_c = 0. \quad (4.6)$$

максимальный расход газа в редукторе со свободным ----- седла обеспечивается при высоте подъёма клапана  $h_{\max} = 0.25 \cdot d_c$ , а в редукторе с толкачом – при

$$h_{\max} = \frac{(d_c^2 - d_r^2)}{4d_c}, \quad (4.7)$$

где  $d_r$  – диаметр толкача.

При  $h = 0$  и абсолютно гладких поверхностях седла и подушки клапана расход газа должен быть равен нулю. В реальном редукторе при  $h = 0$  газ проходит через сетчатую поверхность в клапанные пары. Если этот поток больше допустимого расхода газа, то для обеспечения последнего редуктор должен работать в режиме взаимодействия в клапанной паре.

При этом клапан должен прижиматься к седлу дополнительной силой, приводящей к уменьшению поверхности пустот в зоне контакта сквозь которые имеет место утечка газа, главным образом, за счет пружинной деформации материала пружины.

Дополнительное усилие, закрывающее клапан и возникающее за счет некоторого увеличения давления в камере редуктора, обозначает реакцию седла  $R_c$ , размер которой зависит от глубины пружинного вдавливания седла в подушку клапана  $h_1$  (высота подъёма клапана со знаком минус).

При значении вдавливающей силы, и реакции седла  $R_c = R_c(h_1)$ , которое обычно находят экспериментальным путём, клапанная пара герметизируется. Это имеет место в следствии приостановки отбора газа после редуктора и сопровождается некоторым увеличением давления  $p_2$ .

Такой режим работы имеет место в аппаратах на сжатом воздухе, а также в РДА без постоянной подачи кислорода, в которых лёгочный автомат заполняется от редуктора, когда клапан этого автомата закрыт.

В режиме силового взаимодействия в контактной паре уравнения равновесия движимой системы редуктора имеет вид:

$$F_0 + rh_1 + R_c(h_1) - (p_2 - p_a) \cdot S_m \pm p_1 S_c = 0. \quad (4.8)$$

Откуда редуцированное давление:

$$p_2 = \frac{(F_0 + r \cdot h_1 + R_c + p_a \cdot S_m \pm p_1 S_c)}{S_m}. \quad (4.9)$$

Основным показателем качества работы редуктора как регулятора давления является образование редуцированного давления  $p_2$  при изменении двух параметров давления на входе  $p_1$  и массового расхода газа  $m$ . Функциональная зависимость  $p_2 = p_2(p_1; m)$  имеет сложный вид и называется *статической характеристикой редуктора*.

Зависимость изменения редуцированного давления  $\Delta p_2$  от  $p_1$  возможно вычислить, если принять  $m=0$ , то есть для безрасходного режима. Для этого уравнения (4.9) сначала записывается для двух значений начального давления:  $p_{1\max}$  и  $p_{1\min}$ . После этого отнимают от первого второе.

Учитывая, первые четыре члена в скобках имеют одинаковые значения в обоих случаях, выражение имеет вид :

$$\Delta p_2 = \pm \frac{S_c \cdot (p_{1\max} - p_{1\min})}{S_m}. \quad (4.10)$$

То есть изменение пропорционально отношению плоскости седла клапана к эффективной плоскости мембраны. Знак  $\pm$  указывает на то, что в редукторе прямого действия по мере расхода газа из баллона редуцированное давление уменьшается, а в редукторе обратного действия- увеличивается. Такая же зависимость сохраняется и для режима с расходом газа, но в этом случае на неё влияет высота подъёма клапана и изменение произведения  $r \cdot h$ .

В существующих редукторах прямого действия плоскость седла клапана составляет

около 0,05% эффективной плоскости мембраны, а в редукторах обратного действия – около 0,1%. Благодаря этому обеспечивается высокая стойкость вторичного давления.

Аналогичным образом находится зависимость давления  $\Delta p_2$  от изменения высоты подъёма клапана  $h$ , то есть от расхода  $m$  в пределах работы подъёма редуктора без силового взаимодействия в клапанной паре, при  $p_1 = \text{Const}$ . Из выражения (4.6)

$$p_2 = \frac{(F_0 - rh + p_{AT}S_M \pm p_1S_C)}{S_m}. \quad (4.11)$$

если записать это выражение для  $h_{\max}$  и  $h_{\min}$  и отнять от первого выражения второе, то получим:

$$\Delta p_2 = \frac{r \cdot (h_{\max} - h_{\min})}{S_m}. \quad (4.11)$$

То есть в редукторах двух типов с увеличением расхода газа редуцированное давление уменьшается пропорционально жёсткости пружинных элементов обращено пропорционально эффективной плоскости мембраны.

В современных автономных изолирующих аппаратах со сжатой газовоздушной смесью используют разнообразные типы редукционных клапанов.

Шпильковый редуктор прямого действия (см. рис. 4.1.а) в своё время использовался в аппаратах РКРЗ, РКК1, РКК2, КИП5. редуктор такого же типа, но с разгруженным клапаном (см. рис. 4.1.а с деталью 11) используется в РДА BG 174 и Travox- 120 фирмы «Дрегерверн».

Редуктор обратного действия (см. рис. 4.1.б) с металлическим клапаном, который имеет форму конуса, и седлом из фторопласта используют в РДА Р12, Р30, Р35, а также в аппарате на сжатом воздухе АСВ-2М. поршневой редуктор обратного действия используется в конструкциях резервуарных аппаратов АИР-317 (217) и аппаратах на сжатом воздухе фирмы «Дрегерверк».

Это вызвано тем, что поршневой чувствительный элемент (см. рис. 4.2), который состоит из поршня и гильзы является самым эффективным при использовании в газовых редукторах, когда выходное давление имеет довольно большие значения. В следствии этого, к стати, давление  $P_2$  в камере редуктора АИР-317 (который составляет 0,7-0,5 МПа) значительно больше, чем в камере мембранного редуктора АСВ- 2МВ. В самоспасателе «OXI-SR45» фирмы «Дрегенверн» использован оригинальный редуктор обратного действия с разгруженным клапаном. Вместо мембраны в качестве чувствительного элемента в нем используется малогабаритный металлический сильфон.

Сильфонный чувствительный элемент (см. рис. 4.3) отличается от мембранного тем, что имеет линейную зависимость деформации от нагрузки, имеет больший ход, а его эффективная плоскость не зависит от давления. Кроме того, с помощью сильфонных чувствительных элементов наиболее простым способом можно обеспечить поддержание регулятором абсолютного давления на выходе путём образования герметической вакуумной сильфонной коробки.

Вследствие этого, в «OXI-SR45», хотя его статистическая характеристика немного хуже, чем в упомянутых выше, редуктор вписывается в цилиндр с диаметром 19 мм и является самой малогабаритной современной конструкцией газового редуктора, имеет такие ТТХ, что соответствуют условиям автономных изолирующих СИЗОД на сжатой газовоздушной смеси.



#### 4.3 лёгочные автоматы дыхательных аппаратов

лёгочный автомат – это нормаль закрытый с помощью пружин клапан, к которому подведён канал для подачи газа с редуцированным или высоким давлением. При открывании клапана кислород поступает в воздухопроводную систему РДА (воздух – в подмасочное пространство АСВ). если в конце вовремя опустошения мешка (камеры) в нём образуется заданное разрежение (200-300 Па), клапан лёгочного автомата открывается . это приводит к наполнению мешка кислородом (камеры воздухом) и, соответственно, уменьшение растворения.

Растворение, происходящее в мешке автомата другого типа, влияет на мембрану из эластичного тонкого материала (резины или ткани с резиной), которая с помощью ----- с большим передаточным отношением открывает клапан. Мембранный лёгочный автомат представляет собой отдельный узел, механически не связанный с дыхательным мешком. Он широко применяется в воздушных резервуарных аппаратах наземного типа и в аквалангах. В РДА мембранные лёгочные автоматы могут быть объединены в один блок с редуктором (КИП-8) или же выполнять и дополнительные функции

Так, например, в BG174 и «Травокс-120» фирмы «Дрегерверк» мембрана лёгочного автомата управляет также работой избыточного клапана.

Мембранные лёгочные автоматы более надежные, чем неудобные. Характеристика их считается устраиваемой, если они открываются при растворении 200МПа, а для получения потока кислорода (воздуха)с расходом 80-100л/мин. Необходимо растворение не более 500МПа. Но вследствие этого рабочий диаметр мембраны лёгочного автомата должен быть не менее 70-80 мм.

Уменьшение диаметра мембраны, уменьшение габаритов и массы достигаются в лёгочных автоматах третьего типа- пневмоусилителем. Наибольшее распространение среди РДА приобрел автомат с пневмоусилителем типа сопло-заслонка, который требует немногого ,но постоянного расхода газа для управления открыванием основного клапана (см. рис.4.4). Работа такой конструкции обеспечивается при постоянной подаче кислорода (1.2-1.5 л/мин.).

Строение автомата: корпус 1;подводной штуцер 2; основная мембрана 3; дроссель 4; пружина 5; мембрана 6 (которая управляет и выполняет роль заслонки); сопло 7. подводные штуцеры 8 и 9 (которые являются соединёнными с дыхательным мешком); основной клапан 10;пружина основного клапана 11.

Лёгочный автомат работает в следующих режимах. В период, когда в дыхательном мешке 10.

#### 4.4 Пример инженерного расчета \_\_\_\_\_ для вытекания кислорода.

Расчет большинства элементов воздухопроводной (кислородопроводной) системы выполняется преимущественно по формулам, которые приведены выше в (4.2), поскольку они подходят для расчета и анализа работы, как газовых редукторов, так и легочных автоматов. Совместно с этим для расчета других узлов имеют места другие подходы. В качестве устройства рассмотрим порядок \_\_\_\_\_ конечных соотношений, которые используют для расчета \_\_\_\_\_ для вытекания кислорода.

В основу расчета диаметра \_\_\_\_\_ для вытекания кислорода приведено уравнение неразрывности потока:

$$Q = S \cdot W \cdot \gamma_{mc} \cdot \quad (4.12)$$

где  $Q$  – количество кислорода, которое вытекает из \_\_\_\_\_ за единицу времени, кг/с;

$S$  – площадь \_\_\_\_\_ для вытекание кислорода,  $\text{м}^2$ ;

$W$  – скорость вытекания кислорода через \_\_\_\_\_,  $\text{м/с}$ ;

$\gamma_{nnc}$  – полезная масса газа среды, к которой идет вытекание,  $\text{кг/м}^3$ .

Как правило, количество газа известно, поскольку, например, в приведенном случае оно однозначно связано с постоянной подачей кислорода ( $q = 1,4$  л/ мин), а скорость вытекания и массу можно найти, используя физические возможности.

Так по законам динамики газов и курса термодинамики, скорость вытекания газов через \_\_\_\_\_ при адиабатном процессе определяется следующей независимостью:

$$W = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} p_2 \cdot V_2 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_{nnc}}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}. \quad (4.13)$$

где  $k = 1,4$  – показатель адиабаты кислорода (двухатомного газа);

$p_2$  – давление кислорода в камере редуктора (давление среды, из которой имеет место вытекание газа);

$p_{nnc}$  – давление газов паровоздушной смеси в воздухопроводной системе РДА (давление среды в которую вытекает газ);

$V_2$  – полезный объём камеры редуктора,  $\text{м}^3/\text{кг}$ .

Скорость вытекания газа из \_\_\_\_\_ зависит от давления среды, в которую он вытекает, до тех пор, пока её величина не превысит критического уровня, который равен скорости звука. Если скорость вытекания выше критической (выше скорости звука), то измерение давления  $p_{nnc}$  среды, в которую осуществляется вытекание, перестает влиять на скорость вытекания. В приведенном случае скорость вытекания будет зависеть от давления  $p_2$  в камере редуктора (давление среды из которой вытекает кислород).

Отношение давлений, по которому скорость вытекания достигает критического уровня, называется «критической». Величина критического отношения обуславливается уравнением:

$$\frac{p_{nnc}}{p_2} = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (4.14)$$

При вытекании кислорода величина критического отношения представляет собой:

$$\frac{p_{nnc}}{p_2} = \left( \frac{2}{1.4+1} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 0.528. \quad (4.15)$$

В РДА, которые нормально работают, отношение абсолютных давлений среды, в

которую вытекает кислород,  $P_{nnc}$  и среда, из которой он вытекает,  $P_2$ , всегда во всех узлах значительно меньше критического. Соответственно, скорость вытекания кислорода всегда выше критической, то есть во всех случаях вытекания кислорода происходит со звуковой скоростью. Вследствие этого, при расчетах выпускных \_\_\_\_\_ деталей РДА можно ориентироваться на критическое отношение  $P_{nnc}/P_2$ .

Учитывая это, в уравнение (4.13) можно подставить величину критического отношения  $P_{nnc}/P_2$ . Если возвести две части уравнения (4.14) в степень  $\frac{k-1}{k}$ , получим:

$$\left( \frac{P_{nnc}}{P_2} \right)^{k-1} = \frac{2}{k+1}. \quad (4.16)$$

Процесс вытекания кислорода отклоняется от адиабатического, поскольку в реальных условиях газ трется о стенки дросселя, вследствие чего в этой зоне имеет место теплообмен. Учитывая это, после элементарных алгебраических преобразований формулу (4.13) можно представить следующим образом:

$$W = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot P_2 \cdot V_2} \quad (4.17)$$

где  $\mu = 0,9$  – коэффициент вытекания, который учитывает отклонение процесса от адиабатического.

Полезная масса  $Y_{впс}$  газовой смеси, воздухопроводной системы, в которую вытекает кислород, может быть выражена через полезный объем воздухопроводной системы таким образом:

$$\gamma_{nnc} = \frac{1}{V_{впс}}, \quad (4.18)$$

где  $V_{впс}$  – полезный объем воздухопроводной системы РДА, м<sup>3</sup>/кг.

Поскольку в уравнение (4.17) входит полезный объем  $V_2$  газа среды в камере редуктора, из которого происходит вытекание, то в уравнении (4.18) свойственно  $V_2$  представить через  $V_{впс}$ . Это возможно в следствии того, что при адиабатном процессе вытекания смена давления газа осуществляется обратно пропорционально объему, который возводится в степень  $k$ , то есть

$$\frac{P_2}{P_{nnc}} = \left( \frac{V_{nnc}}{V_2} \right)^k. \quad (4.19)$$

Откуда,

$$V_{nnc} = V_2 \cdot \left( \frac{P_2}{P_{nnc}} \right)^{\frac{1}{k}}. \quad (4.20)$$

Подставляя полученное значение  $V_{ВПС}$  в формуле (4.18) и заменяя отношение давлений его критическим значением по (4.16), получаем :

$$\gamma_{nnc} = \frac{1}{V_2} \cdot \left( \frac{p_{nnc}}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}} = \frac{1}{V_1} \cdot \left( \frac{2}{k+2} \right)^{\frac{1}{k-1}}. \quad (4.21)$$

Подставляем полученные значения скорости вытекания кислорода (4.17) и полезной массы газовой смеси в воздухопроводной системе (4.21.), в которую происходит вытекание, в уравнение неразрывности потока (4.12) и получаем:

$$\begin{aligned} Q &= S \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot P_2 \cdot V_2} \cdot \frac{1}{V_2} \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} = \left| \frac{2}{k-1} + 1 = \frac{k+1}{k-1} \right| = \\ &= S \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot P_2 \cdot V_2 \cdot \frac{1}{V_2^2} \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}} = \\ &= S \cdot \mu \cdot \sqrt{k \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \cdot \frac{P_2}{V_2}}. \end{aligned} \quad (4.22)$$

Из уравнения Менделеева – Клапейрона

$$P_2 \cdot V_2 = R \cdot T \quad (4.23)$$

где  $R = 260$  – полезная газовая постоянная кислорода, Дж/(кг\*К);

$T$  - абсолютная температура в зоне вытекания, К;

находим, что

$$V_2 = \frac{RT}{P_2} \quad (4.24)$$

После подстановки (4.24) и (4.25) получим:

$$Q = S \cdot \mu \cdot P_2 \cdot \sqrt{\frac{k}{RT} \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (4.25)$$

Когда в зоне вытекания принять, что абсолютная температура  $T = 293^0$  К (нормальные условия), а также подставить постоянные величины  $k = 1.4$  и  $R = 260$  Дж/(кг\*к), формула (4.25) примет вид:

$$Q = S * \mu * P_2 * \sqrt{\frac{1.4}{260 * 293} * \left(\frac{2}{1.4 + 1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \approx 0.00248 * S * \mu * P_2 \quad (4.26)$$

Из выражения (4.26) можно найти необходимую ----- для вытекания кислорода:

$$S \approx \frac{Q}{0.00428 * \mu * P_2}, \quad [м^2] \quad (4.27)$$

а также соответствующий диаметр:

$$d \approx \sqrt{\frac{4Q}{314 * 0.00428 * \mu * P_2}} \approx 22.66 * \sqrt{\frac{Q}{\mu * P_2}}, [м] \quad (4.28)$$

для примера приведём расчет диаметра ----- РДА КИП-8, принимая, что давление  $p_2$  в камере редуктора будет 0.58 МПа, постоянная подача составляет  $q=1.4$  л/мин. учитывая то, что кислород имеет плотность 1.42895 г/л, выражение (4.28) принимает вид:

$$d \approx 22.66 * \sqrt{\frac{1.4 * 1.42895 * 10^{-3}}{60 * 0.9 * 5.8 * 10^5}} \approx 1.8 * 10^{-4} \text{ м} \approx 0.18 \text{ мм}. \quad (4.29)$$

приведённый пример свидетельствует, что расчёт автономного изолирующего аппарата является очень сложной инженерной задачей.

Кроме того, необходимо учитывать и то, что по технологическим особенностям изготовления, например, ----- для вытекания кислорода его размер может несколько отличаться от расчетного. Также может колебаться и коэффициент  $\mu$  вытекания. В тоже время постоянная подача  $q$  должна быть равна заданному уровню (1.4 л/мин). анализ выражения (4.27) свидетельствует, что это можно обеспечить за счет регулирования давления  $p_2$  в камере редуктора. Как было указано раньше в 4.2, для этого в редукторе приспособлена пружина.

Необходимость в дополнительной порции кислорода во время тяжелой и очень тяжелой работы выполняется с помощью лёгочного автомата. Расчет диаметра клапана выполняется похожим образом.

## 4.5 Подача кислорода регенеративных дыхательных аппаратов

### 4.5.1 Особенности подачи кислорода РДА

В идеальном случае система подачи кислорода идеального РДА должна соответствовать следующим требованиям:

1) подавать кислород в воздухопроводную систему РДА с объёмной затратой, которая равна скорости потребления его газодымозащитником.

2) обеспечивать оптимальный уровень объёма кислорода во вдыхаемом воздухе, чтобы он близким к его объёмной доле непосредственно в атмосферном воздухе (21%)

таким условиям соответствуют автоматические системы регенерации воздуха в герметичных помещениях, например, в подводных лодках и космических кораблях. Их характеризует относительная сложность, но в тоже время, они поддерживают заданную

объёмную долю кислорода, обеспечивая экономичный расход и максимально возможное время работы. Подача кислорода происходит по командам газоанализатора, который постоянно контролирует количество кислорода в воздухе. Использование такого способа подачи кислорода в автономных изолирующих аппаратах на сегодня почти невозможно, поскольку вызывает очень много технических трудностей связанных, в первую очередь, с повышением массогабаритных характеристик.

Система подачи кислорода реального РДА отличается от системы идеального аппарата следующим:

- во-первых, отсутствием контроля за объёмной доли кислорода во вдыхаемом воздухе;
- во-вторых, отсутствием обратной связи, которая бы управляла подачей кислорода.

Вследствие этого, система подачи кислорода реального РДА не является стойкой к составу кислорода во вдыхаемом воздухе. Это приводит к тому, что в случае подачи кислорода в меньшем объёме, чем это необходимо для потребления его газодымозащитником, происходит очень быстрое уменьшение объёмной доли его Во вдыхаемом воздухе, поскольку легкие и воздухопроводная система аппарата имеют очень небольшой суммарный объем (около 12 л). В тоже время увеличение количества кислорода в газовой смеси, которая находится в воздухопроводной системе, происходит в том случае, когда его подача даже в незначительной степени больше того уровня, который потребляется.

Но, поскольку обеспечение безопасности является главной задачей изолирующего аппарата, во всех современных РДА происходит избыточная подача кислорода. К особенностям работы в реальном РДА относится также возможность накопления в дыхательной системе «аппарат - органы дыхания» (РДА-ОД) инертной части газовой смеси (азот, аргон и др.)

Источники накопления азота:

- непосредственно сам газообразный кислород (или жидкий), в котором объёмная доля азота, находящегося в виде примеси, составляет 0.8%;
- азот, проникающий вследствие подсосов окружающего воздуха сквозь неплотности;
- некоторое количество азота постоянно находится в растворённом состоянии крови и в тканях. Его парциальное давление соответствует парциальному давлению азота в окружающем атмосферном воздухе. Парциальное давление азота в воздухе, который вдыхает газодымозащитник, находящийся в аппарате, значительно ниже, чем в атмосфере. Это приводит к тому, что некоторое количество азота выделяется из организма в систему РДА-ОД.

Поскольку дыхательная система РДА-ОД имеет постоянный и относительно небольшой объём, накопление азота в ней приводит к опасному снижению объёма кислорода. В связи с тем, что выброс инертных газов из дыхательной смеси путём их поглощения невозможен, единственным путём является продувка системы. Таким образом:

Способ подачи кислорода РДА – это совокупность способов подачи кислорода и продувки от инертных газов, накапливающихся в системе (в первую очередь азота).

#### **4.5.2. Закономерности кислородоподдачи**

На рис. 4.5 приведена схема, которой специально пользуются, чтобы установить закономерности изменения содержания кислорода в замкнутой системе РДА-ОД.

Эластичные части воздухопроводной системы РДА (дыхательный мешок) и органы дыхания (лёгкие) условно показаны в виде двух соединённых силфонов.

Во время выведения уравнений принимаются следующие поправки:

- объём системы РДА – органы дыхания (ОД) во время дыхания неизменный, то есть

$$V_c = \text{Const} \quad (4.30)$$

- внутри системы происходит идеальное перемешивание газов;  
 - поступление в систему газов или газозооушных смесей и удаление из неё происходит безперерывно и равномерно.

Считается, что в дыхательную систему, которая имеет постоянный объём  $V_c$  (л), подаётся  $\omega_c$  (л/мин) углекислого газа, выделяющегося организмом газодымозащитника,  $\omega_m$  (л/мин) кислорода из баллона и подсасывается  $\omega_n$  (л/мин) воздуха из окружающей среды.

Из системы выбрасывается  $\omega_s$  (л/мин) кислорода, потребляемого организмом,  $\omega_y$  углекислого газа, который постоянно поглощается в регенеративном патроне, и  $\omega_r$  (л/мин) дыхательной смеси выбрасывается в атмосферу по продувочному устройству.

Поскольку  $\omega_y = \omega_c$ , то уравнение материального баланса системы принимает вид:

$$\omega_m + \omega_n = \omega_s + \omega_r. \quad (4.31)$$

пускай в некоторый момент времени доля кислорода в системе составляет  $C_i$ , соответственно, количество кислорода  $C \cdot V_c$ . За отрезок времени  $dt$  систему поступит  $(a \omega_m + b \omega_n) dt$  и выделится  $(\omega_s + C \omega_r) dt$  кислорода (а и b- объёмные доли, соответственно, в баллоне и в воздухе, который подсасывается). Это же изменение количества кислорода может быть выражено как приток объёма системы  $V_c$  на изменение объёмной доли  $V_c dC$  на изменение объёмной доли  $V_c dC$ . Тогда :

$$(a \omega_m + b \omega_n - \omega_s - C \omega_r) dt = V_c dC. \quad (4.32)$$

проинтегрируем уравнение (4.32) в пределах от начального количества объёмной доли кислорода  $C_0$  до той объёмной доли  $C$  кислорода, которую необходимо найти, и развяжем относительно последнего. Для этого сначала обозначим:

$$a \omega_m + b \omega_n - \omega_s = A \quad (4.33)$$

Тогда:

$$(4.34)$$

или

$$\Phi-4.35$$

поскольку

$$\Phi-4.36$$

То

$$\Phi 4.37$$

Учитывая то, что

$$\Phi-4.38$$

Имеем

$$\Phi-4.39$$

$$\Phi-4.40$$

$$\Phi-4.41$$

$$\Phi-4.42$$

$$\Phi-4.43$$

В результате, обратившись к (4.33), получим:

$$\Phi-4.44$$

Из уравнения (4.44) получается, что второй член правой части стремится к нулю, а объёмная доля кислорода асимптотично стремится к предельному уровню:

Ф-4.45

С учетом этого (4.44) принимает вид:

Ф-4.46

Если продифференцировать (4.46) по времени  $t$ , получим скорость изменения объёмной доли кислорода в системе РДА-ОД:

Ф-4.47

Анализ полученных уравнений показывает, что в общем случае при наличии продувки  $\omega_r$  и подсосов окружающего воздуха  $\omega_n$  объёмная доля кислорода  $C$  стремится к предельному значению  $C_{\text{пред}}$ , уровень которого можно найти по (4.45). Если в начальный момент  $t_0$  объёмная доля кислорода  $C_0$  меньше предельного уровня  $C_{\text{пред}}$  (то есть  $C_0 < C_{\text{пред}}$ ), то происходит повышение количества кислорода в системе, если же  $C_0 > C_{\text{пред}}$  - уменьшение. Скорость изменения количества кислорода тем больше, чем его количество в начальный момент времени отличается от предельного уровня.

Кроме того, эта скорость увеличивается с повышением продувки  $\omega_r$  и уменьшением вместимости системы  $V_c$ .

Отсюда вытекает основное требование. Которое относится к способу кислородоподачи, - предельная объёмная доля кислорода в воздухе РДА должна быть минимально допустимой доли его во вдыхаемом воздухе:

Ф-4.48

Поскольку требование (4.48) должно выполняться автоматически без управления газодымозащитником режимом работы РДА, в общем принимают предельный уровень  $C_{\text{пред}} > 0.5$ .

Существует три основных способа кислородоподачи.

Первым, наиболее простым, является подача кислорода, которая не зависит от потребления его газодымозащитником ( $\omega_m = \text{Const}$ ). Её размер принимается на уровне потребления во время выполнения тяжёлой работы, но не менее 2 л/мин. продувка осуществляется через избыточный клапан за счет превышения подачи над потреблением кислорода. При кратковременной очень тяжёлой работе постоянная подача кислорода не обеспечивает необходимость газодымозащитника в нем. В этом случае дополнительная подача кислорода осуществляется байпасом вручную.

Такой способ подачи кислорода РДА со сжатым воздухом применялся в Германии с начала 20-го столетия, а в Великобритании (аппарат «Прешо»)- до середины 20-го столетия. На сегодня он используется в РДА с жидким кислородом, в которых значительно объёмный расход газификации сжиженного газа (6-12 л/мин) необходима для эффективного охлаждения воздуха РДА.

Характерными особенностями РДА с постоянной подачей кислорода являются:

- неэкономный расход кислорода;
- очень большое количество кислорода во вдыхаемом воздухе (более 90% при какой-либо нагрузке);
- относительная опасность заазочивания системы.

Ко второму, наиболее распространенному способу, относится подача кислорода (постоянная и легочно- автоматическая) с продувкой через избыточный клапан.

Третий, со стороны технического рассмотрения наиболее сложный, способ (группа способов) – поступление кислорода с экономичным расходом его запаса.

#### 4.5.3 Способ комбинированной подачи кислорода в системе РДА



Комбинированная подача кислорода появилась после использования в конструкции РДА в 1924 году лёгочного автомата. На сегодня она используется в большинстве аппаратов со сжатым кислородом. Этот способ подачи кислорода характеризуется:

- простотой и надёжностью кислородоподающих и продувочных устройств;
- стойким количеством кислорода в воздухе, которым дышит газодымозащитник;
- довольно экономичным расходом запаса кислорода.

Подача кислорода при комбинированном способе описывается уравнением в виде:

$$\Phi-4.49$$

Где  $q$  - постоянная подача кислорода, л/мин.;

$q_{л/а}$  – лёгочно - автоматическая подача кислорода (средняя за последний отрезок времени), которая дополняет основную подачу  $q$ =тогда, когда последняя не обеспечивает нужду газодымозащитника в кислороде, л/мин.

Дыхательный мешок такого РДА, в зависимости от потребления газодымозащитником кислорода, может работать в двух режимах (рис. 4.6). Если потребление кислорода меньше его постоянной подачи  $q$ , то кривая пульсации мешка располагается ближе к уровню работы избыточного клапана, который открывается в конце выдохов и выпускает избыточную газовую смесь в окружающую среду, осуществляя тем самым продувку системы. Такой режим называется избыточным. Он является безопасным по отношению к заазотчиванию дыхательной системы РДА-ОД.

Когда газодымозащитник потребляет кислорода больше, чем обеспечивает постоянная подача, кривая пульсации смещается в сторону уменьшения объёма мешка и прижимается к уровню работы лёгочного автомата. В этом случае лёгочный автомат в конце вдохов подает в систему порцию кислорода, которая компенсирует недостаток постоянной подачи. При таком режиме, который называется лёгочно-автоматическим, продувка дыхательной системы отсутствует. В следствии этого, появляется опасность её заазотирования.

Ещё существует промежуточный (переходный) режим, во время которого не работают ни избыточный клапан, ни лёгочный автомат, то есть подача кислорода в систему в этом случае соответствует его потреблению. В таком режиме аппарат работает кратковременно, при переходе от избыточного до лёгочно – автоматического режима и наоборот.

Рассмотрим особенности изменения количества кислорода в системе РДА-ОД при комбинированной его подаче. По условию сохранения объёма дыхательной системы обозначим продувку для избыточного режима:

$$\Phi-4.50$$

Поскольку (как это рассматривалось в третьем разделе) подсос окружающего воздуха:

$$\Phi-4.51$$

где  $K_{п}$  – коэффициент подсоса;

а лёгочную вентиляцию  $\omega_{л}$  можно выразить через потребление кислорода  $\omega_{s}$  газодымозащитником и коэффициент  $S_0$  его отбора из дыхательной смеси:

$$\Phi-4.52$$

то (4.50) можно представить в виде:

$$\Phi-4.53$$

После подстановки (4.53) в (4.46) получим следующее выражение для обозначения объёмной доли кислорода в системе при избыточном режиме работы:

$$\Phi-4.54$$

$$\Phi-4.55$$

Работа в избыточном режиме происходит до такого уровня потребления кислорода  $\omega_{s}$ , при котором продувка будет равна нулю. Указанный уровень находят из уравнения (4.53),

приняв  $\omega_r=0$ :

Ф-4.56

Ф-4.57

При избыточном режиме увеличивается объёмная доля кислорода. Если отсутствуют подсосы воздуха ( $K=0$ ), то предельная доля кислорода:

Ф-4.58

Которая при уменьшении  $\omega_s$  стремится к объёмной доле кислорода в баллоне **а** при этом необходимо отметить, что при реальных значениях объёмной доли кислорода **а**, коэффициента подсоса  $K_p$ , коэффициента отбора  $S_0$  кислорода из дыхательной смеси, объёма баллона  $V_c$  и постоянной подачи  $q$ =значение  $C_{пред}$  находится на уровне 85-98%, что подтверждает опасное влияние работы в РДА на здоровье газодымозащитников.

Изменение объёмной доли кислорода в лёгочно- автоматическом режиме, когда отсутствует продувка, находится путём подстановки в (4.53)  $\omega_r=0$ . После этого выражение (4.46) принимает неопределённый вид, поскольку

Ф-4.59

и, соответственно

Ф-4.59

Раскроем неопределённость. В соответствии с правилом Лопиталя:

Ф-4.60

Поскольку

Ф-4.61

То

Ф-4.62

Тогда

Ф-4.63

Учитывая, что

Ф-4.64

Можно записать

Ф-4.65

Из уравнений (4.64) и (4.65) видно, что при приведённом режиме работы объёмная доля кислорода не стремится к какому-то определённому пределу, а непрерывно уменьшается по линейному закону и может быть равна нулю. Максимальная скорость уменьшения объёмной доли кислорода будет при существовании подсосов воздуха, особенно в бескислородной среде (при  $b=0$ ), а при их отсутствии:

Ф-4.66

То есть возможность заазотирования дыхательной системы при лёгочно-автоматическом режиме работы достаточно реальна. В связи с этим, в РДА с комбинированным способом подачи кислорода постоянная подача кислорода устанавливается в пределах от 1,2-1,7 л/мин (нормальные условия). Большинство работ, которые выполняются в РДА связано с меньшим средним потреблением кислорода, в результате чего РДА работает в избыточном режиме довольно долго. Время выполнения тяжёлых работ в РДА без продувки в лёгочно-автоматическом режиме ограничивается физиологическими возможностями газодымозащитника. Чем больше физическая нагрузка, тем быстрее он понижает темп работы и переходит в безопасный избыточный режим. В следствии этого, во время работы в лёгочно-автоматическом режиме объёмная доля кислорода в воздухопроводной системе РДА не успевает снизить до безопасной границы.

Таким образом, безопасность труда по отношению к заазочиванию обеспечивается за счет природного чередования периодов в тяжелой и легкой работы.

Степень безопасности дыхания при комбинированном способе кислородоподачи зависит от верного выбора постоянной подачи кислорода. В своё время в респираторе РКК2 она составляла 1,2 л/мин (нормальные условия). Исследование показали, что такой уровень является не достаточным для обеспечения безопасного уровня содержания кислорода. В РДА фирмы «Дрегерверк» уже больше 50 лет принята постоянная подача кислорода 1,5 л/мин.. В отечественных РДА с 1963 года регламентирована постоянная не менее 1,3 л/мин (нормальные условия). При такой постоянной подачей кислорода продувка обеспечивает также удаление из дыхательной системы азота, выделяющегося из организма.

Важным требованием безопасности в РДА с комбинированным (а также экономным) способом подачей кислорода является высокая объёмная доля кислорода дыхательной системе на начале аппарата-замены. Это достигается во время выполнения боевой проверки РДА трех кратной продувки системы через легочный автомат (вдохи из аппарата, выдохи в атмосферу) или путем заполнения дыхательного мешка с помощью байпаса.

## **5 Обеспечение воздухом дыхания газодымозащитника.**

### **5.1 Баллоны для хранения запаса воздуха или кислорода.**

В нашей стране в аппаратах на сжатом воздухе используют баллоны ёмкостью от 3 до 8 литров, а в РДА – от 0,4 до 2 литра. Последние изготавливают из углеродной или легированной стали (в том случае такие, которые имеют стеклопластиковую оплётку). Рабочее давление в последних рассчитанно до 30 МПа.

Условный запас газовойоздушной смеси (воздуха или кислорода) в баллоне определяют умножением емкости последнего на рабочее давление в МПа и увеличением полученного результата в сто раз. Фактический запас газовойоздушной смеси несколько отличается от условного. Так в двухлитровом баллоне РДА дыхательного аппарата при давлении в 20 МПа при температуре в 20<sup>0</sup>С и нормальных окружающих условиях фактическое количество кислорода составляет 416 л, тогда как условное – 400 л. Это объясняется тем, что при больших уровнях давлений (20 МПа и больше) реальные газы сжимаются. По фактическому запасу газовойоздушной смеси используют расчет её запаса во время разработки и исследования изолирующих аппаратов.

Масса баллона с кислородом составляет около одной третьей части от общей массы РДА. Значительно больше это соотношение в резервуарных аппаратах, в которых оно не менее 80%. Для уменьшения массы изолирующих аппаратов на сегодня серийно выпускаются облегченные баллоны из высоколегированной стали. Кроме того, для уменьшения массы баллонов при сохранении заданной мощности корпуса их изготавливают из более тонкой стали, чем это требуется по расчетам, и армируют крепкой металлической проволокой, которая навивается с большим натяжением.

При замене проволоки стеклопластиковыми жгутами получают ещё большее снижение массы баллонов, поскольку плотность стекловолокна, которое промачивается эпоксидной смолой и поддается полимеризации, почти в четыре раза меньше плотности стали при высоком уровне границы крепости. Уменьшение массы баллона при замене стальной проволоки стеклопластиковыми жгутами по расчетам достигает 40 %. Но необходимо принять во внимание то, что сварные баллоны с оплёткой из стеклопластиковых жгутов отличаются, по сравнению с другими баллонами, уровнем взрывоопасности.

### **5.2 Особенности расчета времени работы в непригодной для дыхания среде.**

Среди общих обязанностей ГДЗС ПО одной из наиболее важных является умение выполнять расчет времени  $t_p$ , которое можно затратить на выполнение боевой работы в непригодной для дыхания среде. При этом каждом конкретном случае известен тип аппарата и его характеристики (в первую очередь, объём баллона  $V_b$ ), а также начальное давление  $P_{нач}$ , которое было в баллоне (баллонах) на момент включения. Кроме того, постовой на посту безопасности и командир отделения ГДЗС определяют на сколько уменьшается давление в баллонах во время  $t_{вх}$  (которое тоже фиксируют) движения к очагу пожара.

Поскольку известные уравнения лёгочной вентиляции  $\omega_d$ , соответствующие выполнению работ разной степени тяжести (в большинстве случаев  $\omega_d = 30 \div 40$  л/мин), то, чтобы обеспечить дыхание газодымозащитнику во время входа  $t_{вх}$ , необходимо иметь воздух в количестве:

#### Ф-5.1

Это касается как резервуарных, так и РДА.

Рассмотрим аппараты со сжатым воздухом. Учитывая закон Бойля- Мариотта, давление  $P_{вх}$ , на которое уменьшится начальное  $P_{нач}$  за время входа  $t_{вх}$ , исчисляется следующим образом:

#### Ф-5.2

Где  $P_a \approx 0.1$  МПа- атмосферное давление (давление окружающей среды)

Давление, которое необходимо иметь, что бы обеспечить нормальный вход,  $P_{вых}$  должно быть больше давления  $P_{вх}$ , затраченного на время входа, на некоторый уровень  $P_{рез}$ , который необходимо резервировать каждый раз. То есть

#### Ф-5.3

При производстве аппаратов на сжатом воздухе используются редукторы обратного действия, для которых характерно (см. разд. 4.2) увеличение давления  $P_2$  в камере редуктора по мере того, как давление в баллоне становится меньше указанного в эксплуатационной документации для обеспечения нормального режима работы  $P_{изл}$ . В следствии этого, уменьшение давления в баллоне ниже нормативного уровня можно не учитывать и считать, что

#### Ф-5.4

Таким образом, предвидим, что резервное давление  $P_{рез}$  может быть истрачено только в непредвиденных случаях. Как правило, на этот уровень настраивают дополнительный индикатор давления в баллоне. В АСВ-2, например, выключатель резерва срабатывает при  $P_{рез} \approx 5$  МПа.

При установке уровня  $P_{рез}$  исходят из того, что время пребывания в непредвиденных обстоятельствах  $t_{рез}$ , не будет превышать более 5-10 минут. Так для АСВ-2, который имеет шестилитровый баллон:

#### Ф-5.5

Можно считать, что

#### Ф-5.6

$P_{вх}$  – уровень на который уменьшится давление в баллоне за время  $t_{вх}$  прибытия к месту работы;

$P_p$ - уровень на который может уменьшится давление в баллоне за время  $t_p$  непосредственно боевой работы;

$P_{вых}$ - минимальный размер давления, при котором необходимо начать выход.

То есть

#### Ф-5.7

Понятно, что (5.6) и (5.7) имеют место как при работе в аппаратах на сжатом воздухе,

так и в РДА.

Согласно закону Бойля- Мариотта, можно предвидеть, что во время  $t_p$  непосредственно выполнения боевой работы в непригодной для дыхания среде будет затрачено воздуха из баллона в количестве:

Ф-5.8

Можно предвидеть, что время  $t_p$  не должно быть больше чем

Ф-5.9

Используя вышеприведённый подход, кроме соотношений, которые необходимо использовать подразделению ГДЗС, можно оценить и некоторые конструктивные характеристики. Так, зная материал, из которого предполагается изготовление баллона, и соответственно, максимальное рабочее давление  $P_{max}$  в нем, а также предполагаемое время защитного действия  $t_z$  аппарата, можно сделать вывод об объёме баллона (баллонов):

Ф-5.10

И наоборот, при известных требованиях к общему времени защитного действия  $t_z$  и объёма баллона  $V_6$  требования к материалу предъявляются такие, чтобы обеспечить

Ф-5.11

Подобным образом подойти и к рассмотрению РДА. При чем, при этом необходимо учитывать то, что, поскольку цикл дыхания замкнутый (см. разд. 2.3), подача кислорода из баллона должна быть такой, чтобы компенсировать кислород, который расходуется в процессе дыхания.

Из этого следует, что в начале работы в аппарате необходимо иметь запас кислорода:

Ф-5.12

Который должен быть сжатым до уровня  $P_z$ , обеспечивающего заданное время  $t_z$  защитного действия:

Ф-5.13

В КИП-8, имеющем однолитровый баллон и два часа защитного действия, который при выполнении работы средней степени тяжести:

Ф-5.14

и, соответственно, кислород должен быть сжатым до уровня:

Ф-5.15

При том, необходимо помнить, что при производстве РДА для обеспечения постоянной подачи используют как редуктор обратного действия, так и редукторы прямого действия. Нормальная работа последних обеспечивается при давлении кислорода в баллоне  $P_6$ , которое должен быть больше некоторого избыточного  $P_{изб}$  :

Ф-5.16

Обычно при использовании редукторов обратного действия, как было отмечено раньше, можно считать, что  $P_{изб}=0$ .

**То есть максимальное давление кислорода в баллоне РДА должно быть не меньше**

Ф-5.17

Например, для КИП-8, обеспеченного редуктором прямого действия, который обеспечивает нормативный уровень давления в камере редуктора (0.4 ÷ 0.58 МПа) в том случае, когда давление кислорода в баллоне находится в пределах от 20 до 3 МПа, считается, что  $P_{изб}$  (КИП-8)=3МПа. То есть начальное давление в баллоне  $P_{нач}$  (КИП-8) должно находится в пределах:

Ф-5.18

Аналогичное соотношение имеет место для начального давления кислорода в баллоне и в общем случае:

Ф-5.19

Как и для аппаратов на сжатом воздухе, действующим является соотношение (5.6).показатель подачи кислорода  $q$  можно считать известной величиной, поскольку, как было отмечено в р.4, для РДА на сжатом кислороде, конструкция которых предвидит постоянную подачу  $q$ , во время пребывания в спокойной и при выполнении лёгкой работы средней степени тяжести  $q=q\approx 1.4$  л/мин. в других случаях, когда имеет место соединение постоянной и легочно- автоматической подач,  $q=q+q_{л/а}\approx 2$  л/мин. За время  $t_{вх}$  прибытия к месту боевой работы давление в баллоне уменьшится на :

Ф-5.20

На случай возникновения непредвиденных обстоятельств Наставление по ГДЗС МЧС России нормирует размер того давления, которое необходимо резервировать:

Ф-5.21

В случае работы в метрополитене или других сооружениях, которые имеют сложные конструктивно- планировочные решения и значительные размеры, этот уровень рекомендуется принимать как

Ф-5.22

То есть, учитывая (5.16), минимальное давление, при котором необходимо начинать возвращение из места боевой работы, должен быть (в большинстве случаев):

Ф-5.23

Для КИП-8, например, он рассчитывается так:

Ф-5.24

где  $P_3$ - давление  $P_{изб}$ , при котором обеспечивается нормальная работа редуктора, МПа

Ф-5.25

где  $Q_{pO_2}$  – количество кислорода (л), которое предполагается затратить из баллона для регенерации воздуха в воздухопроводной системе РДА во время выполнения боевой работы.

### **5.3 методические рекомендации по расчету расхода воздуха (кислорода) при работе в средствах индивидуальной защиты органов дыхания**

#### **5.3.1 общие положения**

- умение рассчитывать предполагаемое время выхода звена ГДЗС и давление воздуха (кислорода) в баллоне (баллонах), при котором звену необходимо возвратиться на чистый воздух, является обязательным требованием ко всем подразделениям ГДЗС.

-расчет расхода воздуха (кислорода) должен выполняться при работе во всех средствах СИЗОД, в том числе и тех, которые не рассмотрены в Наставлении по ГДЗС МЧС РОССИИ.

-расчет расхода воздуха (кислорода) при работе звена ГДЗС выполняется при давлении в баллоне (баллонах) того газодымозащитника, показания на манометре которого наиболее меньшие.

#### **5.3.2. рекомендации по расчету временных характеристик и давления в баллоне (баллонах) при работе в аппаратах на сжатом воздухе.**

1. При работе в аппаратах на сжатом воздухе для возвращения от места работы на чистый воздух необходимо оставить давление воздуха, равное падению давления при направлении к месту работ, плюс резерв запаса воздуха на непредвиденные обстоятельства, которые численно равны давлению, при котором срабатывает дополнительный индикатор давления (звуковой сигнал, выключатель резерва).

#### Примечание:

- с целью унификации требований ко всем аппаратам на сжатом воздухе, которые используются в гарнизоне, резервное давление воздуха в баллоне (баллонах) допускается принимать равным 5 МПа (50 кгс/см<sup>2</sup>);

-во время работы в подземных сооружениях метрополитена, многоэтажных подвалах и сложной планировкой, а также при работе в аналогичных сооружениях, имеющих большие объёмы, при выполнении спасательных работ, связанных с переноской пострадавших по решениям руководителя тушения пожара запас кислорода на возвращение необходимо увеличить не менее чем в два раза.

2. для расчета давления воздуха, обеспечивающего работу в непригодной для дыхания среде, необходимо от давления воздуха в баллонах (без учета давления, необходимого для возвращения к месту работы) отнять давление, резервируемое на возвращение на чистый воздух.

3. для определения количества воздуха, обеспечивающего работу в непригодной для дыхания среде, необходимо соответствующее давление воздуха в баллоне (баллонах) на его (их) объём разделить на атмосферное давление.

4. для определения приблизительного времени работы в непригодной для дыхания среде необходимо соответствующее количество воздуха разделить на лёгочную вентиляцию, характерную для тяжести выполняемой работы.

Примечание : при работе особой сложности в обычных условиях пожара, для которых характерно выполнение работ средней тяжести и тяжелых, лёгочная вентиляция принимается равной 40 л/мин.

5. для определения приблизительного давления воздуха в баллоне (баллонах), которое обеспечивает работу в непригодной для дыхания среде на протяжении заданного времени, необходимо это время, соответствующее лёгочной вентиляции и атмосферному давлению, разделить на объём баллона (баллонов).

6. для определения ожидаемого времени возвращения из непригодной для дыхания среды давление воздуха в баллонах (в случае работы в аппаратах, имеющих звуковой сигнал, сперва отнять давление, при котором он срабатывает) умножить на их объём и разделить на ---- лёгочной вентиляции и атмосферного давления.

7 для аппаратов на сжатом воздухе, которыми оснащен личный состав (для Харьковского гарнизона – АСВ-2 и Дрегер)и которые имеют объём баллонов, равный 8 литрам, приблизительное время работы в непригодной для дыхания среде допускается рассчитывать исходя из того, что падение давления в баллонах за 1 минуту составляет приблизительно:

- при работе газодымозащитников в обычных условиях пожара-5 кгс/см<sup>2</sup> (то есть для оценки времени соответствующее давление в кгс/см<sup>2</sup> можно разделить на 5(кгс/см<sup>2</sup>)/мин) или 0.5МПа (для оценки времени соответствующее давление в МПа можно умножить на 2 мин/МПа);

- в случае выполнения лёгкой работы – 3кгс/см<sup>2</sup> (для оценки времени соответствующее давление в кгс/см<sup>2</sup> можно разделить на 3 (кгс/см<sup>2</sup>)/мин ) или 0,3 МПа (для оценки времени соответствующее давление в МПа можно умножить на 3,3 мин/МПа);

- в случае выполнения тяжелой работы - 7 кгс/см<sup>2</sup> (для оценки времени соответствующее давление в кгс/см<sup>2</sup> можно разделить на 7 (кгс/см<sup>2</sup>)/мин) или 1.4 МПа (для оценки времени соответствующее давление в МПа можно умножить на 0,7 мин/МПа).

### **5.3.3. Рекомендации для расчета временных характеристик и давления кислорода в баллоне при работе в РДА.**

1.при работе в РДА для возвращения от места работы на чистый воздух необходимо оставить давление кислорода, равное падению давления при возвращении к месту работ, плюс половину этого количества на непредвиденные обстоятельства и, и в случае использования аппарата, система постоянной подачи которого обеспечивается работой газового редуктора прямого действия, плюс избыточное давление в баллоне, необходимое для нормальной работы редуктора.

Примечание:

- в респираторе Р30 избыточное давление не учитывается, потому что в системе подачи кислорода используется редуктор обратного действия;

- в КИП-8 избыточное давление, необходимое для нормальной работы редуктора, составляет 3 МПа (30 кгс/см<sup>2</sup>);

- при работе в подземных сооружениях метрополитена, многоэтажных подвалах со сложной планировкой, а также при работе в аналогичных сооружениях, имеющих сложные конструктивно – планировочные решения, по решению РТП запас кислорода на возвращение необходимо увеличить не менее чем в два раза.

2. Для определения примерного времени работы в непригодной для дыхания среде необходимо от давления в баллоне (без учета кислорода, затраченного на путь к месту работ) отнять давление, необходимое для возвращения на чистый воздух, умножить полученный результат на объём кислородного баллона и разделить на приток атмосферного давления и средний расход кислорода.

Примечание : учитывая то, что средний расход кислорода представляет собой сумму постоянной ( $\approx 1,4$  л/мин) и лёгочно-автоматической (40÷л/мин в случае возникновения разряжения в дыхательном мешке) подач, рекомендуется принять его равным 2 л/мин.

-для определения предполагаемого (максимальновозможного) времени возвращения звена из непригодной для дыхания среды необходимо: при работе в аппаратах, имеющих редуктор прямого действия, от начального давления в баллоне отнять давление, необходимое на обеспечение нормальной работы редуктора, умножить результат на объём баллона и разделить на ----- атмосферного давления и средний расход кислорода; при работе в аппаратах, имеющих редуктор обратного действия, необходимо начальное давление в баллоне умножить на объём баллона и разделить на ----- атмосферного давления и средний расход кислорода.

3. для РДА, которыми оснащен личный состав гарнизона (респиратор Р30)и которые имеют объём баллона 2 литра, приблизительное время работы в непригодной для дыхания среде допускается рассчитывать исходя из того, что падение давления в баллоне за 1 минуту составляет приблизительно 0,1 МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>).

#### 5.3.4. примеры расчетов

1 перед входом в непригодную для дыхания среду давление воздуха в АСВ составляло 18 МПа. За время пути к месту работы оно упало до 16 МПа, то есть расходуется 2 МПа. Контрольное давление, при достижении которого необходимо выходить на чистый воздух, составляет (пример к п. 2.1):

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 2 + 5 = 7 \text{ МПа.}$$

2. перед входом в непригодную для дыхания среду давление воздуха в АСВ составляло 20 МПа. Давление, обеспечивающее работу непригодной для дыхания среде, составляет (пример для п.2.2.):

$$P_{\text{д}} = P_{\text{вх}} - P_{\text{рез}} = 20 - 5 = 15 \text{ МПа.}$$

3. при полученных данных задачи № 1 и объёме баллона 8 литров около места работы примерно будет затрачен воздух в количестве:

$$Q_p = \frac{P_z * V_b}{P_{\text{атм}}} = \frac{(P_{\text{нач}} - P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}})}{P_{\text{атм}}} = \frac{(18 - 2 - 7) * 8}{0,1} = 720 \text{ л.}$$



4. при полученных данных задачи №3 в обычных условиях пожара приблизительное время работы на месте работы (пример для п. 2.4):

$$t_p = \frac{Q_p}{\omega_l} = \frac{720}{40} = 18 \text{ мин.}$$

но (пример для п. 2.7):

$$t_p = 2 \cdot P_p = 2 \cdot 9 = 18 \text{ мин}$$

но (если давление измеряется в кгс/см<sup>2</sup>)

$$t_p = \frac{P_p}{5} = \frac{90}{5} = 18 \text{ мин.}$$

5. при разборке конструкций (тяжелая работа) за 10 мин на месте работы давление измениться на (пример для п. 2.7):

- если давление измеряется в кгс/см<sup>2</sup>

$$P_p = 7 \cdot t_p = 7 \cdot 10 = 70 \text{ кгс/см}^2$$

-если давление измеряется в МПа :

$$P_p = 0,7 \cdot t_p = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ МПа.}$$

6. при полученных значениях задачи №3 ожидаемое время возвращения из не пригодной для дыхания среды (рассматривается АСВ со звуковым сигналом и объёмом баллона 8 литров) будет (пример для п. 2.6);

$$t_o = \frac{(P_{нач} - P_{зс}) \cdot V_6}{\omega_l \cdot P_{атм}} = \left| P_{зс} = P_{рез} = 5 \text{ МПа} \right| = \frac{(20 - 5) \cdot V_6}{40 \cdot 0,1} = 30 \text{ мин}$$

или (пример для пункта 2.7):

- если давление измеряется кгс/см<sup>2</sup>

$$t_d = \frac{P_{нач} - P_{зс}}{5} = \frac{200 - 50}{5} = 30 \text{ мин.};$$

- если давление измеряется в МПа:

$$t_d = \frac{P_{нач} - P_{зс}}{0,5} = \frac{20 - 5}{0,5} = 30 \text{ мин.};$$

7. перед входом в непригодную для дыхания среду давление воздуха в АСВ с выключателем резерва и объёмом баллона 8 литров составляло 150 кгс/см<sup>2</sup>. В случае выполнения легкой работы ожидаемое время возвращения на чистый воздух (пример для пункта 2.7).

$$t_d = \frac{P_{нач}}{3} = \frac{150}{3} = 50 \text{ мин.};$$

8. найти ожидаемое время работы около очага пожара в АСВ-2 (V<sub>6</sub>=8 л.) если начальное давление в баллонах было P<sub>нач</sub> = 20 МПа, а на выход было израсходовано 10 минут.

$$P_{нач} = 20 \text{ МПа}$$

$$V_6 = 8 \text{ л.}$$

$$t_{вх} = 10 \text{ мин};$$

$$t_p = ?$$

За время входа давление изменится на

$$P_{вх} = 0,5 \cdot t_{вх} = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ МПа.}$$

Для выхода необходимо иметь давление

$$P_{вых} = P_{вх} + 5 = 5 + 5 = 10 \text{ МПа.}$$

Около очага пожара давление может уменьшаться на

$$P_p = P_{нач} - P_{вх} - P_{вых} = 20 - 5 - 10 = 5 \text{ МПа.}$$

Ожидаемое время работы около очага пожара

$$t_p = \frac{P_p}{0,5} = \frac{5}{0,5} = 10 \text{ мин.}$$

9. Таким должно быть начальное давление в баллоне ( $V_{\text{бал}} = 8 \text{ л.}$ ) аппарата Дрегер, если на вход необходимо потратить 5 минут, а работа около очага пожара предполагается на протяжении 15 минут?

$V_6 = 8 \text{ л.};$

$t_{\text{вх}} = 5 \text{ мин};$

$t_{\text{вых}} = 15 \text{ мин};$

$P_{\text{нач}} = ?$

За время входа давление изменится на

$$P_{\text{вх}} = 0,5 * t_{\text{вх}} = 0,5 * 5 = 2,5 \text{ МПа}$$

Для выхода необходимо иметь давление

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} + 5 = 5 + 2,5 = 7,5 \text{ МПа}$$

Около очага пожара давление приблизительно изменится на

$$P_p = 0,5 * t_p = 0,5 * 15 = 7,5 \text{ МПа}$$

Начальное давление в баллоне должно быть больше

$$P_{\text{нач}} = P_{\text{вх}} + P_p + P_{\text{вых}} = 2,5 + 7,5 + 7,5 = 17,5 \text{ МПа}$$

10. Перед входом в непригодную для дыхания среду давление кислорода в баллоне составляло 18 МПа. За время пути к месту работы оно упало до 16 МПа, то есть изменилось на 2 МПа. Контрольное давление при достижении, которого необходимо выходить на чистый воздух, составляет (пример для п. 3.1):

а) при работе в Р30 (аппарат оснащенный редуктором обратного действия):

- в обычных условиях пожара:

- в подземных сооружениях метрополитена:

б) при работе в КИП-8 (аппарат оснащенный редуктором прямого действия):

- в обычных условиях пожара:

- в подземных сооружениях метрополитена:

11. Перед входом звена ГДЗС в непригодную для дыхания среду давление кислорода составляло 20 МПа. Ожидаемое время возвращения звена составляет:

а) при работе в Р30 ( $V_6 = 2 \text{ л.}$ )

или (пример для п. 3.4)

б) при работе в КИП-8 ( $V_6 = 1 \text{ л.}$ )

12. Перед входом в непригодную для дыхания среду давление кислорода составляло 19 МПа. За время пути к очагу пожара давление изменилось на 3 МПа. Примерное время работы около очага пожара составляет:

а) при работе в Р30

или

б) при работе в КИП-8

## **6. Очистка выдыхаемого воздуха от углекислого газа**

### **6.1 Основные характеристики сорбционных процессов.**

Первая фаза регенерации выдыхаемого воздуха в РДА состоит в его очистке от углекислого газа. Этот процесс происходит в регенеративном патроне в следствии физико-химического процесса *сорбции* (от лат. Sorbeo - поглощаю).

В общем случае сорбция – это поглощение газообразных или растворенных веществ сорбентами – твердыми или жидкими телами. Имеют место следующие виды процессов сорбции: адсорбция, абсорбция, капиллярная конденсация и хемосорбция. Поглощение газов и паров твёрдыми сорбентами, как правило, происходит при наличии двух или более из этих

процессов, но один из них является основным, изначальным.

Первые три вида сорбции – физические процессы, действие которых обусловлено силами взаимного натяжения молекул сорбента и веществ, которое поглощается. Адсорбция – поглощение вещества силами поверхности поглотителя (адсорбента); абсорбция – поглощение которое сопровождается диффузии поглощенного вещества вовнутрь поглотителя (абсорбента) с образованием раствора, то есть происходит поглощение всем объёмом поглотителя. В некоторых случаях, кроме адсорбции, поглощение газа происходит в следствии капиллярной конденсации его в порох твердого тела.

Хемосорбция – процесс сорбции во время которого поглощающееся вещество и поглотитель (хемосорбент) взаимодействует в следствии химической реакции с образованием химического соединения.

Сорбенты, используемые для очистки воздуха от опасных газов в СИЗОД, - это твёрдые гранулированные или измельченные тела. Наиболее распространенными типами адсорбентов является активированный уголь, силикогель, алюмогель, цеолиты. Типы хемосорбентов рассмотрим ниже.

Из общих физических особенностей сорбентов наиболее важной является их пористая структура. Макро- и микропоры пронизывают гранулы сорбента во всех направлениях и обеспечивают большую поверхность его соприкосновения с воздухом, который очищается. Имеет место значительная поверхность пор у адсорбентов: полезная поверхность их у активированного угля составляет 300-500 м<sup>2</sup>/г, у силикагеля 300-700 м<sup>2</sup>/г, диаметр пор составляет 10<sup>-6</sup>-10<sup>-4</sup>мм. Небольшая пористость у хемосорбентов. Так, например полезная поверхность пор у наиболее распространенного известкового поглотителя составляет 8-12 м<sup>2</sup>/г.

Благодаря самой природе физического процесса адсорбции большой активной поверхности адсорбента, он поглощает газ почти мгновенно. Адсорбция – обратный процесс: все поглощенные вещества могут быть удалены в результате обратного процесса десорбции. В связи с этим, адсорбенты легко регенерируются. Процесс адсорбции экзотермический, но количество тепла, которое выделяется при этом, незначительно но близка к уровню теплоты конденсации.

Процесс хемосорбции происходит спокойнее, чем адсорбции, потому что контакт между газом, который поглощается, и активной поверхностью хемосорбента усложняется плёнкой, которая образовывается из продуктов реакции. Кроме того и сама поверхность пор меньше, чем у адсорбента. Хемосорбент в процессе поглощения газа выделяет большее количество тепла, что приводит к значительному нагреву как поглотителя так и очищаемого воздуха. Теплота реакции поглощения некоторых сорбентов (например, сверхокислителей цветных металлов) настолько велика, что может привести в некоторых случаях к стеканию и даже плавлению гранул.

Наиболее распространенный тип поглощающего патрона с прохождением через него воздуха, который очищается, вдоль оси. Элементарный шар поглотителя на входе в патрон называют «лобовым», а аналогичный шар в конце патрона – заключающим. В теории сорбции существует понятие «рабочий шар поглощения». Этот шар сорбента активно поглощает газ. В начале рабочего шара сорбент максимально насыщенный поглощенным газом, по ходу потока степень его насыщенности уменьшается, а в конце шара процесс сорбции только начинается.

Длина рабочего шара зависит от скорости процесса сорбции. В поглотительном патроне с адсорбентом она может быть меньше, чем общая длина рабочей части патрона от лобового до заключающего шара сорбента. Когда процесс в патроне установится, в нем имеют место три зоны: зона с полностью отработанным поглотителем, работающий шар, который передвигается в направлении движения потока газовойоздушной смеси, и зона , в

которой поглощение ещё не происходит. В момент, когда рабочий шар достигнет заключительного шара патрона, начнется проскок газа, поглощаемого, то есть имеет место неполное его поглощение. Такая работа сорбента в патроне называется «пошаровая схема его отработывания». существенной особенностью хемосорбентов, по сравнению адсорбентами, является их высокая способность поглощения, поскольку в патроне с хемосорбентом зона с полностью отработавшим поглотителем не образовывается, увеличивается длина рабочего шара на протяжении всего допроскового периода, который при этом не «отрывается» от лобового шара. В момент, когда фронт рабочего шара патрона достигнет заключительного, начинается проскок газа, который поглощается.

Но в этот момент лобовой шар не является насыщенным поглощенным газом. Полное его насыщение может произойти, если патрон длительное время будет работать в проскоковом режиме. Такая работа сорбента в патроне называется схемой работы всей массы поглотителя.

Таким образом, во время работы сорбента в поглотительном патроне существуют два периода: допросковый и проскоковый. Продолжительность работы в проскоковом периоде ограничивается предельно допустимым проскоком, размер которого задаётся по нормативным документам. По двум схемам до конца проскового периода в патроне остается некоторое количество не полностью отработавшего сорбента. В проскоковом периоде это количество уменьшается. То есть чем больше общая длина шара сорбента в патроне по другим условиям, тем меньше доля неотработанной его части по отношению к своей массе сорбента, выше коэффициент его полезного использования и больше продолжительность работ (или время защитного действия). В это же время увеличение общей длины шара поглотителя приводит к увеличению ----- патрона потока воздуха, проходящего через него.

В следствии этого при разработке регенеративных патронов одним из условий был выбор оптимальной длины шара поглотителя. Существенным отличием хемосорбентов, по сравнению с адсорбентами, является их высокая поглощающая способность. В связи с этим для очистки воздуха от углекислого газа в РДА используют только хемосорбенты.

В их состав входит вещество, которая вступает в химическую реакцию поглощения углекислого газа, и добавки, которые придают соответствующие физические качества и активизируют реакцию. Сорбционные качества другого типа хемосорбента характеризуются тремя показателями: стехиометрической, статической и динамической активностями, которые измеряются количеством поглощаемых веществ (в объемных или массовых единицах) на единицу массы сорбента.

Стехиометрической активностью называется максимальное теоретически возможное количество веществ, которое поглощает единица массы активной части хемосорбента, то есть основного вещества (без добавок и технологических примесей). Она определяется из уравнения химической реакции.

Статической активностью называется количество веществ, которое поглощает единица массы хемосорбента до момента достижения сорбционного равновесия, при котором дальнейшее поглощение прекращается.

Статическую активность определяют экспериментально при определённых уровнях концентрации газа, который поглощается, в воздухе и при температуре. Её размер всегда меньше стехиометрической.

Динамической активностью называется количество веществ, которое поглощает единица массы сорбента до момента появления проскока в динамических условиях, то есть в реальном регенеративном патроне, через который проходит реальный поток воздуха, включающий определённое количество углекислого газа. В других случаях динамическую активность выражают как время защитного действия патрона до возникновения проскока поглощаемого вещества. Но в практике наибольшее распространение приобрела такая

характеристика хемосорбента, которую называют «полезной сорбционной ёмкостью в динамических условиях».

Полезная сорбционная ёмкость - объём газа, который поглощает единица массы хемосорбента во время работы в динамических условиях до уровня проскока газа, что установлено нормативными документами для данного регенеративного патрона или РДА. Её размер всегда меньше статической активности является основной характеристикой хемосорбции во время его в конкретных динамических условиях.

На величину полезной сорбционной ёмкости влияют три группы факторов, которые определяются соответственно характеристиками хемосорбента, регенеративного патрона и нагрузки, то есть потока воздуха, который содержит углекислый газ. Большую сорбционную ёмкость имеет хемосорбент с высокими показателями стехиометрии и статической активности и с большей поверхностью пор. Уменьшение размера гранул также приводит к увеличению сорбционной ёмкости, но не за счет увеличения её поверхности, а в связи с увеличением скорости диффузии сорбируемого вещества, до середины гранул. Увеличению питательной сорбционной ёмкости способствует большая длина шара хемосорбента в патроне, а также равномерное распределение потока воздуха поперек патрона. Уменьшению полезной сорбционной ёмкости способствует увеличение средней или мгновенной скорости потока воздуха.

К хемосорбентам углекислого газа относят следующие основные технические требования:

- большая полезная сорбционная ёмкость;
- \_\_\_\_\_ потока воздуха, которая проходит сквозь них, должен быть наиболее меньшим;
- увеличение теплоёмкости воздуха который очищается, должно быть небольшим;
- мощность на \_\_\_\_\_ ;
- не должны выделяться вещества, которые бы раздражали органы дыхания;
- длительное сохранение поглощающих особенностей;
- изготовление из не дефицитного и дешевого материала.

Технические требования регенеративным патронам должны соответствовать требованиям, предъявляемым к сорбентам. Кроме того одно из важнейших требований состоит в соответствии защитной способности регенеративного патрона запасу сжатого кислорода, который расходуется на обеспечение дыхания. То есть регенеративный патрон должен иметь такую способность поглощать углекислый газ, которое равна времени защитного действия в РДА в минутах. Поскольку в РДА со сжатым кислородом есть индикатор расхода запаса кислорода (манометр), а индикатор окончания защитной способности хемосорбента отсутствует, возникает опасность, что защитная способность регенеративного патрона закончится раньше, чем запас кислорода в баллоне. В следствии этого общую поглощающую способность увеличивают на 10 %.

В РДА со сжатым кислородом используют два вида хемосорбентов углекислого газа: известковый на базе гидрооксида кальция  $\text{Ca(OH)}_2$  и металлический на основе гидрооксида натрия  $\text{NaOH}$ . известен так же литиевый хемосорбент  $\text{LiOH}$ , который имеет чувствительные преимущества перед вышеупомянутыми. Его используют, например, для обеспечения работы автономных систем жизнеобеспечения космонавтов с целью поглощения углекислого газа. Реакция поглощения имеет вид:



Но в связи с дефицитом и высокой стоимостью вещества в пожарной охране литиевый хемосорбент не используется.

Отдельное место среди хемосорбентов занимает кислородосодержащий продукт на основе сверхокислителей металлов  $\text{NaO}_2$  или  $\text{KO}_2$ , которые в следствии химической реакции поглощения углекислого газа выделяют кислород в количестве, которого достаточно для

полной регенерации выдыхаемого воздуха.

## 6.2 Известковый поглотитель углекислого газа

В нашей стране в качестве хемосорбента углекислого газа в РДА на сжатом кислороде используются только химический известковый поглотитель.

Основой известкового поглотителя является гидрат оксида кальция  $\text{Ca(OH)}_2$  или гашеная известь. Реакция поглощения углекислого газа этим веществом имеет следующий вид:



Это экзотермическая реакция, которая происходит с выделением одного моля на один моль углекислого газа, который поглощается в регенеративном патроне. Кроме того, выделяется часть влаги находящаяся в поглотителе. В результате этого воздух, который прошел через регенеративный патрон, не только нагревается, но и увлажняется. Молярная теплота реакции по данным разных авторов составляет 80-115 кДж/моль  $\text{CO}_2$ . температура в зоне реакции регенеративного патрона при нормальной температуре окружающей среды составляет 50-55 °С.

Реальный хемосорбент  $\text{CO}_2$  на основе известкового поглотителя углекислого газа представляет собой зернистый продукт белого или светло серого цвета, основные технические характеристики которого приведены таблице 6.1. Гранулы имеют цилиндрическую форму с диаметром около 4 миллиметров. Основную фракцию (90%) составляют гранулы размером от 2,8 до 5,5 миллиметров.

В состав известкового поглотителя углекислого газа, кроме основного вещества, входят добавки: гидроксид натрия (4%) и вода (16-21 %).

Таблица 6.1 – технические характеристики известкового хим поглотителя ХПИ

Химический состав, %	
NaOH, от массы сухого вещества	4
H <sub>2</sub> O, от общей массы	16 -21
CO <sub>2</sub> , в составе технологических примесей, от общей массы, не больше	4
Ca(OH) <sub>2</sub> – основное вещество	другие
Размер зерен по фракциям, %:	
От 5,5 до 6,5 мм, не больше	5
От 2,8 до 5,5 мм, не меньше	90
От 1 до 2,8 мм, не больше	5
Меньше 1, не больше	0,6
Насыпная масса, кг/дм <sup>3</sup>	0,85 – 0,95
Крепость на _____, %, не меньше	65
Сорбционные показатели:	
Стехеометрическая активность, л/кг	300
Статическая активность, л/кг	210 – 215
Полезная сорбционная ёмкость до проскока 1,5 % CO <sub>2</sub> , л/кг	125 - 150

Едкий натрий повышает динамическую активность поглотителя при маленьких концентрациях углекислого газа в воздухе, который необходимо очистить, и будучи сильным гигроскопическим веществом, поддерживает необходимую влажность поглотителя.

Влага, находящаяся в хемосорбенте, способствует прохождению реакции поглощения углекислого газа, а увеличение или уменьшение содержания воды в поглотителе относительно нормы понижает его динамическую активность.

Кроме добавок, к известковому химпоглотителю относится как технологическая примесь некоторого количества карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ , который является начальным продуктом во время производства гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . карбонат кальция является также конечным продуктом реакции поглощения углекислого газа, а в связи с этим по мере отработки известкового химпоглотителя содержание  $\text{CaCO}_3$  в нем увеличивается. максимальное допустимое содержание этого вещества в свежем поглотителе принимается после перерасчета на массу углекислого газа  $\text{CO}_2$ , находящегося в нем, по отношению к общей массе поглотителя.

В отличие от других типов хемосорбентов  $\text{CO}_2$ , известковый не ухудшает сорбционные качества после кратковременного пребывания на открытом воздухе. Это позволило в свое время перейти к использованию в РДА регенеративных патронов, которые можно перезаряжать. Вследствие этого, после отработки регенеративные патроны заполняются свежим хемосорбентом непосредственно в подразделении.

Известковый химпоглотитель – довольно мощный сорбент в отношении образования пыли, которая в случае попадания в дыхательные пути могла бы вызвать их раздражение. Во время транспортирования заряженных аппаратов в регенеративных патронах все же таки образовывается незначительное количество пыли, но установка специального фильтра после патрона не обязательна.

Едкий натрий повышает динамическую активность поглотителя при маленьких концентрациях углекислого газа в воздухе, который необходимо очистить и, будучи сильно гигроскопическим, веществам, поддерживает необходимую влажность поглотителя.

Влага, которая находится в хемосорбенте, способствует прохождению реакции поглощения углекислого газа, а увеличение или уменьшение содержания воды в поглотителе относительно нормы понижает его динамическую активность.

Кроме добавок, в известковый химпоглотитель входит как технологическая примесь некоторого количества карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ , который является начальным продуктом во время производства гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . карбонат кальция является так же конечным продуктом реакции поглощения углекислого газа, а по этому по мере работы известкового химпоглотителя содержания  $\text{CaCO}_3$  в нем увеличивается. Максимально допустимое содержание этого вещества в свежем поглотителе принимается после перерасчета на массу углекислого газа  $\text{CO}_2$ , который находится в нем по отношению к общей массе поглотителя.

В отличие от других типов хемосорбентов  $\text{CO}_2$  известковый не ухудшает качество после кратковременного пребывания на открытом воздухе. Это позволило в свое время перейти к использованию в РДА регенеративных патронов, которые можно перезаряжать. В следствии этого после отработки регенеративные патроны заполняются свежим хемсорбентом непосредственно в подразделении.

Известковый химпоглотитель – очень крепкий сорбентно отношению к \_\_\_\_\_ и образованию пыли, которая в случае попадания в дыхательные пути могла бы вызвать поражение. Во время транспортировки заряженных аппаратов в регенеративных патронах все же таки образуется некоторое количество пыли, но установка специального защитного фильтра не обязательна. Это объясняется тем, что воздух, который выходит из регенеративного патрона полностью насыщенной влагой. Поэтому пыль хемосорбента, которая иногда проникает из патрона, смачивается и оседает в дыхательном мешке.

В процессе поглощения углекислого газа известковый химпоглотитель не изменяет цвет и внешний вид не оплывает и не облущивается. В полностью отработавшем хемсорбенте

содержание  $\text{CO}_2$  увеличивается до 25-27 %, содержание влаги уменьшается до 608 % по отношению к начальной. Повторное использование с частично или полностью отработавшим известковым хемпоглотителем запрещается.

Поскольку состав приведенного хемосорбента обязательно должен содержать влагу, реакция сорбции  $\text{CO}_2$  с его помощью может проходить только при позитивной температуре. Поглотитель, который заморозили, является непригодным к использованию. Поэтому хранение готовых к использованию регенеративных патронов с известковым поглотителем при температуре ниже  $0^\circ\text{C}$  не допускается. Во время эксплуатации РДА с таким хемосорбентом при негативной температуре необходимо, чтобы перед началом работы температура поглотителя была меньше нуля. В процессе работы аппарата она поддерживалась позитивные за счет теплоты экзотермической реакции сорбции углекислого газа. Для аппаратов с известковым поглотителем без специальных мер защиты регенеративного патрона нижний предел температуры окружающей среды, из которой разрешается их использование с поддержанием особых мер предосторожности составляет  $-20^\circ\text{C}$ .

В РДА используется патроны прямоточного типа, в которых газовоздушная смесь движется в одном направлении вдоль оси патрона (рис. 6.1а). Такой патрон простой по своей конструкции и образует минимальный \_\_\_\_\_ паточка газовоздушной смеси. Он используется во всех отечественных и в большинстве импортных моделях как при круговой так и при маятниковой схемах циркуляции воздуха.

В некоторых РДА, исходя из конструктивных размышлений или размышлений выбора оптимальной высоты шаропоглотителя, используют регенеративные патроны с радиальными направлениями потока (см. рис. 6.1б)

Рис. 6.1 Схемы регенеративных патронов

а) прямоточный

б) с радиальным прохождением потока воздуха

1. входной штуцер; 2. корпус; 3. хемпоглотитель; 4. входной штуцер; 5. неподвижная перфорированная перегородка; 6. подвижная перегородка; 7. пружина; 8 и 9 перфорированные цилиндрические перегородки.

Такой патрон содержит такие же элементы, как и прямоточный, а поглотитель помещен между двумя перфорированными или сетчатыми перегородками цилиндрической формы. Поток газовоздушной смеси движется сначала вдоль оси патрона, потом поворачивает на  $90^\circ$  и направляется к выходу вдоль оси патрона. Такие стороны отличаются большой поверхностью рабочего шара хемосорбента и малой его длиной. Поэтому в них используют только мелко зернистый поглотитель. Патрон с радиальным направлением движения паточка воздуха используется, например, в аппарате с жидким кислородом «Аэрорлюкс».

Известковый хемпоглотитель имеет достаточно высокую стехиометрическую активность – 300 л/кг. Это на 8% выше, чем у \_\_\_\_\_ сорбента. Статическая активность составляет около 70% от стехиометрической. В связи с более ранним появлением проскока средний по аппарату смене проскок углекислого газа у регенеративных патронов с известковым поглотителем выше, чем у \_\_\_\_\_.

Температура воздуха, который проходит сквозь приведенный регенеративный патрон, на протяжении 30-40 минут увеличивается до максимального значения и поддерживается на этом уровне до конца работы. Поскольку воздух, который выходит из патрона, полностью насыщен влагой, его полезная энтальпия очень высока и составляет около 260 кДж/кг на протяжении большей части аппарата-замены. Поэтому воздух, который выходит из патрона, который содержит известковый хемпоглотитель, в воздухопроводную систему аппарата, хотя



и более нагретый, но сухой воздух после \_\_\_\_ патрона.

Особенностями известкового химпоглотителя являются относительные не дефицитность вещества, из которого изготовляют поглотитель, и низкая стоимость самого хемосорбента, которая на порядок ниже, чем у \_\_\_\_ робента.

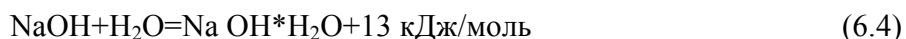
Известковый хемосорбент выпускается во всех развитых странах. Он используется в Великобритании, Франции, США, а также в Германии в аппаратах со временем защитного действия 2 часа и меньше.

## 6.2 \_\_\_\_\_ сорбент.

Среди гидратов окиси \_\_\_\_ металлов использование на практике для очистки воздуха от углекислого газа в РДА получил едкий натрий NaOH. Это химическое соединение является основной натриевого хемосорбента, который и называют \_\_\_\_\_. Реакция поглощения углекислого газа гидроксидом натрия имеет вид:



Поскольку гидрат оксида натрия – очень гигроскопическое вещество, одновременно идет реакция поглощения той молекулы воды, которая образовалась по (6.3):



Температура в зоне реакции регенеративного патрона при нормальной температуре окружающей среды увеличивается до 100-130 °С. Стехиометрическая активность по (6.3) составляет 278 л/кг, а по (6.3) и (6.4) в сумме – 185 л/кг. Но, поскольку одновременно из (6.4) происходит сорбция едким натрием и водой, находящийся в выдыхаемом воздухе, реальная величина стехиометрии происходит между двумя приведенными показателями.

Во время реакции поглощения углекислого газа и влаги гранулы натриевого поглотителя отливают, и с них стекает \_\_\_\_\_. Поэтому хемосорбент размещают в регенеративном патроне в промежутках проволочных сеток. Конструкция \_\_\_\_\_ регенеративного патрона значительно сложнее, чем у известкового. Снаряжается он на заводе в условиях, исключающих попадание на поглотитель влаги, во всяком случае из атмосферного воздуха, и попадает к потребителям с герметичными опломбированными заглушками. Патрон – одноразового действия. После полной или частичной отработки заменяется новым.

Натриевый сорбент представляет собой гранулы неправильной формы светло серого цвета с голубым или коричневым оттенками или серовато-коричневого цвета. Основное рабочее состояние в РДА всех типов \_\_\_\_ патронов – горизонтальные. В результате этого исключаются возможность попадания некоторого количества жидкого \_\_\_\_ в зону входного или выходного штуцеров. Во время работы патрона зерна сорбента \_\_\_\_, могут слипаться между собой образовывать конгломераты. В связи с этим повышается \_\_\_\_ патрона патока воздуха. Работа патронов с длительными перерывами не допускается в связи с кристаллизации отработанного поглотителя при охлаждении патронов.

Основное преимущество \_\_\_\_ сорбента перед известковым состоит в образовании значительно лучших температурно-влажных параметров воздуха, который выходит из регенеративного патрона. Поскольку едкий натрий является хорошим осушителем то благодаря этому в патроне происходит осушение выдыхаемого воздуха. Этот процесс очень интересно происходит в начале работы в аппарате. По мере отработке сорбента сушащий эффект постепенно уменьшается.

Подсушенный горячий воздух легко охлаждается при прохождении сквозь элемент воздухопроводной системы. Поэтому эффект сушки натриевого поглотителя способствует формированию в аппарате с \_\_\_\_\_ сорбентом более благоприятных микро климатических условий дыхания, чем в аппарате с известковым. Регенеративные патроны с \_\_\_\_\_ поглотителем менее чувствительны к снижению температуры окружающей среды, чем патроны с известковым поглотителем. В условиях негативной температуры в меньшей мере понижают свою сорбционную способность.

#### **6.4 Основы регенерации воздуха в изолирующих аппаратах с химически связанным кислородом.**

Определение принадлежности препарата, содержащего химически связанный кислород, для использования в изолирующих аппаратах базируются на ряде показателей, основным из которых является коэффициент регенерации:

$$K_p = V_{O_2} / V_{CO_2} \quad (6.5)$$

Где:  $V_{O_2}$  – объём кислорода, отдаваемый препаратом, в следствии реакции поглощения углекислого газа;

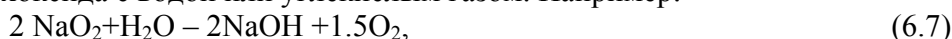
$V_{CO_2}$  – объём поглощенного препаратом углекислого газа;

Коэффициент регенерации  $K_p$  показывает возможность препарата к выделению кислорода во время поглощения определенного количества углекислого газа. При этом, поскольку дыхательный (1.1) коэффициент  $K_{дых}$  (соотношения между объёмами выделенного во время дыхания углекислого газа и поглощенного человеком кислорода) при разных нагрузках не является постоянным, для обеспечения процесса лёгочной вентиляции необходимо, чтобы коэффициент  $K_p$  регенерации рассчитывался по минимальной величине дыхательного коэффициента  $K_{дых}$ , которая в среднем составляет 80 %. Таким образом, для обеспечения процесса нормального газообмена можно использовать только те препараты, регенерирующие воздух, которые пригодны для поглощения 0,8 моля углекислого газа, выделять не ниже 1 моля кислорода, то есть коэффициент регенерации препарата, содержащего химически связанный кислород, должен быть:

$$K_p > 1/0,8 = 1,25 \quad (6.6)$$

К таким препаратам относятся сверхокислители \_\_\_\_\_ металлов, которые имеют  $K_p = 1,5$ . К стати, как было отмечено в первом разделе,  $K_{дых\min} = 0,7$ , но и в этом случае  $K_p = 1,45 < 1,5$ .

Наибольшее распространение в качестве препаратов, содержащих химически связанный кислород, были сверхоксиды калия и натрия, имеющие кроме высокого коэффициента регенерации, также другие необходимые для практического использования физико-химические, эксплуатационные и экономические показатели. Термин – «сверхоксиды» введен научную номенклатуру 1948 году. Он указывает на наличие ион – радикалов. В отличие от соответствующих оксидов, не имеющих не спаренных электронов, сверхоксиды имеют не парное количество электронов, подтверждающие их радикальную структуру. Сверхоксиды \_\_\_\_\_ металлов активно взаимодействуют с влагой и углекислым газом воздуха. При этом образуются \_\_\_\_\_ и соответствующие карбонады. Они легко окисляют органические вещества, могут вызвать их возгорание и взрывчатое горение. Все сверхоксиды (оксиды) соединения характеризуются присутствием так называемого «активного» кислорода, который может выделяться в молекулярном виде в время реакции взаимодействия сверхоксида с водой или углекислым газом. Например:



$$O_{2(акт)} = \frac{1,5 \cdot 32 \cdot 100}{2 \cdot 55} = 43,6\% \quad (6.8)$$

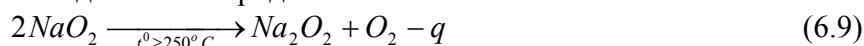
где 1,5 – количество молей кислорода, который выделяется при реакции (6.7);

32 – молекулярный вес кислорода;

2 – количество молей сверхоксида, принимающего участие в реакции;

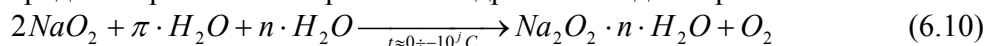
55 – молекулярный вес сверхоксидов.

Технический сверхоксид натрия (новооксид) представляет собой порошок желтоватого цвета, который содержит до 90% чистого сверхоксида натрия. При хранении герметично закрытой таре он \_\_\_\_\_ до 65 °С. Заметный термический распад сверхоксида начинается при 100 ÷ 120 °С и полностью происходит при 250 °С с образованием оксида натрия и с выделением сверхоксидного кислорода:

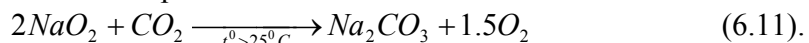


В свою очередь распад оксида протекает при температуре выше 400 °С и при температуре 540 °С полностью заканчивается с образованием оксида натрия. При взаимодействии с водой при 15 ÷ 20 °С сверхоксид натрия полностью выделяет свой активный кислород. Теплота реакции составляет 15,9 ± 0,7 ккал/моль.

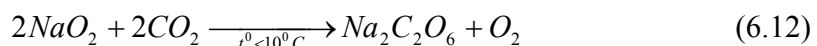
Взаимодействие водяным паром при комнатной температуре также сопровождается выделением всего «активного» кислорода и образованием моногидрата натрия. При низких температурах (0 ÷ 10 °С) взаимодействие с парами воды происходит с выделением сверхоксидного кислорода и образованием кристаллогидратов оксида натрия:



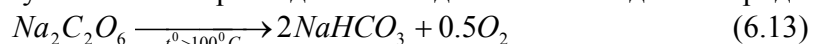
Взаимодействие сверхоксида натрия с сухим углекислым газом не обнаруживается до 100 °С. Присутствие водяных паров уже при 25 °С приводит к образованию углекислого натрия и выделению всего «активного» кислорода:



При температуре ниже 10 °С сверхоксид натрия реагирует с углекислым газом только в присутствии пара воды с выделением сверхоксидного кислорода и образованием нероксидкарбоната натрия:



Но при дальнейшем нагревании регенеративного продукта выше 100 °С нероксидкарбоната натрия в присутствии влаги распадается с отделением оксида кислорода:



Сверхоксид натрия плохо прессуется в большие, крепкие блоки или гранулы. Для устранения этого недостатка в составе регенеративного препарата добавляют гидрат оксида кальция. Реальный препарат (таб. 6.2), который комплектуют регенеративные патроны аппаратов на химическом связанном кислороде, изготавливают путем смешивания 85 % технического сверхоксида натрия на 15% гидроксида кальция. Эта смесь прессуется, а полученные куски измельчаются и рассеиваются на фракции. Приблизительный состав приведен в таблице 6.2.

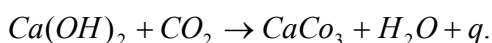
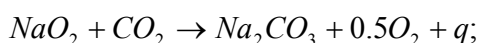
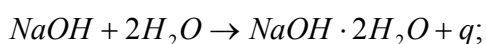
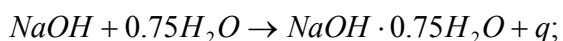
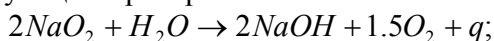
**Таблица 6.2. Приблизительный состав регенеративного препарата.**

Наименование продуктов	Химическая формула	Состав, %
Сверхоксид натрия	NaO <sub>2</sub>	70.6
Оксид натрия	Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	11.0
Гидроксид натрия	NaOH	3.0
Карбонат натрия	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.4

Гидрооксид кальция	Ca(OH) <sub>2</sub>	15.0
--------------------	---------------------	------

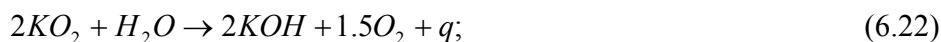
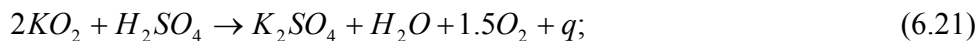
Гидрооксид кальция, который введен в препарат, улучшает также и хемосорбционные способности препарата к углекислому газу, особенно при пониженных температурах. Кроме того, введение гидрооксида кальция уменьшает процесс, когда гранулы под влиянием влаги при высокой температуре расплываются и обжигаются с образованием конгломератов.

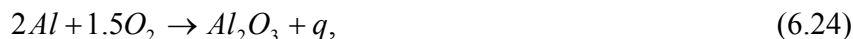
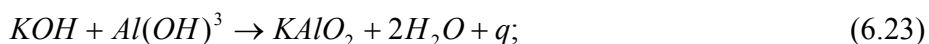
Основные реакции, происходящие в процессе работы реального препарата в изолирующем препарате на химически связанном кислороде, имеет вид:



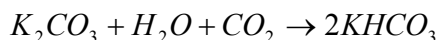
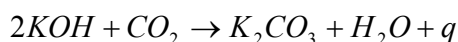
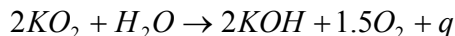
Эти реакции протекают с довольно высокой скоростью, когда температура среды выше 20 °С. При температуре ниже 20 °С они происходят плавно. Особенно это заметно, учитывая экзотермический характер реакций (6.14)-(6.20) в начальный период. (Кстати, перед окончанием времени защитного действия работа сверх окислительных соединений \_\_\_\_\_ металлов также не полностью попадает под приведенные уравнения). В пусковой (начальный) период в холодном продукте на базе сверхоксида происходит образование бикарбоната \_\_\_\_\_ металла, что приводит к уменьшению коэффициента регенерации. Продолжительность работы продукта в таком режиме тем больше, чем ниже температура окружающей среды и меньше величины дыхательной нагрузки. Поэтому для устранения опасности, связанной с недостатком кислорода в воздухе, который поступает для дыхания газодымозащитнику на начальном этапе работы РДА, необходимо заполнить дыхательный мешок кислородом от постоянного источника. В общем говоря, при нормальной температуре окружающей среды регенеративный патрон со сверхокислителями \_\_\_\_\_ металла можно «раздышать» и без пускового приспособления, но это требует от газодымозащитника специальных навыков. Поэтому состав регенеративного патрона входит специально пусковое устройство. Его главное назначение – обеспечить разогрев регенеративного препарата во время запуска подачи кислорода. В нем кислород выделяется в результате химических реакций распада активной массы. Тепло и влага, выделяющиеся при этой реакции, способствует нагреву продукта, содержащего химически связанный кислород и соответственно, активизации его работы.

Для примера рассмотрим работу пускового устройства изолирующих противогазов на химически связанном кислороде ИП-4, ИП-5, ИП-46 и других, которые используются в вооруженных силах. В них выделение кислорода из пускового устройства происходит на протяжении 1 минуты при комнатной температуре и 80 секунд при температуре -30 °С. Запуск пускового брикета осуществляется 38% водным раствором серной кислоты, который не замерзает при температуре -50 °С. Основой пускового устройства служит пусковой брикет, который содержит 61% сверхоксида калия, 36% гидратаоксида алюминия и 3% алюминиевой руды. Основные реакции, которые происходят в пусковом брикете имеют следующий вид:





Совместно с приведенными составами регенеративных препаратов и пусковых брикетов могут использоваться и другие. Так, например, основные реакции, которые происходят на борту космических кораблей. РФ с целью регенерации воздуха в кабине, имеют вид:



в большинстве сверхоксиды используются в конструкциях шахтных самоспасателей. Таким образом, видно, что поскольку только сверхокислители \_\_\_\_\_ металлов имеют особенности, которые в основном удовлетворяют требованиям по содержанию «активного» кислорода, главное усилие направлены на изобретение рецептов на их основе.

Улучшение регенерирующих препаратов на современном этапе проводится, главным образом, в направлениях отыскания препаратов, который имеет повышенную термостабильность, уменьшенную влагоёмкость, повышенную пористость и стойкость к обгоранию и др..

Поскольку продукт, содержащий химически связанный кислород (ХСК), очень активно поглощает влагу и углекислый газ из окружающего воздуха, заряджение им регенеративных патронов происходит только в заводских условиях. Патроны со сверх окислителями \_\_\_\_\_ металлов – одноразового использования. После полной или частичной отработки их снимают с препарата и, в связи с пожарной опасностью сверхоксидов \_\_\_\_\_ металлов понижает (сжигают или закапывают), придерживаясь требований специальных инструкции. В связи с повышенной пожароопасностью, необходимо придерживаться настоящих правил. Так, не допускается попадание в продукт органических веществ, например, масел.

Регенеративные патроны, содержащие ХСК, могут быть прямоточного типа (см. рис. 6.1а) но с радиальным направлением движения очищаемого воздуха (см. рис. 6.1б). но конструкция внутренней части их принципиально отличается от патронов с известковым сорбентом. Для исключения сгорания сверх оксидов \_\_\_\_\_ металла, происходящее в результате их нагрева и отмывания гранул приводит существенному увеличению ---- дыхания, непосредственно в патроне в шаре продукта размещают металлический теплоразделитель (ли).

В регенеративных дыхательных препаратах на ХСК используют как круговую, так и маятниковую схему циркуляции воздуха. Как4 отмечалось раньше (см. разд. 2), особенностями маятниковой схемы является дополнительное поглощение углекислого газа во время повторного прохода воздуха через регенеративный патрон и увеличение опасного пространства воздухопроводной системы по мере отработки верхнего шара сорбента. Эти два фактора имеют разнонаправленное влияние на содержание углекислого газа во вдыхаемом воздухе: первый благоприятствует снижению содержания  $CO_2$ , а второй его повышение. В результате экспериментального исследования установили, что если масса продукта в регенеративном патроне менее одного килограмма, то маятниковая схема циркуляции воздуха обеспечивает меньшее содержание углекислого газа на вдохе по сравнению с круговой схемы.

Полезная сорбционная ёмкость с углекислым газом для всех типов продуктов на базе сверхоксидов \_\_\_\_\_ металлов ниже, чем у известковых и \_\_\_\_\_ хемосорбентов. И сопоставление этих величин неправомерно, поскольку использование сверхоксидов \_\_\_\_\_

металлов обеспечивает полную регенерацию выдыхаемого воздуха. Уже сделанные изолирующие аппараты со временем защитного действия до 6 часов, который имеет меньшую массу лучшее микроклиматические условия дыхания, чем аппараты со сжатым кислородом. Не смотря на большую стоимость продукта который содержит химически связанный кислород, чем у \_\_\_\_\_, и тем больше, известкового поглотителя  $\text{CO}_2$ , приведенные аппараты в перспективе могут широко использоваться в пожарной охране, особенно при выполнении легких работ и работ средней тяжести.

## **7. Приоритетное направление улучшения СИЗОД.**

Анализ выступлений как руководящего состава и практических работников ГПС, так и изобретателей защитных аппаратов и ученых изучающих работу персонала в средствах защиты, показывают, что приоритетными направлениями в области улучшения использования СИЗОД на сегодня является образование:

- улучшенного дыхательного аппарата на сжатом воздухе с разнообразными баллонами, который имеет эргономические показатели и может надежно работать в диапазоне температур от  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- регенеративного дыхательного аппарата со временем защитного действия больше 4 часов и с улучшенными микро климатическими условиями дыхания (нормальная температура и влажность вдыхаемого воздуха, уменьшение концентрации кислорода и углекислого газа и др.);
- самоспасателя комбинированного типа для эвакуации потерпевших из задымленных помещений, окружающая среда которых содержит недостаточное количество кислорода. Это аппараты фильтрующего типа, в которых происходит добавка кислорода из пезреностного источника. В их качестве могут быть использованы как сжатый кислород, так и сверхоксидное соединение \_\_\_\_\_ металла;
- самоспасатели со сжатым воздухом и подпором под лицевую часть. Видно что он будет иметь повышенное время (до 30 минут), а вооружаться им будет обслуживающий персонал, которому необходимо организовать эвакуацию потерпевших из задымленных помещений во время пожара;
- комплекса нормативных документов, регламентирующих как установление единых требований к СИЗОД и методов их испытаний, так и деятельность личного состава ГДЗС, а именно: профессиональный отбор и подготовку личного состава, аттестацию газодымозащитников, постов и баз ГДЗС;
- испытательной базы, которая включает в себя средства как для проверки технического состояния СИЗОД (в целом и основных его частей), так и для оценки результатов деятельности газодымозащитников и мониторинга их функционального и психофизиологического состояния.

## **Литература**

1. Наставление по ГДЗС ПО МВД Украины. Приказ №657 МВД Украины от 2 декабря 1994 года. – Киев, 1994. – 128 с.
2. Перепечев В.Д., Береза В.Ю. ГДЗС ПО. – Чернигов, РИК «Деснянская правда», 2000. – 468с. с ил.

3. Диденко Н.С. Регенеративные расператоры для горно спасательных работ. – М.: Недра, 1984. – 296с.
4. Пожарная техника: Учебник. Ч.1. Пожарно-техническое оборудование./Под. Ред. А.Ф. Иванова. – М.: Стройиздат, 1988. – 415с.
5. Пожарная техника. Учебник. В 2-х частях. Ч.1. Пожарно-техническое оснащение./Под. Ред. М.Д. Безбородько. – М.: стройиздат, 1988. – 408с.
6. Физиолого-гигиенические требования изолирующим средствам индивидуальной защиты. – М.: Минздрав СССР, 1981. – 64с.
7. ДСТУ 2272 – 93. Система стандартов безопасности труда. Пожарная базопасность. Сроки и назначения. – К.: Госстандарт Украины, 1993. – 22с.
8. Пожарная безопасность:Метерриалы 3 научно-практической конференции. – К.: УкрНДИППЛ МВД Украины, 1997. – 381с.
9. \_\_\_\_\_
10. \_\_\_\_\_
11. \_\_\_\_\_
12. \_\_\_\_\_
13. \_\_\_\_\_
14. \_\_\_\_\_
15. \_\_\_\_\_
16. \_\_\_\_\_
17. \_\_\_\_\_
18. \_\_\_\_\_
19. \_\_\_\_\_
20. \_\_\_\_\_
21. \_\_\_\_\_
22. Правила безопасности труда в ГПС МВД Украины. Приказ МВД Украины №840 от 5.12.2000. – К.; 2000. – 160с.

## Содержание

### Вступление

1. физиологические основы образования и использования СИЗОД
  - 1.1 основные понятия о физиологии дыхания
  - 1.2 атмосферный воздух и его особенности
  - 1.3 продукты горения и их влияние на организм человека
  - 1.4 количественные показатели, характеризующие процесс дыхания
2. общие сведения о СИЗОД
  - 2.1 СИЗОД от окружающей среды
  - 2.2 Классификация и принцип действия СИЗОД
  - 2.3 Принципиальные схемы резервуарных и регенеративных дыхательных аппаратов
    - 2.3.1 резервуарный дыхательный аппарат
    - 2.3.2 регенеративный дыхательный аппарат (РДА)
3. изоляция системы «Дыхательный аппарат – органы дыхания» от окружающей среды
  - 3.1 основные технические требования к защитной эффективности СИЗОД
  - 3.2 методика оценки степени герметичности аппарата
    - 3.2.1 пути проникновения окружающего воздуха во внутрь аппарата
    - 3.2.2 проверка герметичности дыхательного аппарата
  - 3.3 лицевые части СИЗОД

- 4. воздухопроводная система АСВ (система подачи кислорода РДА)
    - 4.1 принцип действия воздухопроводной (кислородопроводной) системы
    - 4.2 особенности выбора, разработки и эксплуатации газовых редукторов
    - 4.3 легочные автоматы дыхательных аппаратов
    - 4.4 пример инженерного расчета \_\_\_\_\_ для вытекания кислорода
    - 4.5 подача кислорода РДА
      - 4.5.1 особенности подачи кислорода РДА
      - 4.5.2 закономерности подачи кислорода
      - 4.5.3 способ подачи кислорода с комбинированной подачей кислорода
  - 5. обеспечение воздухом дыхания газодымозащитника
    - 5.1 баллоны для хранения запаса воздуха или кислорода
    - 5.2 особенности расчета времени работы в не пригодной для дыхания среде
    - 5.3 методические рекомендации по расчету расхода воздуха (кислорода) при работе в СИЗОД
      - 5.3.1 общие положения
      - 5.3.2 рекомендации к расчету временных характеристик и давления в баллоне (баллонах) при работе в АСВ
      - 5.3.3 рекомендации к расчету временных характеристик и давления в баллоне (баллонах) при работе в РДА
      - 5.3.4 примеры расчета временных характеристик и давления
  - 6. очистка выдыхаемого воздуха от углекислого газа
    - 6.1 основные характеристики сорбционных процессов
    - 6.2 известковый поглотитель углекислого газа
    - 6.3 \_\_\_\_\_ сорбент
    - 6.4 основы регенерации воздуха в изолирующих аппаратах с химически связанным кислородом
  - 7. приоритетные направления улучшения СИЗОД
- Литература.